



# Distribución potencial y abundancia de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) en el norte de Zacatecas, México

## Potential distribution and abundance of candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) in northern Zacatecas, Mexico

José Enrique Bañuelos-Revilla<sup>1</sup>, Jorge Palacio-Núñez<sup>1\*</sup>, Juan Felipe Martínez-Montoya<sup>1</sup>, Genaro Olmos-Oropeza<sup>1</sup> y Jorge Alberto Flores-Cano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados. Postgrado de Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México. [banuelos.jose@colpos.mx](mailto:banuelos.jose@colpos.mx); [fmontoya@colpos.mx](mailto:fmontoya@colpos.mx); [olmosg@colpos.mx](mailto:olmosg@colpos.mx)

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. [florescano.bq@gmail.com](mailto:florescano.bq@gmail.com)

\* Autor de correspondencia. [jpalcacio@colpos.mx](mailto:jpalcacio@colpos.mx)

### RESUMEN

En las zonas áridas de México habita la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*), especie con importancia social y económica, pero cuya disponibilidad no está bien definida. El objetivo de este trabajo fue estimar su distribución potencial y abundancia en el norte del estado de Zacatecas. Para la distribución potencial se realizó un modelado mediante el algoritmo MaxEnt<sup>®</sup>, donde se usaron 18 registros de presencia: 8 históricos y 10 propios, así como 27 variables predictivas. Se cotejó en campo la presencia mediante 29 puntos aleatorios en el área con distribución potencial y otros 19 fuera de ella. La densidad poblacional se estimó mediante parcelas, se midió la talla de los ejemplares y se consideraron las variables: tipo de vegetación y de suelo, altitud y pendiente del terreno y se realizó la prueba de Kruskal-Wallis. El modelo presentó buena predicción (AUC = 0.920), donde 11 variables contribuyeron con 82.1% en la distribución potencial y las más importantes fueron: tipo de vegetación, exposición, pendiente, altitud y cobertura vegetal. La distribución potencial se encontró en 19.2% del total del área de estudio; la densidad poblacional fue de 295 767.3 individuos por kilómetro cuadrado, influida significativamente por el tipo de vegetación y altitud. La talla de las plantas fue significativamente menor en pendiente escarpada. En 37.9% de los puntos de validación con distribución potencial hubo resultados positivos de presencia de la especie, sin embargo, en 10.5% fuera del área de distribución potencial también apareció. Se concluye que mediante la utilización del algoritmo MaxEnt<sup>®</sup> se puede modelar la distribución potencial de plantas silvestres, como la candelilla; la distribución potencial fue discontinua y menor a 20%.

PALABRAS CLAVE: densidad poblacional, MaxEnt<sup>®</sup>, recursos naturales, usos industriales, variables ambientales, zonas áridas y semiáridas.

### ABSTRACT

The candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*) grows in arid regions of Mexico, having social and economic importance, although its availability is not clearly defined. The objective of the study was to estimate their potential distribution and abundance in the north of Zacatecas state. A potential distribution modeling was performed through MaxEnt<sup>®</sup> using 18 data of presence, 8 historical and 10 current, and 27 predictive variables. The presence was corroborated in the field by means of 29 random points within the area of potential distribution, and 19 others outside it. The population density was estimated with plots, measuring the size of the individuals, and considering the following variables: vegetation and soil type, altitude, and slope. A Kruskal-Wallis test was used. The model generated an accurate prediction (AUC = 0.920), in which 11 variables contributed with 82.1% to the potential distribution, the most important being: vegetation type, exposure, slope, altitude, and vegetation cover. The potential distribution area was 19.2% of the total study area, with a population density of 295 767.3 individuals per square kilometer. This was significantly influenced by the vegetation type and altitude, while the slope affected the plant height. There were positive presence results in 37.9% of the validation sites with potential distribution in the study area, plus 10.5% outside of the potential distribution area. It is concluded that by using the MaxEnt<sup>®</sup> algorithm the potential distribution of wild plants, such as candelilla, can be modeled; the potential distribution was discontinuous and less than 20%.

KEYWORDS: population density, MaxEnt<sup>®</sup>, natural resources, industrial uses, environmental variables, arid and semi-arid zones.

## INTRODUCCIÓN

México cuenta con regiones áridas y semiáridas que cubren 1 030 000 km<sup>2</sup>, constituida en lomeríos y grandes planicies con montañas aisladas (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [Inegi], 2008). La vegetación dominante es matorral xerófilo, que ocupa 40% de la superficie del país (Inegi, 2005a). El clima presenta condiciones restringidas de precipitación y la sobrevivencia es difícil para los organismos silvestres (Sosa, Galarza, Lebgue, Soto y Puga, 2006) y para los habitantes humanos rurales (Cihlar, Latifovic, Beaubien, Li y Magnussen, 2000; Sosa *et al.*, 2006). Sin embargo, mantiene sitios de gran importancia ecológica, con flora y fauna silvestre singular (Martínez-Salvador, 2013), con presencia de especies susceptibles de aprovechamiento (Sosa *et al.*, 2006), entre las que se encuentran la planta conocida localmente como candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.). Esta se distribuye principalmente en el desierto Chihuahuense (Steinmann, 2002), en los estados de Coahuila, Chihuahua, Durango, Zacatecas, Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí, en altitud entre 460 m y 2400 m snm, llegando a predominar entre 700 m y 1200 m snm (Martínez-Salvador, 2013).

La candelilla es considerada como un recurso muy importante para los habitantes de estas zonas (Cervantes-Ramírez, 2002). Tiene especial relevancia por los múltiples usos industriales entre los que destacan la elaboración de pinturas, abrillantadores, velas, productos de piel, cosméticos, cordelería, llantas, envases desechables, papel encerado y artículos electrónicos (Canales, Canales-Martínez y Zamarrón-Rodríguez, 2006). Se cuenta con información general sobre su biología y distribución, así como de algunas variables del hábitat que influyen en su presencia (e.g. Rzedowski, 1978; Martínez-Salvador, 2013). También sobre los productos y subproductos que se derivan de esta planta (e.g. Gupta y Mehrotra, 1997; Hagenmaier, 2000; Cervantes-Ramírez, 2002; Barsch, 2004) y sobre su importancia ecológica (e.g. Martínez-Salvador, 2013) y económica (e.g. Barsch, 2004). Sin embargo, se desconoce tanto la intensidad de su uso como la disponibilidad de este recurso forestal no maderable y no existe información precisa sobre su distribución y su

abundancia en muchas regiones. Los municipios del norte de Zacatecas presentan alta marginación (Cervantes-Ramírez, 2002) y son parte de la distribución de *E. antisyphilitica* (Canales *et al.*, 2006; Molina, Pompa, Zapata, Cantú y Aguilar, 2011), siendo este un recurso importante para los habitantes rurales de esta región (Cervantes-Ramírez, 2002).

Para obtener esta información, se pueden emplear algunas herramientas para la generación de diferentes modelos. En particular, el algoritmo MaxEnt<sup>®</sup> es robusto y preciso para el modelado de distribución potencial de las especies (Phillips, Anderson y Schapire, 2006). Se basa en registros de presencia de la especie de interés junto con variables ambientales tales como temperatura, vegetación, altitud y humedad para un área adyacente de estudio (Phillips *et al.*, 2006; Phillips y Dudík, 2008). Mediante este modelado, se puede obtener la distribución potencial (DP) de una especie, tal como la candelilla. A su vez, se puede obtener un mapa de DP actualizado para dicha especie y servir como base para estimar su abundancia acotada al área donde la especie se distribuye, excluyendo los sitios donde no está presente.

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo fue modelar la distribución potencial de candelilla en cuatro municipios del norte de Zacatecas y evaluar su disponibilidad mediante la estimación de su densidad poblacional y de su talla, así como identificar las variables ambientales que influyen en estos aspectos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El trabajo se realizó en el norte del estado de Zacatecas, abarcando los municipios de Mazapil, Melchor Ocampo, Concepción del Oro y El Salvador, con una extensión total de 17 075 km<sup>2</sup> (Fig. 1). Incluye la extensión total o parcial de las subprovincias fisiográficas (SPF) Sierras Transversales (ST), Sierras y Llanuras Occidentales (SLO) y Sierras y Lomeríos de Aldama y Río Grande (SLARG)



(Cervantes-Zamora *et al.*, 1990). Predominan los climas árido y semiárido, con temperatura media anual de 18 °C a 22 °C, precipitación de 125 mm a 400 mm y con extensiones reducidas tanto de clima muy árido como templado [Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (Sniarn, 2005)]. La vegetación muestra adaptaciones a la aridez (Rzedowski, 1978) y los tipos, de acuerdo con su abundancia, son: 1) seca, compuesta por matorrales xerófilos (micrófilo, rosetófilo, crasicale, chaparral, mezquital) en su mayor extensión, así

como pastizal natural, vegetación halófila y pastizal gipsófilo, 2) templada, compuesta por bosques de pino y, 3) antrópica, presente en áreas agrícolas, que en esta región es básicamente agricultura de temporal y pastizal inducido (Inegi, 2005a). Los principales tipos de suelo son: Calcisol, Chernozem, Castañozem, Leptosol, Regosol, Phaeozem, Solonchak y Solonetz (Inegi, 2007). La altitud fluctúa entre 1239 m y 3166 m snm, en terrenos de planos a escarpados (Inegi, 2008).

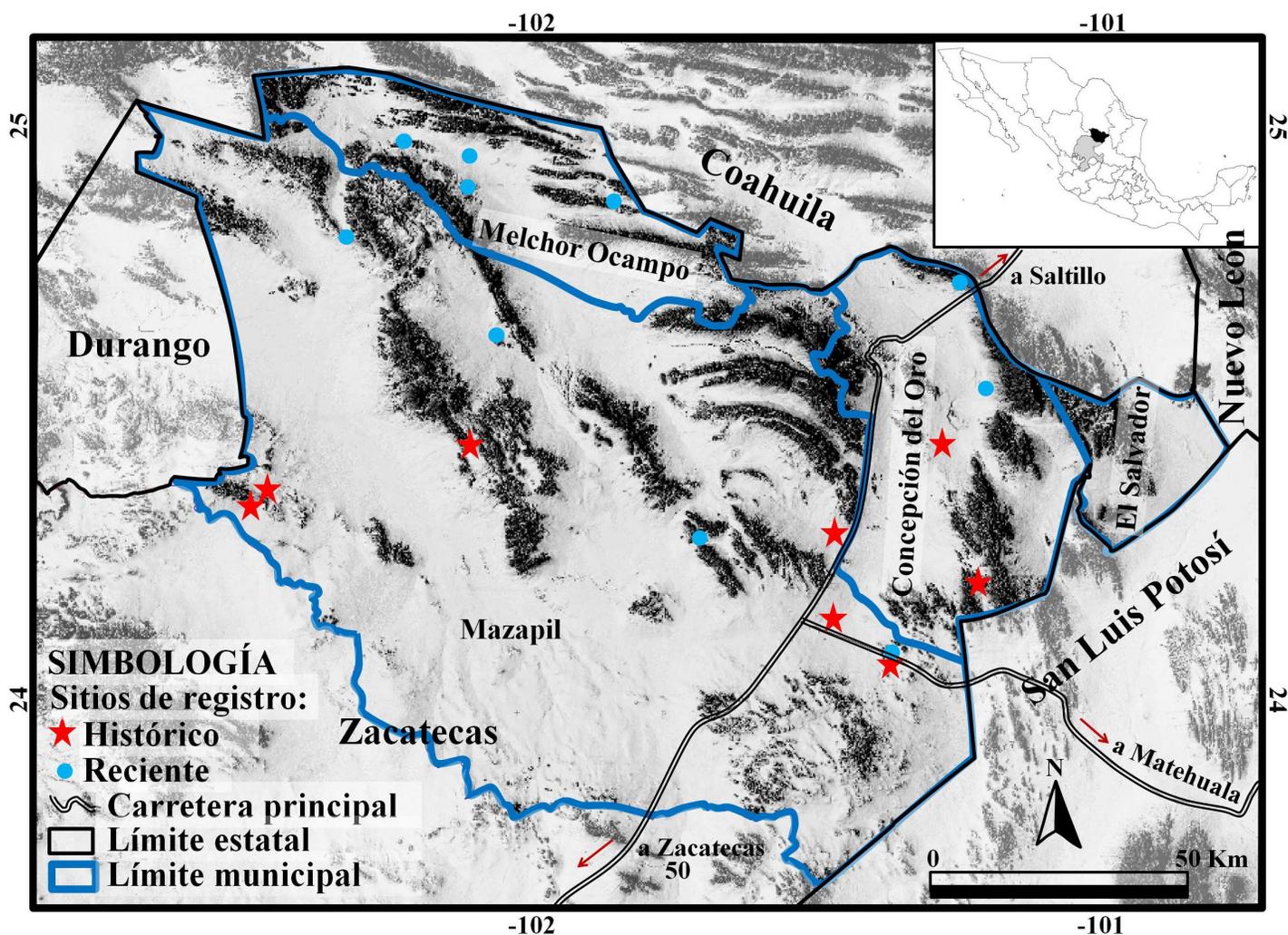


FIGURA 1. Área de estudio donde se muestran los registros de candelilla, tanto históricos como recientes.

## Distribución potencial

Se obtuvieron 10 registros nuevos en dos salidas de campo entre junio y agosto de 2016, con la ayuda de guías locales. También se visitaron 8 sitios con registros históricos (anteriores a 2011) obtenidos de *Global Biodiversity Information Facility* [GBIF] (s/f). Todos los puntos fueron georreferenciados con un GPS (Garmin® modelo Etrex 10), con precisión de 1 m a 3 m. Para estimar la distribución potencial de candelilla se empleó el algoritmo MaxEnt® versión 3.3.3, siguiendo las especificaciones de Phillips (2013).

Los algoritmos para modelar la distribución geográfica de especies ofrecen un enfoque cuantitativo para identificar la relación entre esas especies y las variables ambientales, infiriendo cómo estas influyen en su presencia o ausencia. Estos algoritmos estiman el área de distribución potencial con base en la información sobre los sitios de presencia confirmada de dicha especie y las condiciones ambientales (Elith y Leathwick, 2009). La teoría del algoritmo MaxEnt® ha sido explicada por varios autores (e.g. Elith, Hastie, Dudík, En Chee y Yates, 2011; Merow, Smith y Silander, 2013), con buenos resultados en la práctica (Pérez-García y Liria, 2013; Cruz-Cárdenas, Villaseñor, López-Mata, Martínez-Meyer y Ortiz, 2014); y se ha utilizado con múltiples propósitos en biogeografía, biología de la conservación y en ecología (Elith *et al.*, 2011). MaxEnt® trabaja con datos de presencia de determinada especie para predecir su distribución geográfica con base en la máxima entropía (más cercana a lo uniforme) sujeta a restricciones y en función de variables ambientales tanto cuantitativas como cualitativas (Phillips *et al.*, 2006; Pérez-García y Liria, 2013), usando una transformación de la tasa de ocurrencia relativa, llamada salida logística (Phillips y Dudík, 2008). Este algoritmo es mejor para "interpolar" entre sitios de ocurrencia que para predecir áreas no observadas y el modelo es construido exclusivamente con las condiciones presentes en las localidades donde la especie ocurre (Pearson, Raxworthy, Nakamura y Peterson, 2007; Elith *et al.*, 2011). MaxEnt® considera que los datos de ocurrencia son una muestra aleatoria del espacio geográfico y predice

la probabilidad de presencia de la especie en ese espacio determinado (Merow *et al.*, 2013).

El modelo se generó utilizando los 18 registros de presencia y 27 variables predictivas: 19 bioclimáticas (Worldclim) (Hijmans, Cameron, Parra, Jones y Jarvis, 2005), tres derivadas del modelo digital de elevación: pendiente, altitud y exposición (Inegi, 2008). También se incluyó la SPF tomadas de Cervantes-Zamora *et al.* (1990), el índice topográfico (Inegi, 2005b), el tipo de vegetación (Inegi, 2005a), la cobertura de la misma (Hansen, Defries, Townshend y Sohlberg, 2000) y la densidad poblacional humana (Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], United Nations Environment Program [UNEP], Center for International Earth Science Information Network [CIESIN], Columbia University y The World Bank, 2005). La escala utilizada para el modelado fue 1: 250 000 y las capas se unificaron a una resolución de un kilómetro cuadrado (30 segundos de arco).

Las variables no auto correlacionadas se seleccionaron mediante una correlación de Pearson con el programa ENM Tools 1.4 (Warren, Glor y Turrely, 2010). Así, doce predictores con valor absoluto de los coeficientes de correlación de  $r < 0.5$  fueron seleccionados (e.g. Booth, Niccolucci y Schuster, 1994; Rissler y Apodaca, 2007; Dortmann, Bacher, Buchmann, Carl, Carré, García-Marquéz *et al.*, 2012). Para el modelado se utilizaron 20 réplicas aleatorias y una validación cruzada, que consiste en re-sortear los datos para el modelado y para evaluar el modelo obtenido con los nuevos parámetros, según especificaciones de Phillips *et al.* (2006). El modelo se generó con 70% de los datos de ocurrencia y 30% restante se utilizó para evaluar los errores de omisión y comisión. MaxEnt® generó la curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*, por sus siglas en inglés), la cual es una representación gráfica que permitió calcular el estimador del rendimiento general del modelo (indica la robustez), denominada área bajo la curva ROC (AUC, por sus siglas en inglés) (Hernandez, Graham, Master y Albert, 2006), la cual es independiente del umbral de corte (Pérez-García y Liria, 2013; Cruz-Cárdenas *et al.*, 2014).



Mediante una prueba de Jacknife se evaluaron las variables utilizadas en el modelo y se obtuvo la información y porcentaje que aporta cada una en la explicación de dicho modelo. Considerando el mapa promedio que representa el hábitat inferido y ajustado de la especie (e.g. Anderson, Lew y Peterson, 2003; Burneo, González-Maya y Tirira, 2009), se creó el mapa de presencia-ausencia utilizando ArcMap® 10.3 (*Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2010*). Para la reclasificación, se tomó como umbral de corte el valor mínimo de probabilidad de presencia de los puntos de entrenamiento de 0.3723, aportado por el mismo modelo, con el cual se establecieron cuatro categorías de probabilidad de DP: ausente o no detectada, probabilidad baja, media y alta. Con este mapa y estos niveles se calculó el área de distribución potencial para la especie, expresada en porcentaje del área total.

### Abundancia de candelilla

Con base en el mapa de distribución potencial y el programa ArcGIS® 10.3 (ESRI, 2010), se eliminaron las áreas donde la vegetación nativa fue removida por motivos antrópicos, tales como áreas urbanas, agrícolas u otras infraestructuras humanas, según la cartografía de uso del suelo y vegetación (Inegi, 2005a). En el mapa resultante con las tres categorías de probabilidad positiva de distribución potencial de la especie, se seleccionaron de manera aleatoria 29 puntos de verificación y otros 19 en áreas donde la probabilidad de presencia fue para ausente o no detectada. Estos 48 nuevos sitios tuvieron una separación de al menos cinco kilómetros y fueron localizados en campo entre los meses de febrero y marzo de 2017 para confirmar la presencia de la candelilla. En los sitios donde esta especie fue localizada, se procedió a realizar muestreos sobre su disponibilidad, considerando su abundancia mediante densidad poblacional (expresada en individuos por kilómetro cuadrado) y su talla media (en centímetros). Para esto se realizaron parcelas de 20 m × 20 m (400 m<sup>2</sup>), donde se obtuvo la frecuencia de presencia. Para estimar la talla de las plantas, dentro de cada parcela se trazaron aleatoriamente dos subparcelas de 5 m × 5 m, donde se midió la talla de todos los ejemplares. Con los

valores promedio se formaron cinco clases: muy pequeña (< 29 cm), pequeña (29 cm – 45 cm), mediana (46 cm – 61 cm), grande (62 cm – 78 cm) y muy grande (79 cm - 96 cm).

Las variables ambientales relevantes en la distribución, la abundancia y la talla de la candelilla fueron georreferenciadas en grados decimales, con registros también de altitud (en metros sobre el nivel del mar) mediante receptor GPS. La pendiente del terreno se midió (en grados) con clinómetro Suunto® modelo PM-5; esta variable fue catalogada en cinco clases, siguiendo los criterios de Aramburu y Escribano (2006) en: nula o suave (NS ≤ 3°), moderada (M = 3° - 10°), fuerte (F ≥ 10° - 20°), muy fuerte (MF ≥ 20° - 30°) y escarpada (E ≥ 30°). Adicionalmente se consideraron el tipo de vegetación (Inegi, 2005a) y tipo de suelo (Inegi, 2007), las SPF (Cervantes-Zamora, *et al.*, 1990) y municipio (Inegi, 2012).

### Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se realizaron para relacionar la densidad y la talla de las plantas con tipo de vegetación, tipo de suelo, altitud y pendiente. Cabe señalar que los datos de campo no se ajustaron a una distribución normal, por consiguiente, se utilizaron las pruebas no paramétricas de Kruskal–Wallis (KW) y la U de Mann-Whitney (MW). Estas pruebas analizan la diferencia entre varios grupos de muestras independientes, o de resultados de muestreo de grupos independientes (KW) o solo entre dos grupos (MW) (e.g. Gotfryd y Hansell, 1985; Gundale y Deluca, 2006; Vergura, Acciani, Amoruso, Patrono y Vacca, 2009). Los análisis se realizaron utilizando el programa InfoStat versión 2016 (Di-Rienzo *et al.*, 2016), con un nivel de significancia  $\alpha < 0.05$ .

## RESULTADOS

De acuerdo con el análisis del área bajo la curva ROC, el modelo presentó una predicción robusta (AUC = 0.920 ± 0.039). Las variables: tipo de vegetación, exposición, pendiente, altitud, cobertura vegetal, índice tipográfico, precipitación total anual (Bio 12), intervalo de temperatura anual (Bio 07), SPF, temperatura media del trimestre más frío (Bio 10), temperatura máxima del mes más caliente (Bio

05) y precipitación del trimestre más frío (Bio 19) contribuyeron con 82.1% para la generación de este modelo (Tabla 1).

La distribución potencial de la candelilla se encontró en 3265 km<sup>2</sup>, 19.2% del área de estudio. De este porcentaje, 14.7% correspondió a probabilidad de presencia baja (PB), 3.9% a probabilidad media (PM) y 0.6% a probabilidad alta (PA); 80.8% correspondió a la probabilidad de DP ausente o no detectada (PA-ND). En el municipio de Mazapil hubo 11 registros y en 17.3% de su extensión hubo probabilidad de DP; en Melchor Ocampo, con tres registros, la DP fue 27.3%; en Concepción del Oro, con cuatro 4 registros fue 25.9% y en El Salvador (sin registros) la probabilidad de DP fue 6.6% de su superficie (Fig. 2). En porciones montañosas, sobre todo en el noreste de Mazapil y de Concepción el Oro y noroeste de El Salvador, el mapa de predicción mostró DP en PA-ND. Esto mismo ocurrió en todas las zonas planas o con pendiente nula o suave, que ocupan la mayor proporción del área de estudio, donde los

sitios con probabilidad de DP aparecieron frecuentemente aislados. Los sitios con probabilidad alta fueron especialmente escasos y aislados.

TABLA 1. Porcentaje de contribución relativa de las variables más importantes en la generación del modelo de distribución potencial de candelilla en el norte de Zacatecas.

Variable	Contribución (%)
Tipo de vegetación	20.4
Exposición	10.2
Pendiente	9.9
Altitud	7.2
Cobertura vegetal	7.0
Índice topográfico	5.1
Precipitación total anual (Bio 12)	4.7
Intervalo de temperatura anual (Bio 07)	4.3
Subprovincia fisiográfica	4.2
Temperatura media del trimestre más frío (Bio 10)	3.2
Temperatura máxima del mes más caliente (Bio 05)	3.0
Precipitación del trimestre más frío (Bio 19)	2.9

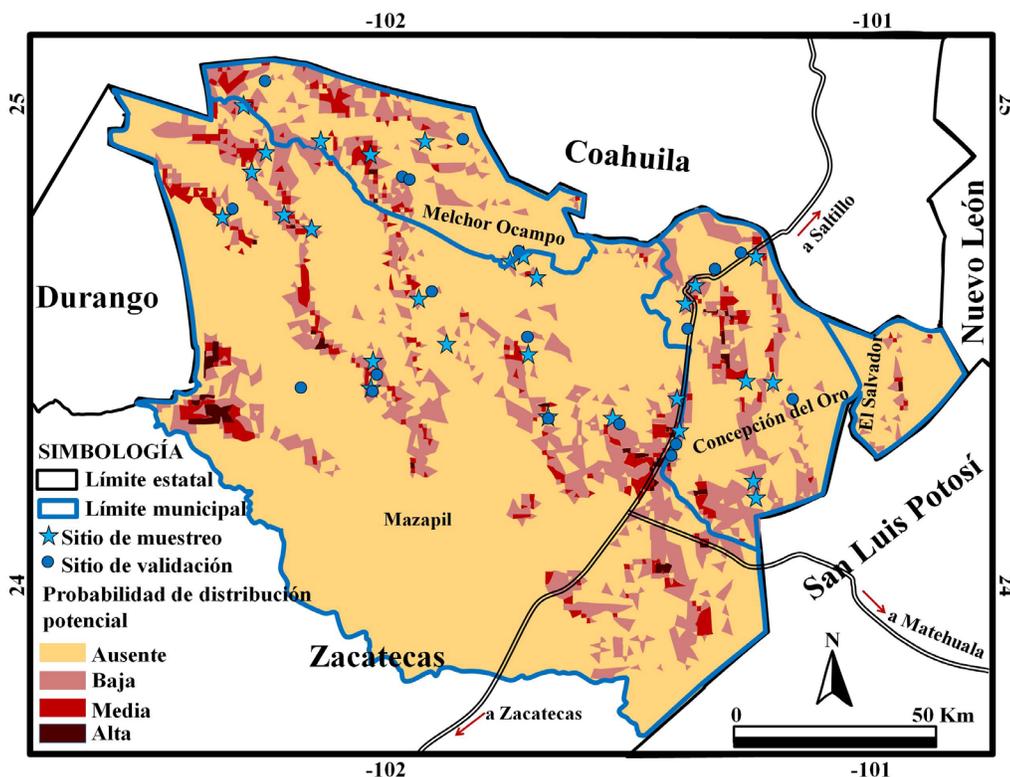


FIGURA 2. Municipios del norte de Zacatecas donde se muestran cuatro clases de probabilidad de distribución potencial de candelilla. También se muestran los 29 sitios de muestreo y los 19 de validación.



En la distribución entre las variables del hábitat, 13 registros se ubicaron en la SPF Sierras Transversales (72.2%) y los cinco restantes en Sierras y Llanuras de Aldama y Río Grande (27.8%). En el tipo de vegetación, 55.6% se encontró en matorral rosetófilo y 44.4% en matorral micrófilo. La variable tipo de suelo no fue importante en el modelado; 83.3% de la distribución de la candelilla se encontró en Calcisol (55.6%), Phaeozem (33.3%) y 11.1% en Leptosol. Respecto a la pendiente del terreno, la totalidad de los registros se encontraron en sitios con inclinación; 16.7% en clase nula o suave (NS), 44.4% en moderada (M), 22.2% en fuerte (F), 11.1% en muy fuerte (MF) y 5.6% en escarpada (E). En cuanto a altitud, la totalidad de la distribución se encontró en el intervalo de 1469 m a 2151 m snm. La ubicación de cada registro, así

como información adicional sobre variables ambientales se muestra en la tabla 2.

La ubicación de todos los puntos de validación se muestra en la tabla 3; los puntos con DP positiva se numeran del 1 al 29 y los de probabilidad ausente o no detectada del 30 al 48. En estos resultados, en 11 de los 29 sitios donde el modelo predijo probabilidad de DP baja, media o alta (37.9%), se confirmó la presencia de candelilla. Sin embargo, también se detectó presencia en 2 de los 19 sitios (10.5%) en donde la probabilidad de DP fue para ausente o no detectada. Cabe mencionar que, en este nuevo muestreo, no hubo puntos de verificación en las SPF: SLO y SLARG, también quedó excluido el municipio de El Salvador, por lo que los resultados de estos puntos aleatorios para validación difirieron de los dirigidos por los guías locales en los registros para el modelado.

TABLA 2. Ubicación geográfica de los registros históricos y recientes de candelilla en el norte de Zacatecas.

<i>TR</i>	<i>NR</i>	<i>Mun</i>	<i>Long</i>	<i>Lat</i>	<i>SPF</i>	<i>TV</i>	<i>TS</i>	<i>Pend</i>	<i>Alt</i>
H	1	Maz	-101.341	24.099	SLARG	MR	Calcisol	M	1976
H	2	Maz	-101.445	24.159	SLARG	MM	Calcisol	M	2151
H	3	CdO	-101.189	24.218	ST	MR	Phaeozem	NS	1786
H	4	Maz	-101.425	24.295	ST	MM	Calcisol	NS	1757
H	5	Maz	-102.465	24.37	SLARG	MR	Calcisol	NS	1832
H	6	Maz	-102.435	24.396	SLARG	MR	Calcisol	M	1817
H	7	CdO	-101.246	24.449	ST	MM	Calcisol	F	1857
H	8	Maz	-102.077	24.468	ST	MR	Phaeozem	MF	1947
R	9	Maz	-101.345	24.098	SLARG	MM	Calcisol	M	1843
R	10	Maz	-101.676	24.299	ST	MR	Calcisol	F	1477
R	11	CdO	-101.164	24.54	ST	MR	Calcisol	M	1596
R	12	Maz	-102.026	24.65	ST	MR	Leptosol	M	1469
R	13	CdO	-101.198	24.734	ST	MR	Phaeozem	M	1830
R	14	Maz	-102.288	24.82	ST	MR	Phaeozem	E	1849
R	15	MO	-101.814	24.872	ST	MM	Leptosol	M	1792
R	16	MO	-102.071	24.902	ST	MM	Phaeozem	MF	1845
R	17	MO	-102.065	24.953	ST	MM	Calcisol	F	1922
R	18	MO	-102.181	24.981	ST	MM	Phaeozem	F	2024

Se especifica el tipo (*TR*) y número de registro (*NR*), municipio (*Mun*), coordenadas geográficas (en grados decimales), la subprovincia fisiográfica (*SPF*), tipo de vegetación (*TV*), tipo de suelo (*TS*), pendiente del terreno (*Pend*, en clases) y altitud (*Alt*, en m snm). Tipo de registro (*TR*) = histórico (H), reciente (R); Municipio (*Mun*) = Concepción del Oro (CdO), Mazapil (Maz), Melchor Ocampo (MO); Coordenadas: *Long* = longitud, *Lat* = latitud; Subprovincia fisiográfica (*SPF*) = Sierras Transversales (ST), SierraOs y Llanuras de Aldama y Río Grande (SLARG); Tipo de suelo (*TS*); Tipo de vegetación (*TV*) = matorral rosetófilo (MR), matorral micrófilo (MM), altitud (*Alt*); clases de pendiente (*Pen*) = Nula o suave = NS, moderada = M, fuerte = F, escarpada = E.

TABLA 3. Puntos de muestreo y validación para candelilla en el norte de Zacatecas.

<i>N</i>	<i>Long</i>	<i>Lat</i>	<i>Mun</i>	<i>Pres</i>	<i>TV</i>	<i>TS</i>	<i>Pend</i>	<i>Alt</i>	<i>PDP</i>
1	-102.428	24.803	MAZ	Sí	MR	Phaeozem	NS	1689	PB
2	-102.348	24.894	MAZ	Sí	MR	Leptosol	F	1690	PB
3	-102.364	25.033	MO	No	MR	Calcisol	NS	1416	PB
4	-102.078	24.927	MO	Sí	MR	Calcisol	M	1416	PM
5	-101.952	24.95	MO	Sí	MM	Leptosol	M	1612	PM
6	-102.276	24.804	MAZ	Sí	MR	Phaeozem	NS	1830	PM
7	-101.705	24.663	MAZ	Sí	MR	Phaeozem	M	1931	PM
8	-101.974	24.625	MAZ	Sí	MR	Leptosol	NS	1743	PM
9	-101.765	24.698	MAZ	No	MR	Phaeozem	M	1810	PM
10	-101.346	24.642	CdO	Sí	MR	Phaeozem	M	1783	PB
11	-101.21	24.721	CdO	No	MR	Phaeozem	NS	1785	PM
12	-101.397	24.339	CdO	No	MR	Phaeozem	M	1620	PB
13	-102.081	24.497	MAZ	No	MR	Leptosol	F	1964	PB
14	-102.088	24.442	MAZ	No	PI	Phaeozem	NS	1886	PB
15	-101.54	24.367	MAZ	No	MR	Calcisol	NS	1949	PB
16	-101.381	24.405	CdO	No	MM	Calcisol	NS	1841	PB
17	-101.227	24.23	CdO	Sí	MR	Phaeozem	E	1946	PM
18	-101.176	24.434	CdO	Sí	MR	Phaeozem	NS	1856	PA
19	-101.688	24.374	MAZ	No	MM	Calcisol	NS	1951	PB
20	-101.912	24.529	MAZ	No	MR	Phaeozem	M	1911	PB
21	-101.368	24.605	CdO	No	MC	Regosol	NS	1921	PB
22	-102.315	24.935	MAZ	No	MM	Phaeozem	NS	1542	PB
23	-102.215	24.774	MAZ	No	MR	Leptosol	NS	2012	PB
24	-101.734	24.709	MAZ	No	MM	Phaeozem	NS	1901	PB
25	-101.73	24.504	MAZ	No	MM	Calcisol	NS	1778	PB
26	-101.222	24.196	CdO	No	MR	Phaeozem	NS	2046	PB
27	-101.914	24.529	MAZ	No	MR	Phaeozem	NS	1908	PB
28	-101.237	24.439	CdO	No	MM	Calcisol	NS	1786	PM
29	-102.189	24.957	MO	Sí	MR	Leptosol	M	1682	PM
30	-102.246	24.447	MAZ	Sí	MR	Phaeozem	NS	1620	A-ND
31	-101.73	24.541	MAZ	Sí	MR	Calcisol	M	1779	A-ND
32	-102.406	24.821	MAZ	No	MM	Calcisol	NS	1652	A-ND
33	-102.314	25.083	MO	No	MM	Solonchak	NS	1285	A-ND
34	-102.007	24.88	MO	No	MM	Solonchak	NS	1529	A-ND
35	-101.992	24.873	MO	No	MM	Solonchak	NS	1530	A-ND
36	-101.746	24.72	MO	No	MM	Calcisol	NS	1847	A-ND
37	-101.946	24.64	MAZ	No	MM	Calcisol	NS	1707	A-ND
38	-101.302	24.665	CdO	No	MM	Calcisol	NS	1683	A-ND
39	-101.235	24.705	CdO	No	MM	Calcisol	NS	1689	A-ND
40	-101.407	24.312	MAZ	No	MM	Calcisol	NS	1821	A-ND
41	-102.074	24.471	MAZ	No	MR	Phaeozem	NS	1973	A-ND
42	-102.084	24.435	MAZ	No	PI	Phaeozem	NS	1889	A-ND
43	-101.526	24.357	MAZ	No	MM	Calcisol	NS	1924	A-ND
44	-101.411	24.288	CdO	No	MR	Calcisol	NS	1811	A-ND
45	-101.133	24.398	CdO	No	MM	Calcisol	NS	1964	A-ND
46	-101.687	24.372	MAZ	No	MM	Calcisol	NS	1946	A-ND
47	-101.362	24.553	CdO	No	MR	Calcisol	NS	1925	A-ND
48	-101.867	24.954	MO	No	MM	Solonchak	NS	1635	A-ND

Se aporta información sobre el número del sitio (*N*), las coordenadas geográficas (expresadas en grados decimales), el municipio (*Mun*), la presencia o ausencia de la especie (*Pres*), el tipo de vegetación (*TV*), el tipo de suelo (*TS*), las clases de pendiente (*Pend*), la altitud (*Alt*, en m snm) y la probabilidad de distribución potencial (*PDP*). Coordenadas: *Long.* = longitud, *Lat.* = latitud; Municipio: Concepción del Oro = CdO, Mazapil = Maz, Melchor Ocampo = MO; Tipo de vegetación (*TV*): matorral rosetófilo = MR, matorral micrófilo = MM, pastizal inducido = PI, matorral crasicale = MC; Tipo de suelo (*TS*); Clases de pendiente: Nula o suave = NS, moderada = M, fuerte = F, escarpada = E. Probabilidad de Distribución potencial (*PDP*): Ausente o no detectada = A-ND, probabilidad baja = PB, probabilidad media = PM, probabilidad alta = PA.



Conforme a la cartografía (Inegi, 2005a), hubo cuatro tipos de vegetación en el área donde hubo DP positiva. En los sitios de validación en esta área, la frecuencia de aparición fue de 52.1% matorral rosetófilo, 41.7% matorral micrófilo, pastizal inducido (4.2%) y matorral crasicale (2.1%). Sin embargo, en estos puntos (Tabla 3), al igual que en los sitios de registro (Tabla 2), la candelilla se distribuyó mayoritariamente en matorral rosetófilo (92.3%) y en micrófilo (7.7%). Respecto a los ocho tipos de suelo para esta misma área (Inegi, 2007), Chernozem, Castañozem, Regosol y Solonetz fueron escasos y no se encontró a la especie ni en los registros ni en la validación. En este sentido, los suelos más frecuentes en los 48 puntos de validación (Tabla 3) fueron Calcisol (39.6%), seguido de Phaeozem (37.5%), Leptosol (12.5%), Solonchak (8.3%) y Regosol (2.1%). Sin embargo, la presencia de la candelilla se encontró solo en Phaeozem (53.8%), Leptosol (30.8%) y Calcisol (15.4%). En lo que respecta a la pendiente del terreno en los sitios de registro, predominó M (44.4%), seguida de F (22.2%), NS (16.7%), MF (11.1%) y E (5.6%), mientras que los puntos de validación se encontraron en NS (75.0%), M (18.8%), F (4.2%) y E (2.1%). Pese a esta frecuencia, la mayor distribución de candelilla, al igual que en los registros, se encontró en M (46.2%), NS (38.5%); F

y E se presentaron por igual con 7.7%. En cuanto a la distribución altitudinal, ahora se encontró en cota más baja, desde 1285 m hasta 2046 m snm. La densidad poblacional general de candelilla en el área con DP fue 295 767.3 individuos por kilómetro cuadrado ( $\text{ind km}^{-2}$ )  $\pm$  172 586  $\text{ind km}^{-2}$ , aunque se encontró una densidad máxima de 540 000  $\text{ind km}^{-2}$ . Respecto a la implicación de las variables del hábitat en la densidad, en el tipo de vegetación hubo diferencias (MW:  $p = 0.000$ ), pero en relación con el tipo de suelo (KW:  $H = 2.85$ ,  $p = 0.2380$ ) y con la pendiente (KW:  $H = 3.25$ ,  $p = 0.3516$ ) no las hubo (Tabla 4).

La talla de las plantas no se relacionó con las variables del hábitat, tipo de vegetación (MW:  $p = 0.5933$ ) y tipo de suelo (KW:  $H = 4.35$ ,  $p = 0.113$ ). Sin embargo, hubo diferencias con la pendiente del terreno (KW:  $H = 9.01$ ,  $p = 0.0290$ ), donde las plantas encontradas en F, NS y M presentaron una talla similar y mayor a las de E (Tabla 5). Las clases de edad de estas plantas, con base en su talla, mostraron que el mayor porcentaje fue para talla pequeña (51.6%) y mediana (24.7%), la talla muy pequeña apareció en 17.2% y la grande con 5.6%; las plantas muy grandes fueron las más escasas (0.9%). El mayor ejemplar encontrado fue de 96 cm.

TABLA 4. Densidad poblacional media y desviación estándar de candelilla para el área con distribución potencial (General) y entre los tipos de vegetación, de suelo y la pendiente del terreno, en el norte del estado de Zacatecas.

Variable		Densidad poblacional (individuos por kilómetro cuadrado) <sup>a</sup>		P
General		295 767.3	$\pm$ 172 586.6	-
Tipo de vegetación	MDR	297 555.6 <sub>a</sub>	$\pm$ 176 870.1	0.000
	MDM	260 000.0 <sub>b</sub>	$\pm$ 0.0	
Tipo de suelo	Calcisol	390 000.0	$\pm$ 132 122.6	0.2380
	Leptosol	278 055.6	$\pm$ 144 804.8	
	Phaeozem	266 419.8	$\pm$ 207 707.5	
Pendiente	Nula o suave	293 015.7	$\pm$ 203 202.3	0.3516
	Moderada	317 777.8	$\pm$ 156 785.8	
	Fuerte	317 777.8	$\pm$ 0.0	
	Escarpada	288 88.9	$\pm$ 0.0	

Literales diferentes muestran diferencias significativas<sup>a</sup>.

Tipo de vegetación: Matorral desértico rosetófilo = MDR; matorral desértico micrófilo = MDM.

TABLA 5. Talla media y desviación estándar de candelilla para el área con distribución potencial (General) y entre los tipos de vegetación, tipo de suelo y pendiente del terreno en el norte de Zacatecas.

Variable		Talla media (cm)*		P
General		62.7	± 13.7	-
Tipo de vegetación	MDR	40.3	± 13.8	0.5933
	MDM	37.0	± 11.2	
Tipo de suelo	Calcisol	37.0	± 11.0	0.113
	Leptosol	39.8	± 13.0	
	Phaeozem	42.5	± 15.5	
Pendiente	Nula o suave	42.7 <sub>a</sub>	± 16.6	0.0290
	Moderada	38.3 <sub>a</sub>	± 11.7	
	Fuerte	47.2 <sub>a</sub>	± 9.9	
	Escarpada	19.0 <sub>b</sub>	± 0.0	

Literales diferentes muestran diferencias significativas<sup>†</sup>.

Abreviaturas: Tipo de vegetación: Matorral desértico rosetófilo = MDR; matorral desértico micrófilo = MDM.

## DISCUSIÓN

El uso de pocos registros en el programa MaxEnt®, solo cinco o seis, ocasiona una sobre-predicción en los modelos generados (Pearson, Raxworthy, Nakamura y Peterson, 2007), sin embargo, el número usado en este trabajo (29) se consideró adecuado, de acuerdo con lo sugerido por Phillips *et al.* (2006). Para mejorar la eficacia en el modelado y evitar sesgos causados, por ejemplo, por cambios en el uso del suelo, es conveniente incluir registros propios actualizados (Phillips *et al.*, 2006; Pearson *et al.*, 2007; Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). En el modelo, doce variables explicaron 81.6% la distribución de la candelilla, donde las más relevantes fueron: tipo de vegetación, exposición, pendiente, altitud y cobertura vegetal. Esta especie está adaptada a condiciones áridas y semiáridas en una gama de variantes ambientales (Martínez-Salvador, 2013) en lo referente a exposición, temperatura y precipitación (Rzedowski, 1978), pero su distribución no fue homogénea.

De los tipos de vegetación en el área de estudio, los más abundantes son los matorrales xerófilos y de estos, el matorral desértico micrófilo es el de mayor dispersión, básicamente en los terrenos dominados por los llanos (Sosa

*et al.*, 2006), seguido del rosetófilo (Rzedowski, 1978); sin embargo, esta disposición no fue acorde con la distribución de la candelilla, que fue más abundante en el matorral rosetófilo con respecto al micrófilo. Estos resultados coinciden con Martínez-Salvador (2013), pero este autor no especifica la proporción por tipo de vegetación. El autor anterior también menciona que la candelilla se distribuye en otros tipos de vegetación, tal como matorral halófilo y chaparral, lo cual no se confirmó en este estudio.

Para el tipo de suelo, la Comisión Nacional Forestal (Conafor, 2010) y Martínez-Salvador (2013) mencionan que la candelilla se localiza preferentemente en terrenos calcáreos y prefiere suelos someros y pedregosos tipo Calcisol y Leptosol, lo cual fue corroborado para el norte de Zacatecas, aunque también se encontró, sin diferencia significativa, en Phaeozem, el cual fue el más frecuente en los sitios con DP positiva y el segundo en toda el área de estudio, después de Calcisol. Este último fue el menos abundante en los sitios con DP positiva. Con relación a la importancia de las variables topográficas, la información es escasa; se menciona que, en general, los sitios con pendiente mayor a 3% favorecen la presencia de candelilla (Conafor,



2010; Martínez-Salvador, 2013) y en estos resultados se encontró un gradiente donde la distribución de la candelilla va, sin diferencias, de pendiente nula o suave hasta fuerte, con menor abundancia en la escarpada. En cuanto a la altitud, Martínez-Salvador (2013) la ubica en el intervalo de 460 m a 2400 m snm, llegando a predominar entre 700 m y 1200 m snm, por lo que estos resultados quedaron dentro del primer intervalo, pero todos a mayor altitud que en el de mayor predominio señalado por estos autores.

Referente a la talla de las plantas entre las variables del hábitat, no se encontró información en la literatura. De manera básica, se menciona la altura media de esta especie entre 30 cm y 60 cm, y se dice que puede alcanzar hasta 130 cm (Molina *et al.*, 2011) y estos resultados coincidieron con lo anterior. Los tipos de vegetación o de suelo no tuvieron relación con la talla de candelilla, pero hubo diferencias con la pendiente del terreno, con menor tamaño en la pendiente escarpada.

La densidad media de candelilla para el norte de Zacatecas fue de 295 767.3 ind km<sup>-2</sup>; esa densidad fue baja en comparación con la de las sierras del centro del estado de Coahuila, en donde se determinaron 399 600 ind km<sup>-2</sup> (Flores-Del Ángel *et al.*, 2013). Respecto a la distribución de tallas, hubo predominio de plantas pequeñas, lo que puede deberse a la explotación, donde frecuentemente se recolecta más de lo debido y muchas plantas, aunque maduras, se encuentran en talla reducida (Villa-Castorena, Catalán-Valencia, Inzunza-Ibarra, González-López y Arreola-Ávila, 2010).

Como recurso forestal no maderable, esta es una especie relevante para numerosas familias rurales de la región, sin embargo, no existe control en su uso, colocándola en una situación poblacional preocupante (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 1999). Existe discrepancia entre lo encontrado en este estudio sobre la distribución de esta especie y lo que mencionan otros autores. Se encontró que en 19.2% de la superficie de los cuatro municipios del norte de Zacatecas hubo DP y que solo 0.6% correspondió a probabilidad alta, sin embargo, en el mapa de distribución para esta especie

publicado por Molina *et al.*, (2011), se marca una distribución continua para el 100% del área de estudio. Algunos inconvenientes con MaxEnt®, según Hirzel y Lale (2008) y Mateo, Felicísimo y Muñoz (2011), son que puede cometer errores de comisión, adjudicando distribución potencial en sitios donde una especie no está presente (falso positivo), o lo contrario, errores de omisión, cuando adjudica la no presencia de la especie donde en verdad se encuentra (falso negativo). En este estudio, además de incluir registros propios, la presencia de la especie fue cotejada en todos los sitios, incluyendo los históricos, por lo que no hubo falsos registros que pudieran ocasionar sesgos (e.g. Varela, Mateo, García-Valdés y Fernández-González, 2014). En este sentido, en la validación se confirmó su presencia solo en 44.8 % de los sitios donde el modelo predijo la probabilidad de DP, lo cual puede ser un error de comisión, o que la especie ha desaparecido en esos puntos, ya que su hábitat podría estar sujeto a sobrepastoreo (Conafor, 2010) y a que la especie podría estar siendo aprovechada de manera incorrecta (Villa-Castorena *et al.*, 2010). En contraparte, también se encontró en 10.5% en los sitios de PA-ND, lo que se considera un error de omisión.

En este trabajo se obtuvo información más precisa sobre la distribución potencial de la candelilla, sobre su abundancia y su talla, así como de la importancia de algunas variables del hábitat, sin embargo, su área de distribución potencial resultó muy reducida y fragmentada y su densidad poblacional baja. Los planes de manejo deben contar con información actual y bien documentada para garantizar un aprovechamiento sin detrimento de su población a largo plazo. De manera natural, la distribución de las especies depende de factores ambientales y antrópicos, frecuentemente difíciles de predecir y los modelos de distribución están sujetos a sesgos y errores, pero siguen siendo herramientas útiles (Varela *et al.* 2014). Estos resultados aportan información actual sobre la distribución y la disponibilidad de esta especie en el norte de Zacatecas, sin embargo, sigue siendo necesario realizar más estudios en otras zonas donde se distribuye y es utilizada.

## CONCLUSIONES

El modelado para obtener la distribución potencial de la candelilla fue robusto y las variables que contribuyeron para explicar 82.1% del modelo fueron: tipo de vegetación, exposición, pendiente, altitud, cobertura vegetal, índice tipográfico, precipitación total anual, intervalo de temperatura anual, SPF, temperatura media del trimestre más frío, temperatura máxima del mes más caliente y precipitación del trimestre más frío. Sin embargo, al validar la presencia de la especie, hubo sesgos por errores de comisión y posible omisión.

Esta especie mostró preferencias en su distribución y fue más abundante en el matorral rosetófilo, poco presente en el área de estudio y ausente en otros tipos de vegetación que, tal vez le sean restrictivos, al igual que algunos tipos de suelo. La distribución potencial fue del 19.2% respecto al total del área de estudio y su distribución no fue continua. Dentro del área con DP positiva, su densidad poblacional fue de 295 767.3 individuos por kilómetro cuadrado, donde las plantas pequeñas (29 cm - 45 cm) y medianas (46 cm - 61 cm) fueron las más abundantes, con 51.6% y 24.7% de aparición, respectivamente; las plantas de mayor tamaño sumaron 6.5%. En este sentido, la disponibilidad de este recurso se consideró menor que la planteada por otros autores, por lo que, para garantizar su uso sustentable a nivel predial, se recomienda realizar estudios con mayor detalle espacial.

## REFERENCIAS

- Anderson, R. P., Lew, D., & Peterson, A. T. (2003). Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 163(3), 211–232. doi: 10.1016/S0304-3800(02)00349-6
- Aramburu, M. P., & Escribano, R. (2006). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. Madrid, España: Secretaría General Técnica del Ministerio de Medio Ambiente.
- Barsch, F. (2004). Candelilla (*Euphorbia antisiphilitica*): Utilisation in Mexico and international trade. *Medicinal Plant Conservation*, 9/10, 46-50.
- Booth, G. D., Niccolucci, M. J., & Schuster, E. G. (1994). *Identifying proxy sets in multiple linear regression: an aid to better coefficient interpretation*. Ogden, Utah, Estados Unidos: U. S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Burneo, S., González-Maya, J. F., & D. Tirira. (2009). Distribution and habitat modelling for Colombian weasel *Mustela felipei* in the Northern Andes. *Small Carnivore Conservation*, 41, 41-45.
- Canales, G. E., Canales-Martínez, V., & Zamarrón-Rodríguez, E. M. (2006). Candelilla del desierto mexicano hacia el mundo. *Biodiversitas*, 69, 1-5. <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv69art1.pdf>
- Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], United Nations Environment Program [UNEP], Center for International Earth Science Information Network [CIESIN], Columbia University & The World Bank (2005). *Latin American and Caribbean Population Data Base. Version 3*. Recuperado de: <http://www.na.unep.net/datasets/datalist.php3>.
- Cervantes-Ramírez, M. C. (2002). *Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. Temas Selectos de Geografía de México*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cervantes-Zamora, Y., Cornejo-Olguín, S. L., Lucero-Márquez, R., Espinoza-Rodríguez, J. M., Miranda-Viquez, E., & Pineda-Velázquez, A. (1990). *Provincias fisiográficas de México. Clasificación de regiones naturales de México II, IV. 10. 2. Atlas Nacional de México Vol. II*. Escala 1:4000000. Ciudad de México, México: Instituto de Geografía. UNAM.
- Cihlar, J., Latifovic, R., Beaubien, J., Li, Z., & Magnussen, S. (2000). Selecting representative high resolution simple image for land cover studies. Part 2: Application to estimating land cover composition. *Remote Sensing of Environment*, 72(2), 127-138.
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2010). *Técnicas de producción de plantas de candelilla por semilla, estacas e hijuelos. Foros y Encuentros/ Foro Temático de Candelilla*. Cd. de México. México. Comisión Nacional Forestal. Recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?articulo=1157&grupo=18>.
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer E., & Ortiz, E. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en MaxEnt. *Revista Chapingo de Ciencia Forestales y del Ambiente*, XX(2), 187-201. doi: 10.5154/r.rchscfa.2013.09.034
- Di-Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2016). *InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA*. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de: <http://www.infostat.com.ar>.



- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., ..., & Lautenbach, S. (2012). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36, 27-46. doi: 10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x
- Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 40, 677-699. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159
- Elith, J., Hastie, S. J., Dudík M., En Chee, Y., & Yates C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43-57. doi: 10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x
- ESRI. 2010. *ArcGIS Desktop 10.3*. Palm Springs, California, Estados Unidos. Environmental System Research Institute.
- Flores-del Ángel, M. L., Foroughbakhch, R., Rocha-Estrada, A., Cárdenas-Ávila, M. L., Guzmán-Lucio, M. A., Hernández-Aguilar, Y. L., & Alvarado-Vázquez, M. A. (2013). Morfología, viabilidad y germinación de semillas de candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.). *Phyton*, 82(2), 161-167.
- Global Biodiversity Information Facility [GBIF]. *Euphorbia antisiphilitica* Zucc. Recuperado de: <https://www.gbif.org/species/3069440>
- Gotfryd, A., & Hansell, R. I. (1985). The impact of observer bias on multivariate analyses of vegetation structure. *Oikos*, 45, 223-234.
- Gundale, M. J., & DeLuca, G. T. H. (2006). Temperature and source material influence ecological attributes of ponderosa pine and Douglas-fir charcoal. *Forest Ecology and Management*, 231(1), 86-93. doi: 10.1016/j.foreco.2006.05.004
- Gupta, N., & Mehrotra, N. K. (1997). Potassium nutrition related biomass and wax productivity of *Euphorbia antisiphilitica* Zucc. in sand culture. *Journal of the Indian Botanical Society*, 76, 99-101.
- Hagenmaier, R. D. (2000). Evaluation of a polyethylene-candelilla coating for "Valencia" oranges. *Postharvest Biology and Technology*, 19(2), 147-154.
- Hansen, M., Defries R., Townshend, J. R. G., & Sohlberg, R. (2000). Global land cover classification at 1km resolution using a decision tree classifier. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6-7), 1331-1365. doi: 10.1080/014311600210209
- Hernandez, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., & Albert, D. L. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29(5), 773-785. doi: 10.1111/j.0906-7590.2006.04700.x
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978. doi: 10.1002/joc.1276
- Hirzel, A. H., & Le-Lay, G. (2008). Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of Applied Ecology*, 45(5), 1372-1381. doi: 10.1111/j.1365-2664.2008.01524.x
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). (2005a). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250,000, Serie III, Continuo Nacional*. Ciudad de México, México: Inegi.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [Inegi] (2005b). *Conjunto de datos Vectoriales de la Carta de topografía. Escala 1:150,000, Serie II*. Aguascalientes, México: Inegi.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [Inegi] (2007). *Conjunto de datos Vectoriales Edafológicos. Escala 1:250,000, Serie II, Continuo Nacional*. Aguascalientes, México: Inegi.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [Inegi] (2008). *Continuo de elevación nacional*. Aguascalientes, México: Inegi.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [Inegi] (2012). *Áreas geoestadísticas municipales. Escala 1:250,000*. Aguascalientes, México: Inegi.
- Martínez-Salvador, M. (2013). *Ecología y usos de especies forestales de interés comercial de las zonas áridas de México*. Aldama, Chihuahua, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrarias y Pecuarías-Centro de Investigación Regional Norte-Centro, Sitio Experimental La Campana. Libro Técnico Núm. 05.
- Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. Jr. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36, 1058-1069. doi: 10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), 217-240. doi: 10.4067/S0716-078X2011000200008
- Rojas M., R., Saucedo P., S., De León Z., M. A., Jasso C., D., & Aguilar, C. N. (2011). Pasado, presente y futuro de la candelilla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(6), 7-18.
- Pearson, G. R., Raxworthy, C., Nakamura, M., & Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34, 102-117. doi: 10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x
- Pérez-García, B., & Liria, J. (2013). Modelos de nicho ecológico fundamental para especies del género *Thraulodes* (Ephemeroptera:

- Leptophlebiidae: Atalophlebiinae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, 600-611. doi: 10.7550/rmb.32234
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3), 231–259. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161–175. doi: 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x
- Phillips, S. J. (2013). *A brief tutorial on Maxent. Versions: 3.3.1*. Recuperado de: [www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/](http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/).
- Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 48, 61–79. doi: 10.4067/S0718-34022011000100005
- Rissler, L. J., & Apodaca, J. J. (2007). Adding more ecology into species delimitation: ecological niche models and phylogeography help define cryptic species in the black salamander (*Aneides flavipunctatus*). *Systematic Biology*, 56, 924-942.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Ciudad de México, México: Limusa.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (1999). *Norma Oficial Mexicana NOM-018-RECNAT-1999*. Recuperado de: <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3332/1/nom-018-semarnat-1999.pdf>.
- Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales [Sniarn] (2005). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales*. Ciudad de México, México. Sniarn-Semarnat.
- Sosa, M., Galarza, J. L., Lebgue, T., Soto, R., & Puga, S. (2006). Clasificación de las comunidades vegetales en la región árida del estado de Chihuahua, México. *Ecología Aplicada*, 5(1–2), 53–59.
- Steinmann, V. W. (2002). Diversidad y endemismo de la familia Euphorbiaceae en México. *Acta Botanica Mexicana*, 61, 61–93. doi: 10.21829/abm61.2002.908
- Varela, S., Mateo, R. G., García-Valdés, R., & Fernández-González, F. (2014). Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones. *Revista Ecosistemas*, 23(1), 46–53. doi: 10.7818/831
- Vergura, S., Acciani, G., Amoruso, V., Patrono, G. E., & Vacca, F. (2009). Descriptive and inferential statistics for supervising and monitoring the operation of PV plants. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(11), 4456–4464. doi: 10.1109/TIE.2008.927404
- Villa-Castorena, M., Catalán-Valencia, E. A., Inzunza-Ibarra, M. A., González-López, M. de L., & Arreola-Ávila, J. G. (2010). Producción de plántulas de Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) mediante estacas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(1), 37-47. doi: 10.5154/r.rchscfa.2009.07.027
- Warren, D. L., Glor, R. E., & Turelli, M. (2010). ENMTools: a toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography*, 33(3): 607-611. doi: 10.1111/j.1600-0587.2009.06142.x

Manuscrito recibido el 26 de octubre de 2017

Aceptado el 5 de junio de 2018

Publicado el 1 de marzo de 2019

Este documento se debe citar como:

Bañuelos-Revilla, J. E., Palacio-Núñez, J., Martínez-Montoya, J. F., 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), e2511657. doi: 10.21829/myb.2019.2511657



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.