

Potential distribution of *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. In Mexico

Distribución potencial de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. en México

José Antonio Hernández-Herrera¹; Alejandro Moreno-Reséndez¹;
Luis Manuel Valenzuela-Núñez^{2*}; Arnoldo Flores-Hernández³;
Marisela Cristina Zamora Martínez⁴

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Programa de Doctorado en Ciencias en Producción Agropecuaria. Periférico Raúl López Sánchez s/n, Col. Valle Verde, C. P. 27054. Torreón, Coahuila, México.

²Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Ciencias Biológicas. Laboratorio de Biología y Ecología Forestal. Av. Universidad s/n, Fracc. Filadelfia, C, P. 35010. Gómez Palacio, Durango, México.

³Universidad Autónoma Chapingo, URUZA. km 40 carretera Gómez Palacio - Chihuahua Bermejillo, Durango, México C. P. 35230.

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Manejo de Ecosistemas Forestales. Av. Progreso 96, Santa Catarina, Ciudad de México, C. P. 04010

*Corresponding author: luisvn70@hotmail.com

Abstract

Knowing the distribution of species concerning biotic and abiotic conditions allows us to identify the possible responses of species to changes due to abiotic factors using the concept of the ecological niche and to identify the geographic distribution of important species subject to commercial exploitation such as *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. The current study aimed to identify bioclimatic variables that determine the distribution of *E. antisyphilitica* populations and to estimate the potential distribution in arid zones of Mexico using the methods Maxent and Bioclim. Bioclimatic data from areas of the presence of *E. antisyphilitica* were processed with Bioclim of Diva-Gis 7.5[®], and with the maximum entropy method with Maxent[®] 3.4.1. Temperature and precipitation requirements were analyzed by comparing bioclimatic variables, predicting distribution modeling, and geographic output. Precipitation variables influence more than temperature variables on the distribution of *E. antisyphilitica*, in a precipitation range of 200 to 500 mm. Modeling and geographic output performed with Maxent had better quality than those carried out with Diva-Gis[®] Bioclim. The annual precipitation variable determines more the conditions for the distribution of *E. antisyphilitica* than temperature variables.

Keywords: Candelilla, ecological niche, arid areas, non-timber forest resource, wax, Maxent, Bioclim.

Resumen

El conocimiento de la distribución de las especies en relación con las condiciones bióticas y abióticas permite conocer las posibles respuestas de las especies a los cambios, ubicar la presencia geográfica de especies de importancia comercial. Los objetivos fueron Identificar las variables bioclimáticas que determinan la distribución de poblaciones de *E. antisyphilitica* y estimar la distribución potencial de la especie en las zonas áridas usando dos métodos Maxent y Bioclim. Los datos de presencia fueron del inventario nacional de *E. antisyphilitica* y se usaron 19 capas climáticas de Worldclim con una resolución espacial de 1 km². Se procesaron con el método de máxima entropía además los requerimientos de temperatura y precipitación se analizaron con la comparación de variables bioclimáticas, la predicción de la modelación de la distribución y la salida geográfica. Las variables de precipitación influyen más que las de temperatura sobre la distribución de *E. antisyphilitica*, en un intervalo de precipitación de 200 a 500 mm. La modelación y salida geográfica usando Bioclim de Diva-Gis 7.5[®] y Maxent[®] -3.4.1. Las variables de precipitación contribuyeron con el 67.7 % y las variables de temperatura aportaron 32.4%, por lo tanto, en la distribución de *E. antisyphilitica*, donde la precipitación es el principal factor que influye en la presencia de la especie seguida de las variables de temperatura. Maxent es mejor modelo que Bioclim de Diva-Gis para determinar la superficie potencial que ocupa *E. antisyphilitica* y permite obtener imágenes de calidad con resolución mayor, esto representa una ventaja para estimar las áreas de distribución de poblaciones de candelilla.

Palabras clave: Candelilla, nicho ecológico, zonas áridas, recurso forestal no maderable, cera, Maxent, Bioclim.

Please cite this article as follows (APA 6): Hernández-Herrera, J. A., Moreno-Reséndez, A., Valenzuela-Núñez, L. M. Flores-Hernández, A. & Zamora Martínez, M. C. (2020). Potential distribution of *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. In Mexico. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 19(2), 1-14. doi: 10.5154/r.rchsza.2021.19.1

Received: September 27, 2019 / Accepted: April 5, 2021.



Revista Chapingo
Serie Zonas Áridas

https://chapingo-cori.mx/zonas_aridas

Introduction

Natural resources are essential to meet the requirements of human sustenance and well-being; however, these resources are depleted or degraded due to irrational use and climate change effects on ecosystems (United Nations Development Programme [UNDP], 2015). Currently, the world economy is emerging from the global financial crisis and an alternative for this is the use of goods and services provided by ecosystems, whose commercialization depends on international and local demands; although they are located only in very specific places (World Trade Organization [WTO], 2010). In this context, some non-timber forest resources are part of economic activities and others are of social importance; therefore, their availability is considered of vital interest for the global economy (World Trade Organization [WTO], 2015).

Euphorbia antisyphilitica Zucc. (Candelilla) stands out in the arid and semi-arid ecosystems of Mexico. The Candelilla plant is collected to obtain its wax, which is highly valued in the food and cosmetic industries. Because of the international interest, this taxon was included in the list of species protected by the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora since 1975 (Schneider & für Naturschutz, 2009; United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre [UNEP-WCMC], 2011, 2014). Its addition was based on the fact that wax international trade has occurred in large quantities and on a rapid increase in imports by the European Union, EU (UNEP-WCMC, 2013).

For example, in 2014, 1 675 kg of wax were confiscated in the Netherlands, from the United States of America and Thailand as a final destination. This is considered an environmental crime for non-compliance with current regulations on the protection of wild flora in international trade (European Parliament, 2016). The value of *E. antisyphilitica* wax in the EU is approximately one million dollars, and it is the eighth merchandise imported by its member countries (UNEP-WCMC, 2016).

In Mexico, since 1999, the extraction of the Candelilla has been regulated by the Official Mexican Standard NOM-018-SEMARNAT-1999 because it establishes the criteria and technical and administrative specifications for harvesting, transport, and storage of Candelilla (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2000). To date, Candelilla is not included in the NOM-059-SEMARNAT 2010, regarding flora and fauna species with conservation status (SEMARNAT, 2010), which establishes the risk of the permanence of populations due to overexploitation of natural resources.

Introducción

Los recursos naturales son esenciales para satisfacer los requerimientos de sustento y bienestar del ser humano; sin embargo, dichos recursos se agotan o degradan debido al uso irracional que se hace y a los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas (United Nations Development Programme [UNDP], 2015). En la actualidad, la economía mundial está saliendo de la crisis financiera global y una alternativa es el aprovechamiento de los bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas, cuya comercialización depende de las demandas internacional y local; aunque se localizan solo en lugares muy específicos (World Trade Organization [WTO], 2010). En ese contexto, algunos recursos forestales no maderables forman parte de las actividades económicas y otros son de importancia social; por lo tanto, su disponibilidad se considera de vital interés para la economía global (World Trade Organization [WTO], 2015).

En los ecosistemas áridos y semiáridos de México sobresale *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. (candelilla). La candelilla es recolectada para la obtención de su cera, es una materia prima muy apreciada en las industrias alimentaria y cosmética. Dado el interés internacional, este taxón se incluyó en la lista de especies protegidas por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres desde 1975 (Schneider & für Naturschutz, 2009; United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre [UNEP-WCMC], 2011, 2014). Su incorporación a la lista CITES fue una respuesta a un rápido crecimiento del comercio internacional de cera y aumento de las importaciones por la Unión Europea, UE y Asia (UNEP-WCMC, 2013).

Por ejemplo, en 2014 se confiscaron 1 675 kg de cera en Holanda, procedentes de Estados Unidos de América y con destino a Tailandia. Se considera un delito ambiental por el incumplimiento de la normatividad vigente relativa a la protección de la flora silvestre en el comercio internacional (European Parliament, 2016). El valor de la cera de *E. antisyphilitica* en la UE es de aproximadamente un millón de dólares, y es la octava mercancía con mayor demanda por sus países miembros (UNEP-WCMC, 2016).

En México, desde el año 1999, la extracción de la candelilla se regula mediante la Norma Oficial Mexicana NOM-018-SEMARNAT-1999 que establece los criterios y especificaciones técnicas y administrativas para realizar el aprovechamiento de candelilla, transporte y almacenamiento del cerote (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2000). Hasta el día de hoy, la candelilla no está incluida en la NOM-059-SEMARNAT 2010, referente a las especies de flora y fauna con estatus de conservación (SEMARNAT,

The economic value of national non-timber forest production in 2016 was \$ 61 575 122.08 USD. *E. antisiphilitica* wax generated \$ 4 813 130.15 USD, from the commercialization of 1311 t (SEMARNAT, 2016). Coahuila is the main producer with 60 % of the annual national production, followed by Durango with 22 %, Zacatecas with 8 %, Chihuahua with 6 % and Nuevo León with 4 % (SEMARNAT, 2016). In these states, the use of Candelilla is an important remunerative activity for their inhabitants, as it generates income that contributes to the family economy since it represents a permanent source of employment (Arato, Speelman, Dessein, & van Huylenbroeck, 2017).

Worldwide, there is growing concern about the overexploitation of non-timber forest resources and the possible decrease in the area occupied by natural populations. In the particular case of *E. antisiphilitica*, the main area of distribution is the Chihuahuan Desert (Martínez-Ballesté & Mandujano, 2013). Its presence is subject to strong pressures, both from harvesting and land-use change and the effect of climate change. Given this risky scenario for these populations, it is important to know the potential distribution; for this purpose, the use of modeling based on environmental variables is a useful tool, because changes have an impact on biotic interactions (Lin & Chiu, 2018).

The beginning of modern modeling of species distribution was with Bioclim, using 19 bioclimatic variables and having a wide acceptance. Subsequently, with the Maximum Entropy model, modeling was strengthened; up to 2017, 900 articles were published on the subject of species distribution (Booth, 2018).

The modeling of *E. antisiphilitica* considers the biotic and abiotic conditions in which it persists. The models allow maintaining a stable population of a given species; in this way, species responses to changes in temperature and precipitation can be known (Maguire, Nieto-Lugilde, Fitzpatrick, Williams, & Blois, 2015). In the estimation of potential distribution, it is important to consider the evaluation of the ecological niche, regarding environmental requirements such as precipitation and temperature that determine the presence of plant populations (Filazzola, Sotomayor & Lortie, 2018).

The aims of this study were 1). to identify the bioclimatic variables that determine the potential distribution of *E. antisiphilitica* populations and 2). to estimate its current area in Mexico using the Maxent and Bioclim methods.

Materials and Methods

The study area comprises three regions: the Chihuahuan Desert, the Tehuacán-Cuicatlán Valley,

2010), la cual establece el riesgo de la permanencia de las poblaciones por la sobreexplotación de los recursos naturales.

El valor económico de la producción forestal no maderable nacional en 2016 fue de \$ 61 575 122.08 USD. En particular, la cera de *E. antisiphilitica* generó \$ 4 813 130.15 USD, resultado de la comercialización de 1 311 t (SEMARNAT, 2016). Donde Coahuila genera 60 % de la producción nacional anual, le siguen Durango con 22 %, Zacatecas con el 8 %, Chihuahua con 6 % y Nuevo León con el 4 % (SEMARNAT, 2016). En esas entidades el aprovechamiento de candelilla es una actividad productiva importante para sus habitantes, que genera ingresos que contribuyen a la economía familiar, y representa una fuente de empleo permanente (Arato, Speelman, Dessein, & van Huylenbroeck, 2017).

En el ámbito mundial existe una preocupación creciente por la sobreexplotación de los recursos forestales no maderables y la posible disminución de la superficie que ocupan sus poblaciones naturales. En el caso particular de *E. antisiphilitica*, el área principal de distribución es el Desierto Chihuahuense (Martínez-Ballesté & Mandujano, 2013).

Su presencia está sujeta a fuertes presiones, tanto por la recolección como por el cambio del uso de suelo y el efecto del cambio climático. Ante ese panorama de riesgo para sus poblaciones, es importante conocer su distribución potencial; para ello, el uso de la modelación a partir de variables ambientales es una herramienta útil, debido a que sus cambios inciden sobre las interacciones bióticas (Lin & Chiu, 2018).

El inicio de modelación moderna de la distribución de especies fue con Bioclim, usando 19 variables bioclimáticas y teniendo una amplia aceptación. Posteriormente, con el modelo de Máxima Entropía se fortaleció la modelación; hasta el 2017 se publicaron 900 artículos sobre el tema de distribución de especies (Booth, 2018).

En la modelación de *E. antisiphilitica* se considera a las condiciones bióticas y abióticas en las que persiste. Los modelos permiten mantener a la población estable de una especie determinada; así se pueden conocer las respuestas de las especies a los cambios de temperatura y precipitación (Maguire, Nieto-Lugilde, Fitzpatrick, Williams, & Blois, 2015). En la estimación de la distribución potencial es importante considerar la evaluación del nicho ecológico, considerando los requisitos ambientales como la precipitación y temperatura que determinan la presencia de las poblaciones vegetales (Filazzola, Sotomayor & Lortie, 2018).

Los objetivos del presente estudio fueron 1). identificar las variables bioclimáticas que determinan

and the Sonoran Desert. The first region is the biome with the largest extension and includes 16 states of the Mexican Republic (Taylor, Davis, Abad, McClung & Moran, 2017); the second is located in the states of Puebla and Oaxaca, which contains 10 to 11.4 % of the country's flora (Dávila et al., 2002); and the third included the Baja California Peninsula. The three regions have dry and semi-dry climates and have records of the presence of the species in question (Figure 1).

The study area covers an area of 684,031.12 km²; it is dominated by semi-dry BS₁ and dry BS₀ climates; 67.3% of the area have semi-cold, temperate, and warm environments, while the remaining 32.7 % has a very dry climate (BW) with temperate, semi-warm and warm temperatures (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 1998). The study area is characterized by annual rainfall of less than 300 mm in 30 % of the area and 70 % of the

la distribución potencial de las poblaciones de *E. antisiphilitica* y 2). estimar su superficie actual en México con los métodos Maxent y Bioclim.

Materiales y métodos

El Área de estudio comprende tres regiones: el Desierto Chihuahuense, el Valle de Tehuacán-Cuicatlán y el Desierto Sonorense. El primero es el bioma de mayor extensión e incluye a 16 estados de la República Mexicana (Taylor, Davis, Abad, McClung & Moran, 2017); el segundo se localiza en los estados de Puebla y Oaxaca, que contiene del 10 al 11.4 % de la flora del país (Dávila et al., 2002); y en el tercero se incluyó a la Península de Baja California. Las tres regiones presentan climas secos y semisecos y cuentan con registros de presencia de la especie del caso (Figura 1).

El área de estudio comprende una superficie de 684 031.12 km²; en ella predominan los climas semiseco

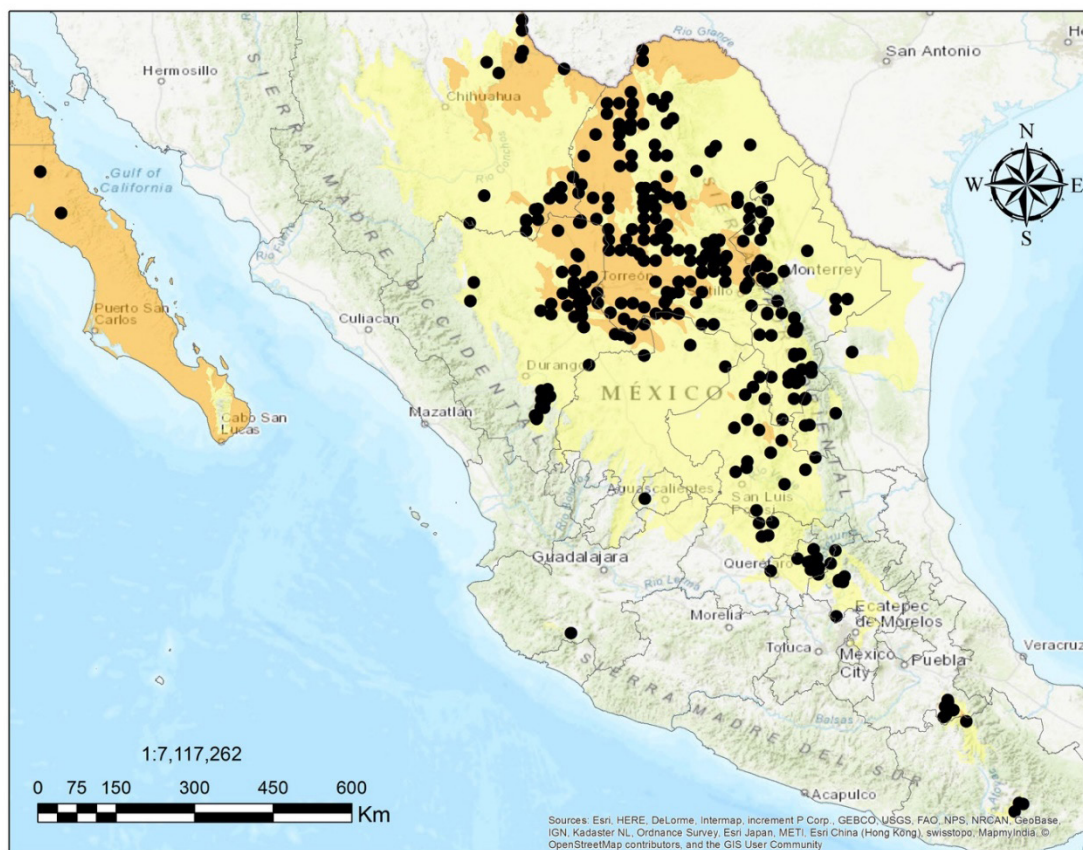


Figure 1. Distribution of dry and very dry climates in Mexico. Dots represent sites of the presence of *Euphorbia antisiphilitica* Zucc.

Figura 1. Distribución de los climas secos y muy secos en México. Los puntos representan los sitios de presencia de *Euphorbia antisiphilitica* Zucc.

area has rainfall of 301 to 500 mm, with the rainfall regime predominating in summer (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2017).

E. antisiphilitica is considered the most frequent species in the xerophilous scrub. This species is found in the areas of hills and lives closely associated with *Agave lechuguilla* Torr. (Encina-Domínguez, Meave, & Zarate-Lupercio, 2013). *E. antisiphilitica* has a wide distribution from the southern United States of America to central Mexico (Trejo, Alvarado-Cárdenas, Scheinvar & Eguiarte, 2016) with more than 200 recent species encompassing a diversity of morphologies and distributional patterns, is an adequate system for such analyses. We studied *Agave striata*, a widely distributed species from the Chihuahuan Desert, with a distinctive iteroparous reproductive ecology and two recognized subspecies with clear morphological differences. We used population genetic analyses along with bioclimatic studies to understand the effect of environment on the genetic variation and differentiation of this species. METHODS We analyzed six populations of the subspecies *A. striata* subsp. *striata*, with a southern distribution, and six populations of *A. striata* subsp. *falcata*, with a northern distribution, using 48 ISSR loci and a total of 541 individuals (averaging 45 individuals per population). Candelilla has the ecological function of a nurse plant, helping to protect and allowing the development of populations of royal agave (*Agave victoriae-reginae* T.Moore) and bishop's cap cactus (*Astrophytum myriostigma* Lem. (Muro, Romero, Flores & Sánchez, 2009; González Elizondo et al., 2011). Candelilla is considered an indispensable resource for wildlife survival and is part of the diet of the mule deer in the Chihuahuan Desert during periods of drought (Esparza, Laundré & Sosa, 2011).

Species location data

Data from the National Inventory of *E. antisiphilitica* Phase I collected in the field during 2015 and 2016 (CONABIO, 2016) were used in this study. Subsequently, the selection of 326 sites located only in areas with semi-dry, dry (Bs), and very dry (BW) climate was performed; 75 % of those sites were used for prediction and 25 % were involved in the validation process.

The evaluation of the influence of climatic variables on the distribution of *E. antisiphilitica* populations used 19 climatic layers acquired from Worldclim global at <http://worldclim.org/version2> (Fick & Hijmans, 2017); then, the aspects involved were annual trends, seasonality, and extreme limiting environmental factors with a spatial resolution of 1 km². Finally, 10 climate layers were used to estimate the potential distribution of the species, after processing a model test, selecting those that contributed the most to the model (Table 1).

BS₁ y seco BS₀; en el 67.3 % de la superficie existen ambientes semifríos, templados y cálidos, mientras que en el 32.7 % restante prevalece un clima muy seco (BW) con temperaturas templadas, semicálidas y cálidas (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 1998). El área de estudio se caracteriza por precipitaciones anuales menores a 300 mm en el 30 % de la superficie y el 70 % de la superficie presenta precipitaciones de 301 a 500 mm, predominando el régimen de lluvias en verano (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2017).

E. antisiphilitica se considera como la especie más frecuente del matorral xerófilo. Dicha especie se encuentra en las áreas de lomeríos y cerriles, además vive estrechamente asociada con *Agave lechuguilla* Torr. (Encina-Domínguez, Meave, & Zarate-Lupercio, 2013). *E. antisiphilitica* tiene una amplia distribución desde el sur de Estados Unidos de América hasta el centro de México (Trejo, Alvarado-Cárdenas, Scheinvar & Eguiarte, 2016) with more than 200 recent species encompassing a diversity of morphologies and distributional patterns, is an adequate system for such analyses. We studied *Agave striata*, a widely distributed species from the Chihuahuan Desert, with a distinctive iteroparous reproductive ecology and two recognized subspecies with clear morphological differences. We used population genetic analyses along with bioclimatic studies to understand the effect of environment on the genetic variation and differentiation of this species. METHODS We analyzed six populations of the subspecies *A. striata* subsp. *striata*, with a southern distribution, and six populations of *A. striata* subsp. *falcata*, with a northern distribution, using 48 ISSR loci and a total of 541 individuals (averaging 45 individuals per population). La candelilla tiene la función ecológica de nodriza, sirviendo en la protección y permitiendo el desarrollo de las poblaciones de noa (*Agave victoriae-reginae* T.Moore) y bonete de obispo (*Astrophytum myriostigma* Lem. (Muro, Romero, Flores & Sánchez, 2009; González Elizondo et al., 2011). La candelilla se considera un recurso indispensable para la sobrevivencia de la fauna silvestre y forma parte de la dieta del venado bura en el Desierto Chihuahuense durante los periodos de sequía (Esparza, Laundré & Sosa, 2011).

Datos de ubicación de la especie

Los datos del Inventario Nacional de *E. antisiphilitica* Fase I obtenidos en campo durante los años 2015 y 2016 (CONABIO, 2016) fueron usados en este estudio. Posteriormente, la selección de 326 sitios localizados solo en áreas con clima semiseco, seco (Bs) y muy seco (BW) fue realizada; el 75 % de esos sitios se utilizó para la predicción y el 25 % se involucró en la validación. En la evaluación de la influencia de las variables

Table 1. Bioclimatic variables used for modeling and contribution to the model to determine the potential distribution of *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. in Mexico.

Cuadro 1. Variables bioclimáticas usadas en la modelación y su contribución al modelo para determinar la distribución potencial de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. en México.

Variables	Description / Descripción	Unit / Unidad	Mean / Media	Initial contribution to the model (%) / Contribución inicial al modelo (%)	Final contribution to the model (%) / Contribución final al modelo (%)
Bio1	Mean annual temperature / Temperatura media anual	°C	15.97	0.3	
Bio2	Mean diurnal temperature range / Rango de temperatura media diurna		12.92	4.1	4.7*
Bio3	Isothermality / Isotermalidad		4.65	5.3	5.2*
Bio4	Temperature seasonality / Estacionalidad de la temperatura		361.37	2.5	
Bio5	Maximum temperature of the warmest month / Temperatura máxima del mes más cálido	°C	26.95	0	
Bio6	Minimum temperature of the coldest month / Temperatura mínima del mes más frío	°C	3.79	6.3	7.5*
Bio7	Annual temperature range (Bio5-Bio6) / Rango de temperatura anual (Bio5-Bio6)		23.17	0.7	
Bio8	Mean temperature of the most rainy quarter / Temperatura media del trimestre más lluvioso	°C	19.36	0.3	
Bio9	Mean temperature of the driest quarter / Temperatura media del trimestre más seco	°C	13.02	7.1	10*
Bio10	Mean temperature of the warmest quarter / Temperatura media del trimestre más cálido	°C	20.09	4.9	4.9*
Bio11	Mean temperature of the coldest quarter / Temperatura media del trimestre más frío	°C	10.97	0.3	
Bio12	Annual precipitation / Precipitación anual	mm	379.66	11.9	23.6*
Bio13	Precipitation in the most rainy month / Precipitación del mes más lluvioso	mm	78.33	1.1	
Bio14	Precipitation in the driest month / Precipitación del mes más seco	mm	6.34	0	
Bio15	Precipitation seasonality / Estacionalidad de precipitación		75.39	1.4	
Bio16	Precipitation in the wettest quarter / Precipitación del trimestre más lluvioso	mm	197.96	17.5	11.7*
Bio17	Precipitation in the driest quarter / Precipitación del trimestre más seco	mm	26.50	8.3	6.6*
Bio18	Precipitation in the warmest quarter / Precipitación del trimestre más cálido	mm	157.06	13.1	11.6*
Bio19	Precipitation in the coldest quarter / Precipitación del trimestre más frío	mm	35.06	14.9	14.2*

*The 10 variables that contribute the most to the model were used after the modeling tests in Maxent.

*Las 10 variables que más aportan al modelo fueron usadas después de las prueba de modelación en Maxent.

Modeling

The raster files of the bioclimatic variables (*.tiff) were transformed to ascii format (*.asc) with the program Diva Gis 7.5[®] (Guarino, Jarvis, Hijmans & Maxted, 2002). Site coordinates were processed in Excel 2013[®] from text format (*.csv) to a vector shape file (*.shp). The variables were processed using the maximum entropy distribution method using the Maxent[®] 3.4.1 program (Phillips, 2008). Statistical analyses of the variables were carried out with the area under the curve (AUC) test to assess the reliability of the model and the geographic output of the distribution (Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E., 2017). Finally, using Diva-Gis[®] 7.5 software, temperature and precipitation requirements were analyzed by comparison of bioclimatic variables and prediction of Bioclim distribution modeling and geographic output.

Results and Discussion

Prediction model

The prediction of distribution areas of *E. antisyphilitica* at the national level corresponds to an AUC of 0.934. This value indicates an excellent performance of the model according to Swets (1988). On the other hand, the AUC of the model validation was 0.892, i.e., a good performance.

To determine the distribution of living beings, bioclimatic parameters are considered useful to study the relationship between climate and distribution; therefore, climatic requirements of each species can be identified (Filazzola et al., 2018). In the case of the contribution of variables to the prediction model, precipitation variables contributed 67.7 %, while temperature variables contributed 32.4 %; these results agree with that observed by (Reed et al., 2012), who observed that *Syntrichia caninervis* specimens were affected by precipitation in an arid ecosystem. Therefore, in desert areas where rainfall is scarce, its impact on the development and permanence of vegetation is of great relevance; which is particularly true for *E. antisyphilitica*.

In the evaluation of the particular contribution of each variable, annual precipitation (Bio12) stands out because it had the greatest influence in modeling, contributing 23.6 %. While with the contribution of two variables together, the effects of precipitation of the coldest quarter (Bio19) and minimum temperature of the coldest month (Bio6) stand out with 14.2 and 7.5 %, respectively; together they contributed 22 %. These results can be explained with that observed by Polley et al. (2013), who concluded that less severe and wet winters favor plant development in arid areas due to the availability of water, together with low

climáticas sobre la distribución de las poblaciones de *E. antisyphilitica* se utilizaron inicialmente 19 capas climáticas adquiridas de Worldclim global en <http://worldclim.org/version2> (Fick & Hijmans, 2017); entonces, los aspectos involucrados fueron tendencias anuales, de estacionalidad y de factores ambientales extremos limitantes con una resolución espacial de 1 km². Finalmente, 10 capas climáticas se usaron para estimar la distribución potencial de la especie, después de procesar una prueba del modelo, seleccionando las que más aportaron al modelo (Cuadro 1).

Modelación

Los archivos raster de las variables bioclimáticas (*.tiff) se transformaron a formato ascii (*.asc) con el programa Diva Gis 7.5[®] (Guarino, Jarvis, Hijmans & Maxted, 2002). Las coordenadas de los sitios se procesaron en Excel 2013[®], pasando del formato texto (*.csv) a un archivo vectorial shape (*.shp). En conjunto se procesaron las variables con el método de distribución de máxima entropía con el programa Maxent[®] 3.4.1 (Phillips, 2008). Análisis estadísticos de las variables se llevaron a cabo con la prueba del área bajo la curva (AUC) para evaluar la confiabilidad del modelo y la salida geográfica de la distribución (Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E., 2017). Finalmente, con el programa Diva-Gis[®] 7.5 se analizaron los requerimientos de temperatura y precipitación mediante comparación de las variables bioclimáticas y la predicción de la modelación de la distribución Bioclim y la salida geográfica.

Resultados y discusión

Modelo de predicción

La predicción de las áreas de distribución de *E. antisyphilitica* a nivel nacional corresponde a una AUC de 0.934. Este valor indica un rendimiento excelente del modelo de acuerdo con Swets (1988). Por su parte, el AUC de la validación del modelo fue de 0.892, es decir, un rendimiento bueno.

Para determinar la distribución de los seres vivos se considera que los parámetros bioclimáticos son útiles para estudiar la relación entre el clima y la distribución; por lo tanto, los requerimientos climáticos de cada especie se pueden identificar (Filazzola et al., 2018). En el caso de la contribución de las variables al modelo de predicción, las variables de precipitación contribuyeron con el 67.7 %, mientras que las variables de temperatura aportaron el 32.4 %; estos resultados concuerdan con lo observado por (Reed et al., 2012) quienes observaron que los ejemplares de *Syntrichia caninervis* fueron afectados por la precipitación en un ecosistema árido. Por lo tanto, en las zonas desérticas donde la lluvia es escasa, su impacto en el desarrollo y

evapotranspiration. Furthermore, they also agree with Kidron & Gutschick (2017), who concluded that winter rainfall mainly benefits shrub species, while summer precipitation favors herbaceous species.

In the evaluation of the relationships of the bioclimatic variables in the distribution areas of *E. antisiphilitica* (Figure 2a), 80.3 % of the data corresponds to sites with between 200 and 500 mm of annual precipitation and only 19.3 % of the data is related to places where precipitation exceeds 700 mm and are considered unfavorable habitats for the species. These results agree with those reported by Granados-Sánchez, Sánchez-González, Granados, and Borja (2011), who mention that the species develops in places with annual precipitation less than 500 mm. Furthermore, our results agree with those of Pando-Moreno et al. (2008), who found that *E. antisiphilitica* shares the same areas with *A. lechuguilla* when annual precipitation is 200 to 500 mm.

Precipitation and temperature data for the rainiest months, i.e., July, August, and September (Figure 2b) indicated that humidity requirements are between 100 and 370 mm, while temperature requirements are between 18 and 28 °C. In these months, *E. antisiphilitica* populations show growth favored by the availability of humidity; these conditions occur frequently during the summer in the north of Mexico (Petrie, Collins & Litvak, 2015). However, the higher the temperature, the higher the evapotranspiration rate, which exceeds the annual precipitation, generally less than 250 mm per year (Skrzypek, Paul & Wojtuń, 2013).

Precipitation during the dry period (February to April) ranges between 13 and 56 mm, which is sufficient for plant survival (Figure 2c), while temperature varies between 12 and 19 °C. *E. antisiphilitica* tolerates long periods of drought due to adaptations that allow it to survive in very dry environments, resisting cold temperatures in winter and warm temperatures in spring-summer through the production of secondary metabolites such as latex (Rojas-Molina et al., 2013). Also, milkweeds can be water reserves (Kekwick, 2006) and act as protection against adverse environmental conditions (Lan, 2019).

In the warmer months (May to July) warm temperatures and low precipitation (Figure 2d) are recorded in the form of hail or torrential rain. These conditions limit the development and permanence of natural populations; therefore, the poor growth of *E. antisiphilitica* plants may be the expression of stress. In this respect, Martínez-Ballesté and Mandujano (2013) indicate that the growth rate of Candelilla is higher during the rainy summer; while large variation in daily temperatures and drought in winter months may cause a decrease in stem production during springtime.

permanencia de la vegetación es de gran relevancia; lo cual es particularmente veraz para *E. antisiphilitica*.

En la evaluación de la contribución particular de cada variable destaca la precipitación anual (Bio12) ya que presentó la influencia mayor en la modelación aportando el 23.6 %. Mientras que con la aportación de dos variables juntas destacan los efectos de la precipitación del trimestre más frío (Bio19) y temperatura mínima del mes más frío (Bio6) con 14.2 y 7.5 %, respectivamente; en conjunto aportaron el 22 %. Estos resultados pueden explicarse con lo observado por Polley et al. (2013), quienes concluyeron que las lluvias en invierno benefician principalmente a las especies arbustivas, mientras que las precipitaciones en verano favorece a las herbáceas.

En la evaluación de las relaciones de las variables bioclimáticas en las áreas de distribución de *E. antisiphilitica* (Figura 2a), el 80.3 % de los datos corresponde a sitios con entre 200 y 500 mm de precipitación anual y solo el 19.3% de los datos se asocia a lugares donde se presentan precipitaciones mayores a 700 mm y se consideran hábitats desfavorables para la especie. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Granados-Sánchez, Sánchez-González, Granados y Borja (2011), quienes mencionan que la especie se desarrolla en lugares con precipitaciones menores a 500 mm anuales. Además, nuestros resultados coinciden con los de Pando-Moreno et al. (2008), quienes encontraron que *E. antisiphilitica* comparte los mismos espacios con *A. lechuguilla* cuando la precipitación anual es de 200 a 500 mm.

Los datos de precipitación y temperatura en los meses más lluviosos, es decir, julio, agosto y septiembre (Figura 2b) indicaron que los requerimientos de humedad son entre 100 y 370 mm, mientras que los de temperatura son entre 18 y 28 °C. En estos meses las poblaciones de *E. antisiphilitica* presentan crecimiento propiciado por la disponibilidad de humedad; estas condiciones se presentan frecuentemente durante el verano en el norte de México (Petrie, Collins & Litvak, 2015). Sin embargo, a mayor temperatura se presenta mayor evapotranspiración, cuya tasa sobrepasa la precipitación anual generalmente menor a 250 mm anuales (Skrzypek, Paul & Wojtuń, 2013).

La precipitación en el periodo seco (de febrero a abril) varía de 13 y 56 mm, cantidad que es suficiente para la sobrevivencia de las plantas (Figura 2c), mientras que la temperatura varía entre 12 y 19 °C. *E. antisiphilitica* tolera periodos largos de sequía por las adaptaciones que le permiten sobrevivir en ambientes muy secos, resistiendo temperaturas frías en invierno y calientes en primavera-verano mediante la producción de metabolitos secundarios como látex (Rojas-Molina et al., 2013). También, los lactíferos pueden ser reservas

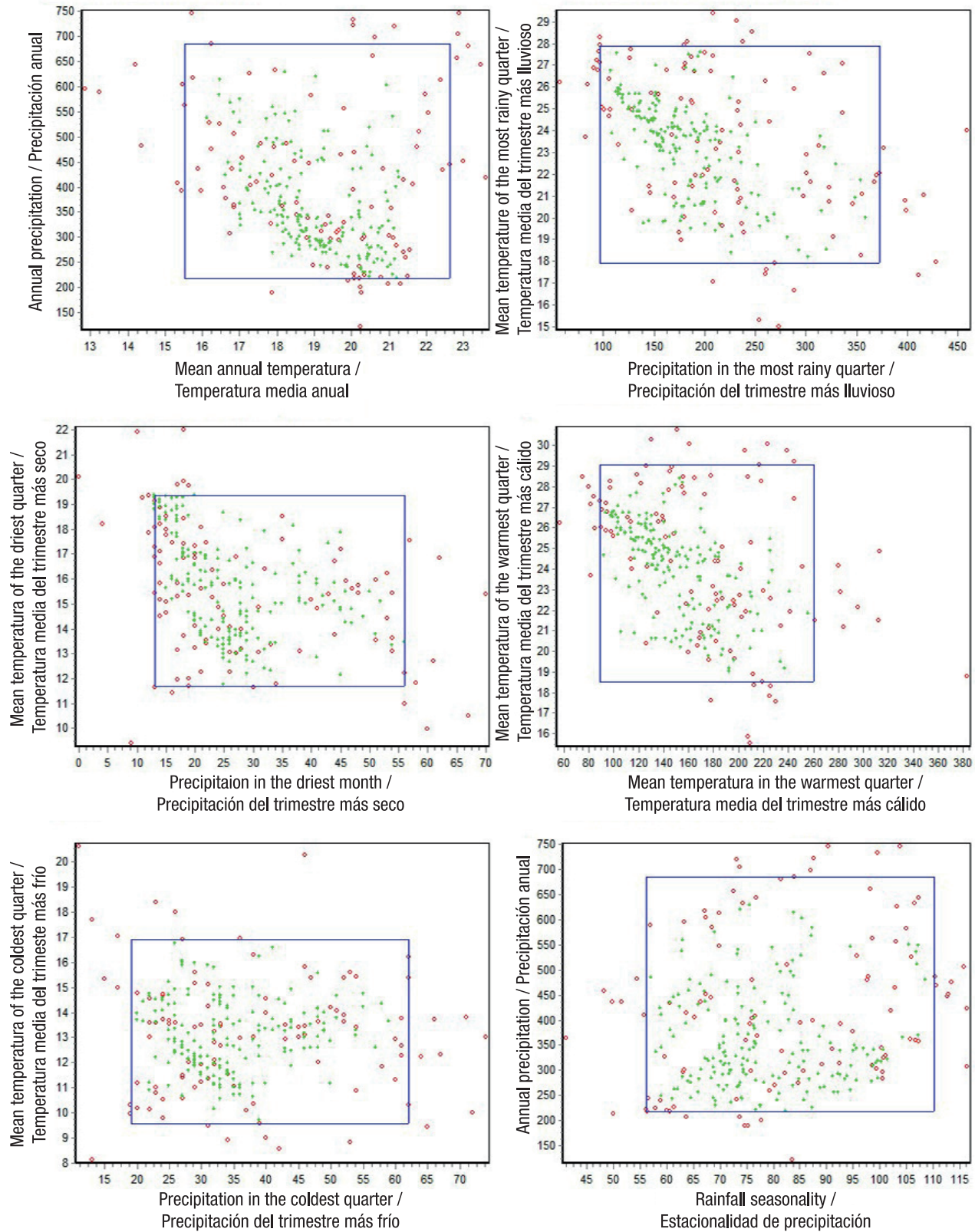


Figure 2. Relationships between bioclimatic variables of temperature (°C) and precipitation (mm) in the sites with the presence of *Euphorbia antisiphilitica* Zucc in Mexico.

Figura 2. Relaciones entre variables bioclimáticas de temperatura (°C) y precipitación (mm) en los sitios con presencia de *Euphorbia antisiphilitica* Zucc en México.

The climate variables that most influenced the primary production of the ecosystems are the amount of precipitation and temperature, which coincides with Wang et al. (2016). Therefore, plant biomass production may have effects on arid zone ecosystems where warm temperatures and low precipitation are associated with lower productivity compared to forests and rainforests (Hadley & Szarek, 1981; Sun & Du, 2017). Arid ecosystems have limited resources, however, there are species adapted to these conditions, such as *E. antisiphilitica* (Granados-Sánchez, Hernández-García, Vázquez-Alarcón & Ruíz-Puga, 2013).

Potential distribution of *Euphorbia antisiphilitica*

Diva-Gis Bioclim estimated an area of 16 577.23 km² with potential for *E. antisiphilitica*, while Maxent estimated 111 836.50 km² (6.74 times the area calculated with Bioclim) distribution in 16 states of Mexico (Figure 3). Martínez, Hermosillo, and Mojica (2015) recorded an area of 85 263.36 km² where Candelilla is distributed in three vegetation types: desert, cactus scrub, and chaparral in four states in the north of Mexico.

The area covered by *E. antisiphilitica* requirements estimated by Bioclim was 166 529.45 km², less than 410 504.99 km² recorded with Maxent. Zamora, Méndez, Pérez, and Cortés (2013), based on ecological requirements (altitude, total annual precipitation, mean annual temperature, and soil texture), reported that the potential area for Candelilla is 305 129.53 km². Maxent estimated an area of 111 836.50 km² with a high density of *E. antisiphilitica* (Table 2). This area is similar to that reported by Sheldon (1980) concerning the ecological niche shared by *Agave lechuguilla* Torr. and *E. antisiphilitica* (110 200 km²).

de agua (Kekwick, 2006) y servir como protección ante las condiciones adversas del ambiente (Lan, 2019).

En los meses más cálidos (de mayo a julio) se presentan temperaturas calientes y precipitación escasa (Figura 2d) en forma de granizada o lluvia torrencial. Estas condiciones limitan el desarrollo y permanencia de las poblaciones naturales; por lo tanto, el crecimiento escaso de las plantas de *E. antisiphilitica* puede ser la expresión del estrés. En este sentido, Martínez-Ballesté y Mandujano (2013) Euphorbiaceae indican que la tasa de crecimiento de plantas de candelilla es mayor durante el verano lluvioso; mientras que la gran variación de las temperaturas diarias y la sequía en los meses invernales pueden causar la disminución de la producción de tallos en primavera.

Las variables del clima que influyeron más en la producción primaria de los ecosistemas, son cantidad de precipitación y temperatura, lo cual coincide con lo señalado por Wang et al. (2016). Por lo tanto, la producción de biomasa de las plantas puede tener efectos sobre los ecosistemas de zonas áridas donde las temperaturas calientes y la precipitación escasa propician menor productividad que los bosques y selvas húmedas (Hadley & Szarek, 1981; Sun & Du, 2017). En los ecosistemas áridos, los recursos son limitados, sin embargo, especies adaptadas a estas condiciones existen, como *E. antisiphilitica* (Granados-Sánchez, Hernández-García, Vázquez-Alarcón & Ruíz-Puga, 2013).

Distribución potencial de *Euphorbia antisiphilitica*

Bioclim de Diva-Gis estimó una superficie de 16 577.23 km² con potencial para *E. antisiphilitica*, mientras que Maxent estimó 111 836.50 km² (6.74 veces la superficie

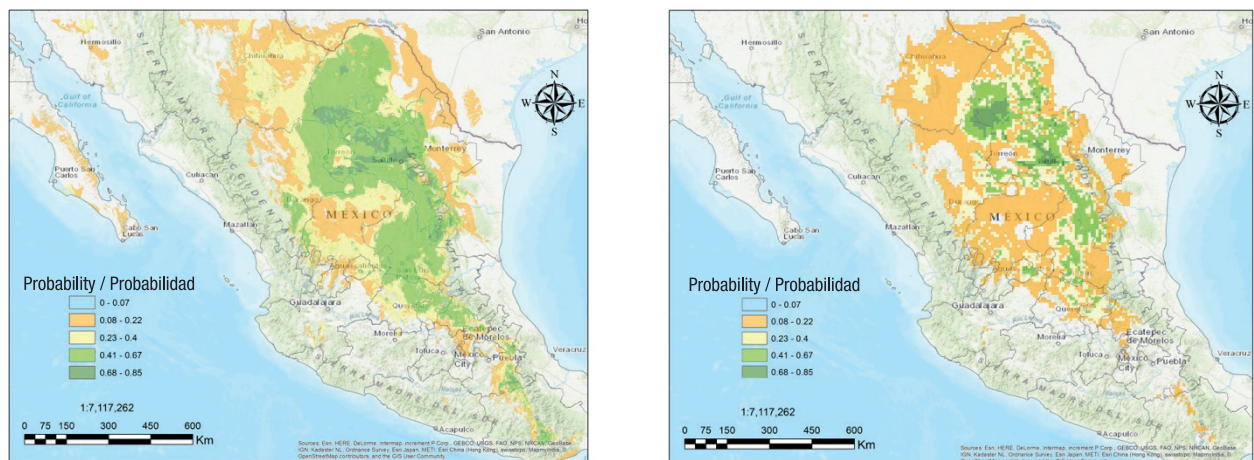


Figure 3. Maps of *Euphorbia antisiphilitica* distribution in Mexico derived from the Maxent (left) and Diva-Gis Bioclim (right) potential distribution models.

Figura 3. Mapas de presencia de *Euphorbia antisiphilitica* en México generados a partir de los modelos de distribución potencial Maxent (izquierda) y Bioclim de Diva-Gis (derecha).

Table 2. Estimation of distribution areas of *Euphorbia antisyphilitica* in Mexico using two potential distribution models (Diva-Gis Bioclim and Maxent).

Cuadro 2. Estimación de superficies de distribución de *Euphorbia antisyphilitica* en México usando dos modelos de distribución potencial (Bioclim de Diva-Gis y Maxent).

Presence/ Presencia	Probability (%)/ Probabilidad (%)	Area estimated with Bioclim (km ²)/ Superficie estimada con Bioclim (km ²)	Area estimated with Maxent (km ²)/ Superficie estimada con Maxent (km ²)
Low/Bajo	0.17-0.32	103,438.63	171,579.73
Medium/Medio	0.33-0.50	46,513.59	127,088.76
High/Alto	0.51-0.88	16,577.23	111,836.50

The Bioclim program has been widely used, mainly because of the simplicity of using the database of bioclimatic variables directly. However, the Maxent program has greater application for determining the ecological niche of a species at present time (Booth et al., 2014). In the geographic output, Maxent has better resolution due to the number of details (pixels) and, consequently, better image quality than Diva-Gis Bioclim (Ramírez-Villegas, Khoury, Jarvis, Debouck & Guarino, 2010; Eaton et al., 2018).

Distribution areas of *E. antisyphilitica* are located mainly in the Chihuahuan Desert and in the Tehuacán-Cuicatlán Valley. In the latter, the ecosystem is called *E. antisyphilitica* scrub and is associated with species of commercial interest such as *Agave potatorum* (Delgado-Lemus, Casas & Téllez, 2014). This is in agreement with the collection records of the herbarium of the Institute of Biology of the Universidad Nacional Autónoma de México (IBUNAM, 2019).

For further studies, it is important to evaluate the possible changes that *E. antisyphilitica* populations will undergo due to climate change effects. Global warming will possibly affect ecosystems in Mexico, as it is predicted that there will be increases in temperature, i.e., warmer and drier conditions that may affect vegetation and increase migration of settlers. This circumstance and a decrease in precipitation could increase vulnerability and disappearance of plant and animal species (Rodríguez, 2015). Therefore, it is advisable to generate near and distant future scenarios at the national level on the natural distribution of taxa of ecological, social, and economic interest.

Conclusions

Precipitation and temperature variables are essential for the distribution of natural populations of *Euphorbia*

calculada con Bioclim) distribución en 16 estados de México (Figura 3). Por su parte, Martínez, Hermosillo y Mojica (2015) registraron una superficie de 85 263.36 km² donde se distribuye la candelilla en tres tipos de vegetación: matorral desértico rosetófilo, matorral desértico micrófilo y chaparral en cuatro estados del norte de México.

La superficie que cubre los requerimientos de *E. antisyphilitica* estimada por Bioclim fue de 166 529.45 km², menor a 410 504.99 km² obtenida con Maxent. Por su parte, Zamora, Méndez, Pérez y Cortés (2013), a partir de los requerimientos ecológicos (altitud, precipitación total anual, temperatura media anual y textura del suelo), documentaron que el área potencial de aprovechamiento de candelilla es de 305 129.53 km².

Con Maxent se estimó una superficie de 111 836.50 km² con densidad grande de *E. antisyphilitica* (Cuadro 2). Esta superficie es similar a la consignada por Sheldon (1980) con respecto al nicho ecológico que comparten *Agave lechuguilla* Torr. y *E. antisyphilitica* (110 200 km²).

El programa Bioclim ha sido ampliamente utilizado, principalmente por la facilidad de usar directamente la base de datos de las variables bioclimáticas. Sin embargo, el programa Maxent tiene mayor aplicación para determinar el nicho ecológico de una especie en la actualidad (Booth et al., 2014). En la salida geográfica, Maxent tiene mejor resolución por la cantidad de detalles (píxeles) y, por consecuencia, mejor calidad de imagen que Bioclim de Diva-Gis (Ramírez-Villegas, Khoury, Jarvis, Debouck & Guarino, 2010; Eaton et al., 2018).

Las áreas de distribución de *E. antisyphilitica* se encuentran principalmente en el Desierto Chihuahuense y en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán. En este último, el

antisyphilitica. Maxent is a better model than Diva-Gis Bioclim for determining the potential area occupied by *E. antisyphilitica* and allows for higher resolution quality images. This represents an advantage for estimating the distribution areas of Candelilla populations.

End of English version

References / Referencias

- Arato, M., Speelman, S., Dessein, J., & van Huylbroeck, G. (2017). Assessment of socio-economic configuration of value chains: A proposed analysis framework to facilitate integration of small rural producers with global agribusiness. *International Food and Agribusiness Management Review*, 20(1), 25–43. <http://doi.org/10.22434/IFAMR2015.0060>
- Booth, T. H. (2018). Why understanding the pioneering and continuing contributions of BIOCLIM to species distribution modeling is important. *Austral Ecology*, 43(8), 852–860. <http://doi.org/10.1111/aec.12628>
- Booth, T. H., Nix, H. A., Busby, J. R., & Hutchinson, M. F. (2014). Bioclim: The first species distribution modeling package, its early applications and relevance to most current MaxEnt studies. *Diversity and Distributions*, 20(1), 1–9. <http://doi.org/10.1111/ddi.12144>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (1998). Climas. Retrieved from <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2016). Inventario Nacional de Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) Fase I. Version 1.5. <http://doi.org/https://doi.org/10.15468/uk2iqi>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2017). Normales Climatológicas por Estación. Retrieved October 1, 2017, from <http://smn.cna.gob.mx/es/>
- Dávila, P., Arizmendi, M. D. C., Valiente-Banuet, A., Villaseñor, J. L., Casas, A., & Lira, R. (2002). Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlan Valley, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 11(3), 421–442. <http://doi.org/10.1023/A:1014888822920>
- Delgado-Lemus, A., Casas, A., & Téllez, O. (2014). Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: Bases for sustainable use of non-timber forest products. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10, 63. <http://doi.org/10.1186/1746-4269-10-63>
- Eaton, S., Ellis, C., Genney, D., Thompson, R., Yahr, R., & Haydon, D. T. (2018). Adding small species to the big picture: Species distribution modelling in an age of landscape scale conservation. *Biological Conservation*, 217, 251–258. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.11.012>
- Encina-Domínguez, J. A., Meave, J. A., & Zarate-Lupercio, A. (2013). Structure and woody species diversity of the *Dasyliirion cedrosanum* (Nolinaceae) rosette scrub of

ecosistema se denomina Matorral de *E. antisyphilitica* y se asocia con especies de interés comercial como *Agave potatorum* (Delgado-Lemus, Casas & Téllez, 2014) but the current mescal production has great impact on populations of the most used species. Harvesting of *A. potatorum* takes place before sexual reproduction and the over-extraction put local populations at high risk. In the community of San Luis Atolotlán (SLA. Ello concuerda con los registros de colectas del herbario del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (IBUNAM, 2019).

En los estudios subsecuentes es indispensable evaluar los cambios posibles que tendrán las poblaciones de *E. antisyphilitica* por los efectos del cambio climático. El calentamiento global afectará posiblemente a los ecosistemas en México, pues se pronostica que habrá incrementos de temperatura, es decir, condiciones más cálidas y secas que pueden generar afectaciones a la vegetación e incrementar la migración de los pobladores (Jessoe, Manning & Taylor, 2018). Tal circunstancia y una disminución de precipitación podría incrementar la vulnerabilidad y la desaparición de especies de plantas y animales (Rodríguez, 2015). Por lo tanto, lo recomendable es generar escenarios futuros cercanos y lejanos a nivel nacional sobre la distribución natural de taxas de interés ecológico, social y económico.

Conclusiones

Las variables de precipitación y temperatura son determinantes para la distribución de las poblaciones naturales de *Euphorbia antisyphilitica*. Maxent es mejor modelo que Bioclim de Diva-Gis para determinar la superficie potencial que ocupa *E. antisyphilitica* y permite obtener imágenes calidad con resolución mayor. Esto representa una ventaja para estimar las áreas de distribución de poblaciones de candelilla.

Fin de la versión en español

- central and southern Coahuila State, Mexico. *Botanical Sciences*, 91(3), 335–347.
- Esparza-Carlos, J. P., Landré, J. W., & Sosa, V. J. (2011). Precipitation impacts on mule deer habitat use in the Chihuahuan desert of Mexico. *Journal of Arid Environments*, 75(11), 1008–1015. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.04.030>
- European Parliament. (2016). *Wildlife Crime in the Netherlands*. Retrieved from [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2016/578957/IPOL_IDA\(2016\)578957_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2016/578957/IPOL_IDA(2016)578957_EN.pdf)
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <http://doi.org/10.1002/joc.5086>

- Filazzola, A., Sotomayor, D. A., & Lortie, C. J. (2018). Modelling the niche space of desert annuals needs to include positive interactions. *Oikos*, 127(2), 264–273. <http://doi.org/10.1111/oik.04688>
- González Elizondo, M. del S., González Elizondo, M., Reséndiz Rojas, L., López Enríquez, I. M., Tena Flores, J. A.,..., Rentería. (2011). Revisión periódica de *Agave victoriae-reginae* en el apéndice II de la CITES.
- Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M. Á., Vázquez-Alarcón, A., & Ruíz-Puga, P. (2013). Los procesos de desertificación y las regiones áridas. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(1), 45–66. <http://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.10.077>
- Granados-Sánchez, D., Sánchez-González, A., Granados Victorino, R. L., & Borja de la Rosa, A. (2011). Ecología de la vegetación del desierto chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XVII, 111–130. <http://doi.org/10.5154/r.rchscfa>
- Guarino, L., Jarvis, A., Hijmans, R. J., & Maxted, N. (2002). Geographic Information Systems (GIS) and the Conservation and Use of Plant Genetic Resources. pp. 1-33. In: *Proceedings of the International Conference on Science and Technology for Managing Plant Genetic Diversity in The 21st Century, Theme 10: GIS Applications for Genetic Resources Management*. 12th to 16th, June, 2000. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Hadley, N. F., & Szarek, S. R. (1981). Productivity of Desert Ecosystems. *BioScience*, 31(10), 751–753. <http://doi.org/10.2307/1308782>
- Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (IBUNAM). (2019). *Euphorbia antisiphilitica* var. *luxurians* Miranda, ejemplar de: Herbario Nacional de México (MEXU). *Datos Abiertos UNAM (En Línea)*. Retrieved from <http://datosabiertos.unam.mx/IBUNAM:MEXU:T18770>
- Jessoe, K., Manning, D. T., & Taylor, J. E. (2018). Climate change and labour allocation in rural Mexico: Evidence from annual fluctuations in weather. *Economic Journal*, 128(608), 230–261. <http://doi.org/10.1111/eoj.12448>
- Kekwick, R. G. (2006). Latex and Laticifers. In *Encyclopedia of Life Sciences*. <http://doi.org/10.1038/npg.els.0000913>
- Kidron, G. J., & Gutschick, V. P. (2017). Temperature rise may explain grass depletion in the Chihuahuan Desert. *Ecohydrology*, 10(4), e1849. <http://doi.org/10.1002/eco.1849>
- Lan, Y. (2019). Waxes. pp. 312–316. In: L. Melton, F. Shahidi, & P. B. T-E. of F. C. Varelis (Eds.). Oxford: Academic Press. <http://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22344-5>
- Lin, C. T., & Chiu, C. A. (2018). The relic *Trochodendron aralioides* Siebold & Zucc. (Trochodendraceae) in Taiwan: Ensemble distribution modeling and climate change impacts. *Forests*, 10(1), 7. <http://doi.org/10.3390/f10010007>
- Maguire, K. C., Nieto-Lugilde, D., Fitzpatrick, M. C., Williams, J. W., & Blois, J. L. (2015). Modeling Species and Community Responses to Past, Present, and Future Episodes of Climatic and Ecological Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46(1), 343–368. <http://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054441>
- Martínez-Ballesté, A., & Mandujano, M. C. (2013). The Consequences of Harvesting on Regeneration of a Non-timber Wax Producing Species (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) of the Chihuahuan Desert. *Economic Botany*, 67(2), 121–136.
- Martínez S, M., David E. Hermosillo Rojas., Aldo Saúl Mojica Guerrero., J. A. P. A. (2015). *Potencial productivo y zonificación para el uso y manejo de especies forestales de zonas áridas*. Chihuahua, México: INIFAP.
- Muro Pérez, G., Romero Méndez, U., Flores Rivas, J. D., & Sánchez Salas, J. (2009). Algunos aspectos sobre el nodrizaje en *Astrophytum myriostigma* Lem.(1839) (Cactae: Cactaceae), en la sierra el Sarnoso, Durango, México. *Nakari*, 20(3), 43–48.
- Pando-Moreno, M., Pulido, R., Castillo, D., Jurado, E., & Jiménez, J. (2008). Estimating fiber for lechuguilla (*Agave lecheguilla* Torr., Agavaceae), a traditional non-timber forest product in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 255(11), 3686–3690. <http://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.02.053>
- Petrie, M. D., Collins, S. L., & Litvak, M. E. (2015). The ecological role of small rainfall events in a desert grassland. *Ecohydrology*, 8(8), 1614–1622. <http://doi.org/10.1002/eco.1614>
- Phillips, S. (2008). *A Brief Tutorial on Maxent*. AT&T Research.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887–893.
- Polley, H. W., Briske, D. D., Morgan, J. A., Wolter, K., Bailey, D. W., & Brown, J. R. (2013). Climate Change and North American Rangelands: Trends, Projections, and Implications. *Rangeland Ecology & Management*, 66(5), 493–511. <http://doi.org/10.2111/REM-D-12-00068.1>
- Ramírez-Villegas, J., Khoury, C., Jarvis, A., Debouck, D. G., & Guarino, L. (2010). A Gap analysis methodology for collecting crop gene pools: A case study with *Phaseolus* beans. *PLoS ONE* 5(10), e13497. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0013497>
- Reed, S. C., Coe, K. K., Sparks, J. P., Housman, D. C., Zelikova, T. J., & Belnap, J. (2012). Changes to dryland rainfall result in rapid moss mortality and altered soil fertility. *Nature Climate Change*, 2(10), 752–755. <http://doi.org/10.1038/nclimate1596>
- Rodríguez Fabiola. (2015). Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 6(2), 4-23.
- Rojas-Molina, R., De León-Zapata, M. A., Saucedo-Pompa, S., Aguilar-Gonzalez, M. A., & A. C. N. (2013). Chemical and structural characterization of *Candelilla* (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(12), 702–705. <http://doi.org/10.5897/JMPR11.321>

- Schneider, E., & für Naturschutz, B. (2009). Trade survey study on succulent Euphorbia species protected by CITES and used as cosmetic, food and medicine, with special focus on Candelilla wax. In *18th meeting of the Plants Committee. Commissioned by Bundesamt für Naturschutz, CITES Scientific Authority, Germany.*
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2000). Norma Oficial Mexicana. NOM-018- SEMARNAT-1999. *Diario Oficial.*
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Norma Oficial Mexicana. NOM-059-SEMARNAT-2010. *Diario Oficial.*
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2016, 226. Retrieved from <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/282951/2016.pdf>
- Sheldon, S. (1980). Ethnobotany of Agave lecheguilla and Yucca carnerosana in Mexico's Zona ixtlera. *Economic Botany*, 34(4), 376–390. <http://doi.org/10.1007/BF02858314>
- Skrzypek, G., Paul, D., & Wojtuń, B. (2013). The altitudinal climatic effect on the stable isotope compositions of Agave and Opuntia in arid environments - A case study at the Big Bend National Park, Texas, USA. *Journal of Arid Environments*, 92, 102–112. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.02.002>
- Sun, J., & Du, W. (2017). Effects of precipitation and temperature on net primary productivity and precipitation use efficiency across China's grasslands. *GIScience & Remote Sensing*, 54(6), 881–897. <http://doi.org/10.1080/15481603.2017.1351147>
- SWETS, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285–1293. <http://doi.org/10.1126/science.3287615>
- Taylor, N. T., Davis, K. M., Abad, H., McClung, M. R., & Moran, M. D. (2017). Ecosystem services of the Big Bend region of the Chihuahuan Desert. *Ecosystem Services*, 27, 48–57. <http://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.07.017>
- Trejo, L., Alvarado-Cárdenas, L. O., Scheinvar, E., & Eguiarte, L. E. (2016). Population genetic analysis and bioclimatic modeling in agave striata in the chihuahuan desert indicate higher genetic variation and lower differentiation in drier and more variable environments. *American Journal of Botany*, 103(6), 1020–1029. <http://doi.org/10.3732/ajb.1500446>
- United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC). (2016). *EU Wildlife Trade 2014: Analysis of the European Union and candidate countries' annual reports to CITES 2014.*
- United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC). (2011). *Analysis of European Union and candidate countries' annual reports to CITES.*
- United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC). (2013). *Analysis of European Union and candidate countries' annual reports to CITES 2011.*
- United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC). (2014). *Checklist of CITES species. CITES Secretariat, Geneva, Switzerland, and UNEP-WCMC, Cambridge, United Kingdom.* Retrieved from <http://checklist.cites.org>
- United Nations Development Programme. (UNDP). (2015). *Human development report 2015. UN Development Programme.*
- Wang, H., Liu, G., Li, Z., Ye, X., Wang, M., & Gong, L. (2016). Impacts of climate change on net primary productivity in arid and semiarid regions of China. *Chinese Geographical Science* 26(1), 35-47. <http://doi.org/10.1007/s11769-015-0762-1>
- World Trade Organization (WTO). (2015). *World Trade Organization: Annual Report - 2015. Annual Reports*, 165. <http://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2008.12.001>
- World Trade Organization (WTO). (2010). *World Trade Report 2010: Trade in natural resources. World Trade*, 1–256. <http://doi.org/10.1017/S1474745610000388>
- Zamora Martínez, Méndez Espinoza, Pérez Miranda, & Cortés Barrera (2013). *Euphorbia antisiphilitica Zucc.: Recurso forestal no maderable de alto valor económico. Folleto Técnico 12.* CENID-COMEP, INIFAP.