



CARACTERIZACIÓN DEL AMBIENTE DE LOS VAINILLALES Y ÁREA POTENCIAL PARA SU CULTIVO EN LA HUASTECA POTOSINA

ENVIRONMENTAL CHARACTERIZATION OF THE VAINILLALES AND POTENTIAL AREA FOR ITS CULTIVATION IN THE HUASTECA POTOSINA

Humberto Reyes Hernández^{1*}, Karina L. Trinidad García², Braulio E. Herrera Cabrera³

¹ Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, UASLP, Av. Industrias #101-A Fracc. Talleres CP 78399 San Luis Potosí, México.

² Programa Multidisciplinario de Posgrados en Ciencias Ambientales, UASLP.

³ Colegio de Posgraduados - Campus Puebla, EDAR. Boulevard Forjadores de Puebla No. 205, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula CP 72760 Puebla, México.

RESUMEN

En este trabajo se caracterizó el ambiente de las zonas donde se cultiva vainilla y se definieron las variables físico-ambientales que influyen en la delimitación de su nicho en la Huasteca Potosina, México. Para lo cual se utilizó un análisis espacial basado en un sistema de información geográfica (SIG), trabajo de campo, análisis de suelo y un modelo de distribución potencial basado en datos georreferenciados de 31 vainillales, y variables climatológicas y ambientales. La vainilla cultivada en la Huasteca Potosina se siembra en altitudes que oscilan entre los 61 y 678 m, con una precipitación que va de 1,500 a 2,700 mm anuales y temperaturas de 22 a 25 °C. Los suelos predominantes, donde se localizaron los vainillales, correspondieron a texturas francas con porcentajes medios de materia orgánica. El área potencial para la siembra de este cultivo se modeló con el software MAXENT, el cual delimitó un área potencial de 710 km² cuyas características de precipitación, elevación, pendiente y rango diurno medio fueron las más óptimas para el establecimiento del cultivo de vainilla.

Palabras clave: *Vanilla planifolia*, interpolación, distribución potencial, nicho ecológico.

ABSTRACT

In this work, we characterized the environment of the zones where vanilla is cultivated to define the physical-environmental variables that influence the delimitation of its niche in the Huasteca Potosina, Mexico. For this, we used a spatial analysis based on a geographic information system (GIS), fieldwork, soil analysis and a potential distribution model based on georeferenced data of 31 vanillales, and climatic and environmental variables. Vanilla cultivated in the Huasteca Potosina grows at altitudes ranging between 61 and 678 m, with a rainfall ranging from 1,500 to 2,700 mm per year and temperatures of 22 to 25 °C. The predominant soils, where the vanilla were located, corresponding to frank textures with average percentages of organic matter. The potential area for planting the vanilla crop was modeled with MAXENT software, which delimited a potential area of 710 km² where characteristics of precipitation, elevation, slope

and average diurnal range were the most optimal for the establishment of the crop vanilla.

Keywords: *Vanilla planifolia*, interpolation, potential distribution, ecological niche.

INTRODUCCIÓN

México es centro de origen y domesticación de diversas especies de importancia mundial, entre ellas la vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) (CONABIO y SEMARNAT, 2009). Esta especie es una orquídea hemiepífita con hojas alternas dispuestas longitudinalmente sobre un eje principal, cuyo fruto es una capsula alargada en la cual se concentran además de la vainillina, cientos de compuestos aromáticos que le dan sabor y olor (Soto, 2006). La especie es una importante materia prima en diversas industrias, entre las que destacan de alimentos, farmacéutica, perfumera y cosmética (Viveros, 2007). México fue el principal productor y exportador de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) durante los siglos XVIII y XIX (Kourí, 2002), pero la introducción de vainilla sintética, los fenómenos climatológicos adversos y el incremento de la producción en Madagascar, provocaron el derrumbe del mercado y abandono del cultivo durante la segunda mitad del siglo XX (FIDECAP, 2016).

Actualmente, la producción mundial estimada de vainilla es de 4,268 ton año⁻¹, cifra menor comparada con la demanda del mercado (8,350 ton) (FIDECAP, 2016). Por lo que existe una demanda de vainilla natural, y México tiene un alto potencial para aumentar su producción y sobrepasar a nivel mundial. Las principales fortalezas del sector se asocian con el conocimiento y vínculo cultural que existe con la vainilla por varias generaciones (Kourí, 2002), la variabilidad genética de la especie (Salazar *et al.*, 2012; Herrera *et al.*, 2016) y las características del ambiente para su cultivo (Hernández *et al.*, 2016).

Los principales estados productores de vainilla en México son Veracruz, Puebla, Hidalgo, Tabasco, Guerrero, Michoacán, Nayarit, San Luis Potosí, Chiapas y Oaxaca (PRSPVES-LP, 2012). En la Huasteca Potosina, la vainilla es una especie presente en sistemas agroforestales tradicionales desde hace más de un siglo (Ruvalcaba *et al.*, 1996). Actualmente también

*Autor para correspondencia: Humberto Reyes Hernández

Correo electrónico: hreyes@uaslp.mx

Recibido: 15 de diciembre de 2017

Aceptado: 17 de abril de 2018

se cultiva en asociación con cítrico y en casas malla sombra (Vargas *et al.*, 2014). Datos recientes indican que la superficie dedicada a este cultivo pasó de 22 ha en 2003 a más de 96 ha en 2013 (SAGARPA-SIACON, 2016). Es importante destacar que la vainilla beneficiada potosina cuenta con una de las mejores calidades a nivel nacional (Xochipa *et al.*, 2016) lo que incentiva aumentar su producción en la región.

Si bien, la región Huasteca Potosina cuenta con las características propicias para su cultivo, se desconoce su distribución actual, así como las mejores áreas para su cultivo, es decir aquellas que cuentan con las condiciones ambientales propicias (Gámez, 2011). Por ello, es necesario delimitar con precisión las áreas con las características físicas y ambientales apropiadas para el crecimiento y desarrollo de la planta para tomar mejores decisiones al momento del establecimiento de su cultivo. Con base en lo anterior, los objetivos de este trabajo son identificar las características ambientales de las parcelas cultivadas con vainilla, analizar sus características edáficas e identificar los factores físico-ambientales que influyen en la delimitación de su nicho en la Huasteca Potosina y modelizar el área potencial para su cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en la porción centro-sur de la Huasteca Potosina. La zonificación y caracterización agroecológica de *V. planifolia*, se realizó en 31 vainillales distribuidos en los municipios de Aquismón, Xilitla, Axtla de Terrazas, San Antonio, Tampamolón Corona, Tancanhuitz de Santos, Coxcatlán, Huehuetlán, Tampacán, Matlapa y Tamazunchale (Figura 1). Para definir las características ambientales donde mejor se desarrolla la vainilla, cada parcela fue ubicada y delimitada con apoyo de un GPS (Tabla 1). Los puntos obtenidos fueron exportados al Sistema de Información Geográfico ArcGis 10.2 y sobrepuestos en un mapa base, donde se calculó la superficie de cada parcela y determinó la altitud, orientación de ladera, pendiente, tipo de suelo, tipo de vegetación predominante, temperatura y humedad de cada parcela.

Para definir las condiciones climáticas prevaletentes en todos los sitios de trabajo, se obtuvieron las normales climatológicas (de 1950 al 2010) de temperatura máxima, media y mínima y precipitación de 25 estaciones de CNA ubicadas en la zona de estudio y su colindancia (Tabla 2). Los datos fueron capturados en una base de datos de Excel, que asignó a cada estación sus respectivas coordenadas y posteriormente exportados a ArcGis, en dicho software los datos fueron interpolados a través del método IDW (Distancia Inversa Ponderada) para generar coberturas tipo *raster* por cada variable. Este método se basa en el cálculo de valores para sitios no muestreados por medio de la ponderación por distancia de los valores de los sitios vecinos (Villatoro *et al.*, 2008). A partir del modelo digital de elevación del terreno obtenido del "Continuo Mexicano de Elevaciones" versión 3.0 de INEGI (resolución de 30 m por pixel), se generaron las coberturas digitales de la altitud, pendiente y orientación de la ladera.

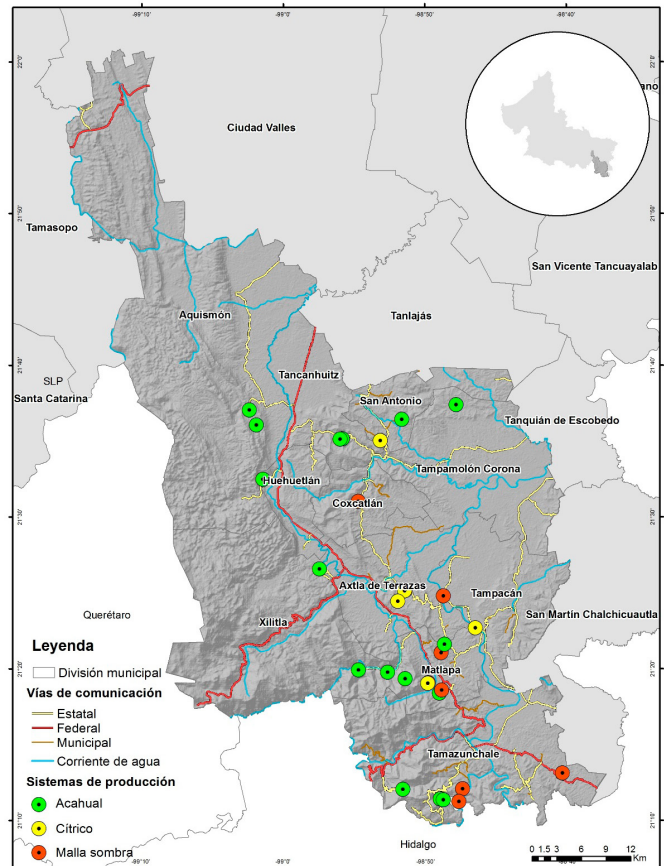


Figura 1. Área de estudio.
Figure 1. Study area.

La cartografía en formato digital de la cubierta vegetal y usos de la tierra, se derivó de la interpretación y análisis de imágenes de satélite SPOT de los años 2007 y 2013. Producto generado por el proyecto 2012-04-190442: Estrategia de investigación aplicada para el fortalecimiento, innovación y competitividad de la producción de vainilla en México. Sub-proyecto: Vainilla en la Huasteca potosina. Las imágenes Spot de 2013 utilizadas en el presente trabajo fueron proporcionadas gracias a la colaboración entre la Estación de recepción México de la constelación SPOT (ERMEX) y la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Los productos que se generaron fueron con datos provenientes de la ERMEX-UASLP 2016.

Todas estas capas de información fueron agregadas al mapa base previamente establecido en el software ArcGis 10.2, posteriormente, mediante la herramienta *zonal statistic* se obtuvieron las estadísticas descriptivas de cada parcela y su correspondencia con cada una de las variables.

Para conocer las propiedades del suelo en las parcelas donde se desarrolla el cultivo, en cada parcela de vainilla se colectó una muestra compuesta de suelo a una profundidad de 20 cm siguiendo el procedimiento establecido para tal fin (NOM 021-SEMARNAT-2000). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Suelos y Agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, donde se le determinó a cada una; textura, materia orgánica,

Tabla 1. Ubicación, georreferenciación y características de las parcelas de estudio.**Table 1.** Location, georeferencing and characteristics of the study plots.

Clave	Municipio	Localidad	Sistema	UTM E	UTM N
AQTAC	Aquismón	Tampate	Agroforestal	495867.58	2390574.57
AQTAE	Aquismón	Tampate Eureka	Agroforestal	496733.93	2388738.83
AXAHU 1	Axtla	Ahuacatitla	Malla	514799.57	2368627.14
AXAHU 2	Axtla	Ahuacatitla	Cítrico	514749.39	2368578.36
AXJAL	Axtla	Jalpilla	Cítrico	513905.23	2367327.30
COAJU	Coxcatlán	Ajuatitla	Malla	509093.37	2379452.40
HUALA	Huehuetlán	Alaquich	Agroforestal	497520.12	2382142.25
MACUI 1	Matlapa	Cuichapa	Malla	517646.13	2357426.37
MACUI 2	Matlapa	Cuichapa	Cítrico	517563.35	2357336.93
MAPRO	Matlapa	La Providencia	Agroforestal	512669.36	2358671.65
MATAM 1	Matlapa	Tamala	Agroforestal	514825.64	2357895.93
MATEP 1	Matlapa	Tepetzintla	Agroforestal	518983.49	2356132.19
MATEP 2	Matlapa	Tepetzintla	Malla	519242.99	2356509.16
MATLACO	Matlapa	Tlacoahuque	Agroforestal	509134.98	2358973.96
MATLAJSJ	Matlapa	Tlajumpal	Malla	519165.82	2361074.50
MATLAJSI	Matlapa	Tlajumpal San José	Agroforestal	519590.53	2362089.89
TACEI	Tampacán	La Ceiba	Cítrico	523343.54	2364083.56
TACHA	Tampacán	Rancho el Charco	Malla	519460.71	2367983.47
TMATL	Tamazunchale	Atlatque	Malla	521806.63	2344512.99
TMCHA	Tamazunchale	Chapulhuacanito	Malla	533938.95	2346435.11
TMMON	Tamazunchale	Monte Alegre	Malla	521346.57	2342972.45
TMNAR	Tampamolón	El Naranjo	Agroforestal	521003.76	2391225.85
TMSAN 1	Tamazunchale	Santiago Centro	Agroforestal	514525.01	2344450.00
TMTIX 1	Tamazunchale	Tixcuayuca	Agroforestal	519068.57	2343263.82
TMTIX 2	Tamazunchale	Tixcuayuca	Agroforestal	519441.48	2343179.52
XIHER	Xilitla	La Herradura	Agroforestal	504403.89	2371228.68
TANCUA	Tancanhuitz	Cuatlamayan	Agroforestal	507187.99	2387051.49
TANCUA 2	Tancanhuitz	Cuatlamayan	Agroforestal	506916.04	2387019.68
SANTAN	San Antonio	Tanchauin	Cítrico	511794.45	2386874.53
SANLEJ2	San Antonio	Lejem	Agroforestal	514403.29	2389427.39

carbonatos totales, conductividad eléctrica, pH, nitrógeno, fósforo y potasio.

Para establecer el área potencial para el cultivo de vainilla en la región Huasteca se realizó un modelado de distribución de especies (MDS). Este modelo se basa en la asociación de datos conocidos con diferentes variables independientes que describen las condiciones ambientales en un espacio determinado. Al extrapolar los datos al resto de un área se obtiene un valor en cada pixel, que suele interpretarse como la probabilidad de presencia de la especie en ese punto (Mateo *et al.*, 2011). Los 31 sitios de muestreo fueron utilizados como puntos de presencia para la predicción del modelo. El conjunto de capas, requeridos para alimentar el

modelo incluyó precipitación, temperatura máxima, media y mínima, altitud, pendiente, orientación, tipo de vegetación y tipo de suelo, obtenidos previamente. Además, se incorporaron las capas de la base de datos climáticos "bioclim", versión 1.4 (Worldclime, 2014).

Todas las capas fueron desplegadas en el software ArcGis, en formato *raster*, estandarizadas a un tamaño de celda (pixel) de 30 x 30 m y convertidas a formato ASCII. Para la modelización se utilizó la técnica discriminante de máxima entropía *Maxent*; la cual funciona a partir de los registros de ocurrencia de la especie, así como las coberturas geográficas y climáticas que representan los parámetros ambientales (Castro *et al.*, 2017).

Tabla 2. Coordenadas geográficas y ubicación de las estaciones climatológicas.
Table 2. Geographical coordinates and location of weather stations.

Clave	Nombre de la estación	Estado	Longitud	Latitud	Clave de la parcela más próxima	Distancia (km)
24002	Altamira, Cd. Santos	S.L.P.	-98.967	21.667	TANCUA2	0.09
24003	Aquismón, Aquismón	S.L.P.	-99.083	21.633	AQTAC	0.05
24009	S. Martín Chalchicuautla	S.L.P.	-98.667	21.383	TACEI	0.11
24026	Requetemú Villa Terrazas	S.L.P.	-98.900	21.433	AXJAL	0.04
24053	Cd. Santos, Cd. Santos	S.L.P.	-98.967	21.617	TANCUA2	0.05
24082	Tamapatz, Aquismón	S.L.P.	-99.117	21.617	AQTAC	0.08
24084	Tanculín, Tamazunchale	S.L.P.	-99.117	21.567	AQTAE	0.09
24085	Tanquian, Tanquian De E.	S.L.P.	-98.650	21.617	TMNAR	0.15
24087	Tanlajas, Tanlajas	S.L.P.	-98.867	21.667	SANLEJ2	0.06
24090	Tanzabaca, Tamasopo	S.L.P.	-99.217	21.667	AQTAC	0.18
24091	Temamatla, Tamazunchale	S.L.P.	-98.767	21.233	TMATL	0.04
24092	Tierra Blanca	S.L.P.	-98.900	21.233	TMSAN1	0.05
24105	Xilitla, Xilitla	S.L.P.	-98.983	21.400	XIHER	0.05
24121	Tanquian De Escobedo	S.L.P.	-98.750	21.667	TMNAR	0.06
24122	Chapulhuacán	S.L.P.	-98.767	21.233	TMATL	0.04
24125	Tlamaya, Xilitla	S.L.P.	-98.950	21.433	XIHER	0.01
24135	E.T.A. 170, Tanquian De E	S.L.P.	-98.650	21.617	TMNAR	0.15
24136	Tanlu. Santa Catarina	S.L.P.	-99.250	21.633	AQTAC	0.21
24138	Tamazunchale	S.L.P.	-98.786	21.231	TMATL	0.03
24159	La Morita, Cd. Del Maíz	S.L.P.	-98.850	21.350	MATAM1	0.03
24167	Matlapa, Matlapa	S.L.P.	-98.800	21.333	MATLAJSJ	0.02
24182	Tampamolón, Tampamolón	S.L.P.	-98.817	21.550	SANLEJ2	0.07
24185	Cerro De La Cruz	S.L.P.	-98.633	21.483	TACEI	0.18
24186	Huichihuayan, Huehuetlán	S.L.P.	-98.967	21.467	XIHER	0.03
24200	Tepemiche, Sn Martín Ch.	S.L.P.	-98.650	21.483	TACEI	0.16

Para obtener un modelo más robusto y sólido, se estableció 500 como número máximo de iteraciones y 0.00001 como límite de convergencia, además fijar la categoría de máxima especificidad (para proveer mayor sensibilidad al modelo). Estos parámetros se basan en lo reportado por la literatura especializada en el tema (Rykel, 1996; Elith *et al.*, 2006; Philips *et al.*, 2006; Peterson *et al.*, 2011).

El principal criterio para la elección de los mejores modelos de área potencial para el cultivo de la vainilla fue un valor mayor a 75 % del área bajo la curva ROC2 (Receiver Operating Characteristic) (Muñoz y Felicísimo, 2004). Esta es una medida de la capacidad de discriminación del modelo y cuyo valor tiende a aproximarse a 1 cuanto mejor es el ajuste con los datos de evaluación, mientras que cercano a 0.5 indica que el ajuste no es mejor que el generado al azar (Benito y Peñas, 2007). El modelo más apropiado incluyó 25 % de los sitios seleccionados para evaluación del modelo (Figura 2).

El modelo obtenido fue sobrepuesto sobre la imagen de satélite SPOT 2013, para comprobar su coincidencia con los elementos presentes en la zona de estudio, cuantificar e

identificar las áreas de distribución potencial y contrastar con la información de campo. Finalmente se calculó y representó espacialmente la superficie con potencial para el establecimiento y desarrollo del cultivo de la vainilla en la Huasteca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En México se han descrito cuatro sistemas de producción de vainilla: 1) el sistema agroforestal o "Acahual" (aprovechamiento tradicional), 2) el cultivo con tutores de *Erythrina spp* o *Gliricidia spp* (monocultivo), 3) el cultivo en asociaciones con cítricos, y, 4) casas malla-sombra (Barrera *et al.*, 2011; Hernández y Lubinsky, 2011). En la región Huasteca del estado de San Luis Potosí predominan tres sistemas de producción: 1) sistema agroforestal tradicional (*te'lom* – tenek, *cuayo* – náhuatl), constituido por un conjunto de especies nativas e introducidas, que son manejadas por los habitantes de la región de forma moderada, 2) los sistemas de asociación con cítricos (principalmente naranja) y, 3) las casas malla-sombra (Trinidad y Reyes, 2015; Reyes *et al.*, 2016).

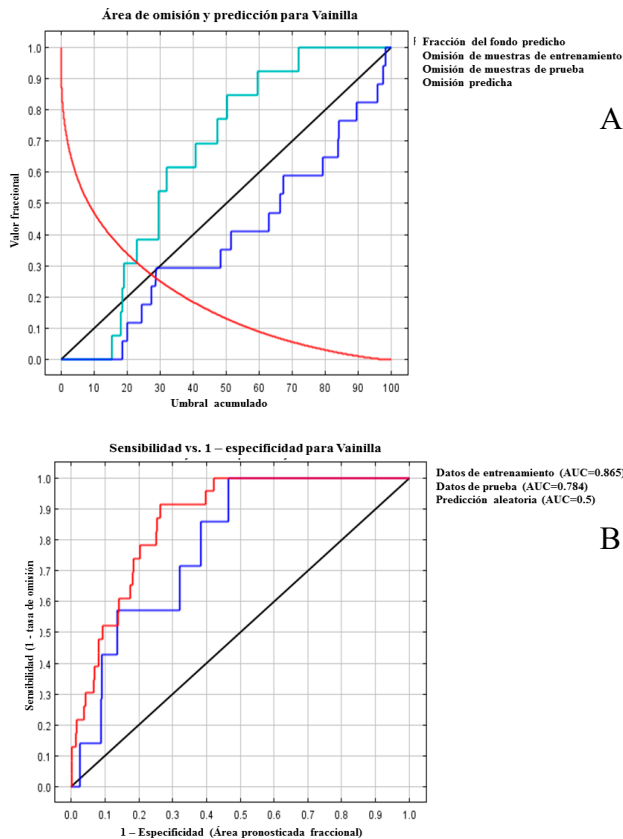


Figura 2. Área de omisión y predicción del modelo (A), área bajo la curva (B).
Figure 2. Omission and prediction model area (A) under curve (B)

Los vainillales de la Huasteca Potosina tienen una superficie promedio de 3,000 m². Están distribuidos a elevaciones que van de los 61 a 678 m (Figura 3), donde predominan los climas del tipo semicálido (A) C (m) (w). La precipitación oscila entre 1,540 y 2,740 mm anuales con una temperatura media anual que va de los 22 a 25 °C (Figura 4). La presencia de humedad en el suelo oscila entre 270 y 330 días para 44 % de las parcelas y de 330 a 365 días en 39 % de ellas. La inclinación de parcelas va de los 0 hasta 43 °, el 37 % de éstas se encuentran sobre laderas orientadas al Este. De acuerdo con la información recaba en campo, los agricultores señalaron que, dicha orientación es benéfica para el cultivo al ser favorecida por la humedad de los vientos y una menor incidencia del sol. El hecho que varias parcelas se localicen en pendientes bastante pronunciadas, obedece a las condiciones propias de la zona de estudio (Tabla 3).

Los suelos donde se cultiva vainilla cuentan con buena porosidad (1.24 g/cm³) y son en su mayoría (89%) suelos francos. El pH promedio es de 6.4, aunque dos parcelas registraron valores extremos de 5.6 (moderadamente ácido) y 8.05 (medianamente alcalino). Ocho parcelas registraron valores moderadamente ácidos y cinco tuvieron valores medianamente alcalinos.

La conductividad eléctrica registra valores promedio (0.45 mS/cm) lo que indica que los suelos en donde se cultiva vainilla no tienen problemas de sales. La cantidad promedio

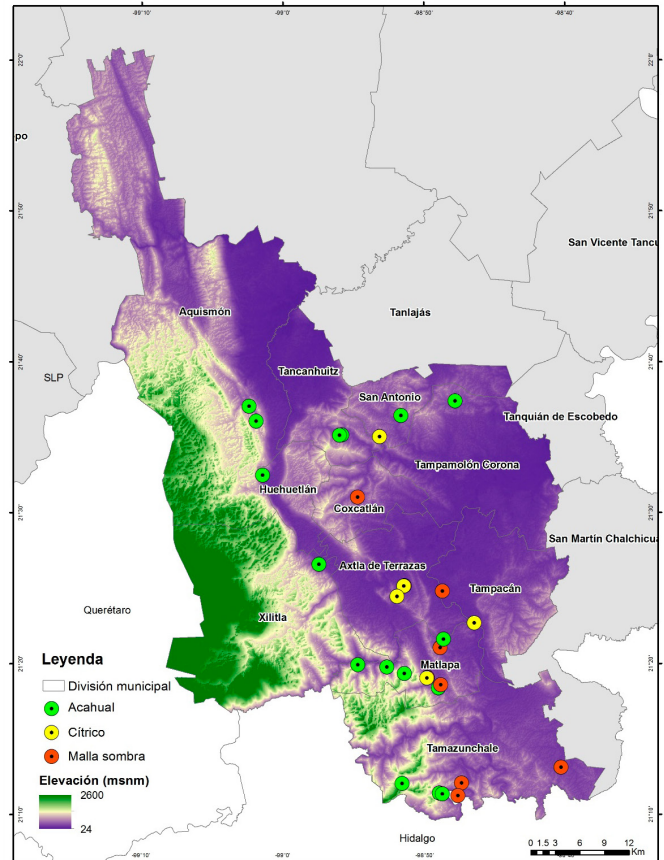


Figura 3. Distribución de los vainillales en la Huasteca Potosina y su relación con la altitud.

Figure 3. Distribution of vainillales in the Huasteca Potosina and their relationship with altitude.

de carbonatos de calcio (CaCO₃) es de 2.6 % y el contenido de materia orgánica es de 2.2 % (de medio a bajo). Estos suelos tienen concentraciones de nitrógeno y fósforo bastante bajas (N= 11.2 y P= 4.4 ppm) según la clasificación de la NOM-021-RECNAT-2000, en contraste con los contenidos de potasio que en todas las parcelas se encuentra en cantidad abundante (K=1.07 Cmol/kg) (Tabla 4).

El modelo obtenido indica que en la Huasteca Potosina existe una superficie de 710 km² con potencial para el establecimiento del cultivo de la vainilla. De esta superficie más del 60 % cumple con los criterios ambientales considerados como umbrales para el establecimiento de la especie (Hernández y Lubinsky, 2011), tales como temperaturas de 20 a 30 °C, precipitación de 2,000 a 3,000 mm anuales y altitudes de 0 a 1,500 m.

El valor obtenido en la curva AUC de entrenamiento del modelo de distribución potencial para la vainilla en la Huasteca Potosina fue de 0.865 y en la curva AUC de evaluación fue de 0.784 (Figura 2B), valores considerados como aceptables.

Los municipios con mayor superficie con potencial para el establecimiento del cultivo son Tamazunchale (39 %) y Matlapa (12 %), aportando poco más del 50 % de la superficie total (Figura 5). Entre las características más importantes

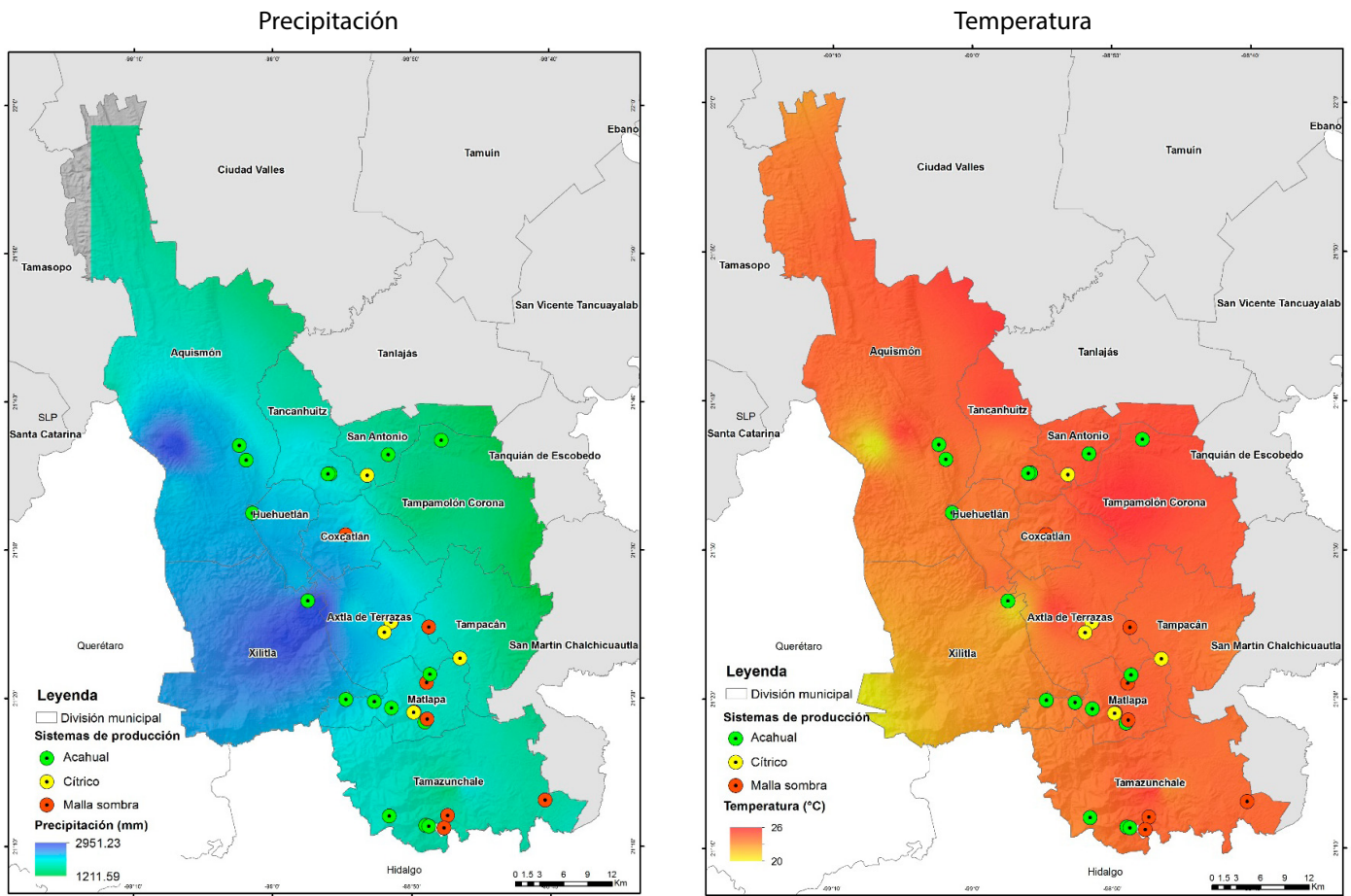


Figura 4. Distribución de los vainillales en la Huasteca Potosina y su relación con la precipitación y temperatura.
Figure 4. Distribution of vainillales in the Huasteca Potosina and their relationship with precipitation and temperature.

Tabla 3. Condiciones físico-ambientales de los vainillales en la Huasteca Potosina.
Table 3. Environmental conditions of Vainillales at the Huasteca Potosina.

Condición físico- ambiental	Amplitud/rango	Promedio/mayor frecuencia para cualitativas
Clima	(A) C (m) (w)	(A) C (m) (w)
Elevación (m)	61 a 678	231
Pendiente (°)	0 a 43	14
Orientación	Este	Este
Días de humedad en suelo	270 a 330 y 330 a 365	270 a 330
Precipitación (mma)	1,540 – 2,740	1,974
Temperatura media anual (°C)	22 – 25	24.2
Elevación modelada (m)	19 - 1,303	240
Temperatura media (°C)	21.4 - 25.7	24.1
Temperatura máxima (°C)	26.5 – 31.4	29.9
Temperatura mínima (°C)	15.2 – 19.9	18.2
Promedio de rango diario (°C)	12 - 13.8	12.8
Precipitación (mm anuales)	1,216 - 2,943	1899
Precipitación trimestres más seco (mma)	99 - 201	156

Tabla 4. Características de los suelos de la Huasteca Potosina donde se cultiva vainilla.

Table 4. Soils characteristics in cultivated vanilla plots in the Huasteca Potosina.

Característica	Valor promedio	Mínimo	Máximo	DS
Porosidad g/cm ³	1.24	1.02	1.42	0.078
pH	6.4	5.6	8.14	0.585
CE mS/cm	0.45	0.323	0.873	0.155
CaCO ₃ %	2.6	0.4	7	1.482
MO %	2.2	0.7	5	1.287
N ppm	11.2	5.6	22	4.262
P ppm	4.4	0.8	28	6.141
K Cmol/kg	1.07	0.33	2.9	0.496

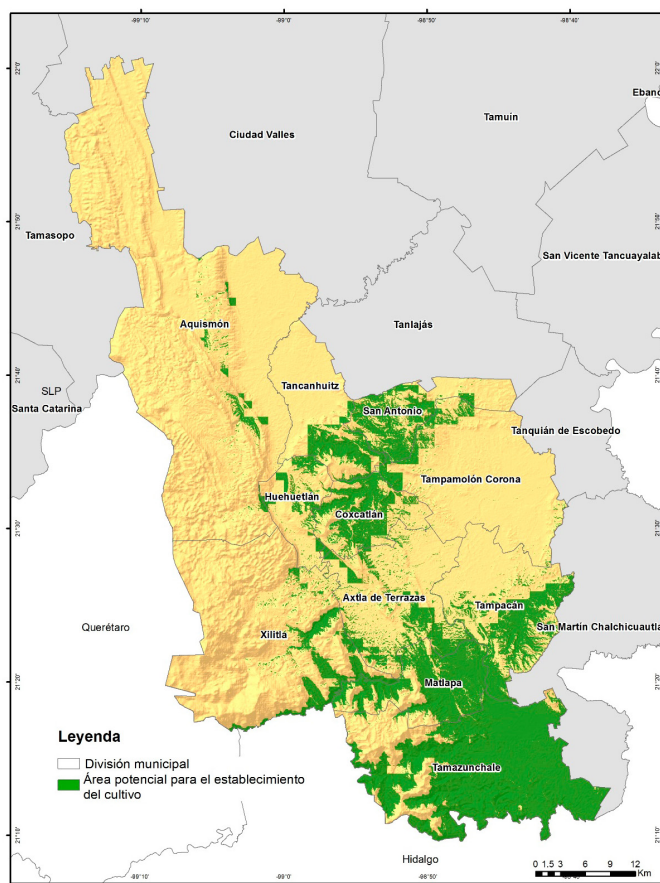

Figura 5. Área potencial para el establecimiento del cultivo de vainilla en la Huasteca Potosina.

Figure 5. Potential area for cultivation of vanilla in the Huasteca Potosina.

del área potencial destaca: altitud entre los 19 y 1,303 m, temperatura media de 21.4 a 25.7 °C, temperatura máxima de 31.4 °C y una mínima de 15.2 °C. El promedio de rango diurno es de 12 a 13.8 °C. La precipitación oscila entre 1,216 y 2,943 mm anuales (Figura 4) y la precipitación del trimestre más seco va de 99 a 201 mm. En el área predominan las pendientes ligeras a pronunciadas y una orientación hacia el noreste.

El modelo predijo pequeños parches aislados en la porción central de la Huasteca, particularmente en los municipios de Tampamolón Corona, Axtla y Tampacán, aunque coinciden con un uso de suelo agropecuario, su temperatura y precipitación son poco apropiadas para el desarrollo del cultivo de la vainilla.

Si bien, la vegetación es un factor importante en esta clase de modelos (Phillips *et al.*, 2006), en este trabajo dicha variable no tuvo una influencia determinante. Por el contrario, al sobreponer el modelo en la imagen de satélite, se detectaron sitios desprovistos de vegetación no aptos para el cultivo de la vainilla, lo cual se explicaría por las altas tasas de transformación en las selvas que se experimenta esta región del estado (Castro *et al.*, 2017; Sahagún y Reyes, 2017). Al respecto es necesario aclarar que la calidad de los modelos está determinada en gran medida por los datos de entrada (Mateo *et al.*, 2011).

De acuerdo a la revisión de literatura, este trabajo aborda el nicho potencial para el cultivo de la vainilla con la aplicación de análisis espacial y modelado. Para el caso de la vainilla se han realizado muy pocos estudios de distribución potencial, enfocados a identificar el nicho para la especie silvestre (Maceda *et al.*, 2016; Hernández, 2016).

Los modelos de distribución potencial han cobrado importancia en la agricultura para ubicar nichos de presencia de plagas y prevenir invasiones, delimitar zonas potenciales para el establecimiento de cultivos o identificar condiciones específicas que permitan mejorar la producción (Vitali y Katinas, 2015; Galleti *et al.*, 2013; Sobek *et al.*, 2012). El modelamiento es una herramienta con aplicaciones potenciales para definir zonas con mejores características para el establecimiento de sistemas tecnificados, tales como la expansión de invernaderos (Pando y Giles, 2008).

Maxent y otros softwares de modelado son herramientas importantes para identificar nichos potenciales (Phillips *et al.*, 2006). Incluso pueden ser aprovechadas en la toma de decisiones que involucren la planeación y gestión de un territorio o ecosistema (Garfías *et al.*, 2013). Sin embargo, deben complementarse con otras estrategias. En el caso del establecimiento de zonas de cultivo además de las características ambientales, es importante considerar a los usuarios o beneficiarios del proyecto ya que de su conocimiento, experiencia, interés y participación dependerá el éxito del nuevo establecimiento.

CONCLUSIONES

Los vainillales localizados en la Huasteca Potosina, se ubican en elevaciones que van de 61 a 678 m, en zonas con precipitaciones que oscilan entre los 1,540 y 2,740 mm anuales y temperaturas medias anuales de 22 a 25 °C. La mayoría del cultivo se desarrolla en suelos con presencia de humedad entre 270 a 365 días, y francos con porcentajes medios de materia orgánica. La zona de distribución potencial generada con el modelo y validada por los registros de campo de la especie, proyecta, no solo una nueva área para estudiar e identificar plantas silvestres y su variación de *Vanilla planifolia*

Jacks. ex Andrews sino además, el establecimiento del cultivo de la orquídea en 710 km², lo cual da oportunidad de tener un sitio nuevo de producción, beneficiado, comercialización y desarrollo de las economías locales de manera sustentable y con equidad de género, a través del cultivo de vainilla en la Región Huasteca de San Luis Potosí, México.

AGRADECIMIENTOS

Al macroproyecto "Estrategia de Investigación aplicada para el fortalecimiento, innovación y competitividad de la producción de vainilla en México". SAGARPA-CONACYT: 2012-04-190442. Subproyecto SP01 Vainilla en la Huasteca Potosina.

REFERENCIAS

- Barrera, R.A., Jaramillo, V.J., Escobedo, G.J., Herrera, C.B.E. 2011. Profitability and competitiveness of the vainilla (*Vanilla planifolia* J.) production systems in the Totonacapan region, Mexico. *Agrociencia*. 45 (5):625-638.
- Benito, B.P. y Peñas, J. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la península Ibérica. *GeoFocus*. 7:100-117.
- Benito, B.P. y Peñas, J.G. 2008. Greenhouses, land use change, and predictive models: MaxEnt and Geomod working together. En M. Paegelow M. y M. Olmedo (ed.) pp. 297-317. *Modelling Environmental Dynamics*. Springer, Berlin Heidelberg.
- Castro, N.J., Sahagún, S.J., Reyes, H.H. 2017. Dinámica de fragmentación en la Sierra Madre Oriental y su impacto sobre la distribución de la avifauna. *Madera y Bosques*. 23 (2):99-117.
- CONABIO y SEMARNAT. 2009. Cuarto Informe Nacional de México al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC Overton, J., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M.S., Zimmermann, N. E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*. 29:129-151.
- Gámez, P.R. 2011. Guía para la elaboración de mapas de distribución potencial. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. 39 p.
- Garfías, S.R., Castillo, S.M. Toral, I.M., Adasme, C.G., Navarro, C.R. 2013. Determinación de la distribución actual y potencial de bosque nativo mediante análisis espacial en SIG. Estudio de caso: Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe en Chile. *Interciencia*. 38 (8):577-584.
- Galleti, C., Ridder, E., Falconer, S., Fall, P. 2013. Maxent modeling of ancient and modern agricultural terraces in the Troodos foothills, Cyprus. *Applied Geography*. 39:46-56.
- Hernández, H.J. y Lubinsky, P. 2011. Cultivation system. En: *Vanilla. Medicinal and Aromatic Plants — Industrial Profiles*. E. Odoux & M. Grisoni (ed.). CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton FL.

- Hernández, R.J., Herrera, C.B.E., Delgado, A.A., Salazar, R.V.M., Bustamante, G.A., Campos C.J.E., Ramírez, J.J. 2016. Distribución potencial y características geográficas de poblaciones silvestres de *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) en Oaxaca, México. *Revista de Biología tropical*. 64 (1): 235-246.
- Herrera, C.B.E., Hernández, R.J., Delgado, A.A. 2016. Variación de aroma en *Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews silvestre y cultivada. *Agroproductividad*. 9 (1):10-17.
- INEGI, 2013. Mapa Digital de México. Disponible en: www.inegi.org.mx
- Maceda, R.A., Herrera, C.B., Delgado, A.A., Salazar, R.V. 2016. Nuevas áreas para el cultivo de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews.) en Hidalgo, México. *Agroproductividad*. 9 (suplemento): 7-8.
- Mateo, R.G., Felicísimo, A.M., Muñoz, J. 2011. Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*. 84:217-240.
- Muñoz, J., Felicísimo, A.M. 2004. Una comparación entre algunos métodos estadísticos de uso común en el modelado predictivo. *Journal of Vegetation Science*. 15:285-292.
- NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Norma oficial mexicana nom-021-semarnat-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario oficial*. 85 pp.
- Ortega, H.M.A. y Peterson, A.T. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions : a test of six presence-only methods. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 79:205-216.
- Phillips, S., Anderson, R., Schapire, R. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190:231-259.
- Plan Rector del Sistema Producto Vainilla del estado de San Luis Potosí (PRSPVESLP). 2012. Comité Estatal del Sistema Producto Vainilla del Estado de San Luis Potosí. Tamazunchale, SLP.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2013. Disponible en: www.inegi.org.mx
- Kourí, E. 2002. El comercio de exportación en Tuxpan, 1870 - 1900. En: *El siglo XIX en las Huastecas*. A. Escobar-Ohmstede y L. Carregha (Ed.). pp. 297-320. CIESAS-COLSAN. San Luis Potosí, SLP.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190: 231-259.
- Peterson, A.T., Soberón, J., Pearson, R.G., Anderson, R.P., Martínez, M.E. Araújo, Nakamura, M., Bastos A.M. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press. Princeton, N.J.
- Reyes, H.H., Trinidad, G.K.L., Herrera, C.B.E. 2016. Sistemas de producción de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews y conservación de variantes silvestres en la Huasteca Potosina. *Agroproductividad*. 9 (9):13-15.
- Ruvalcaba, J. y Zevallos, P.M.J. 1996. La Huasteca en los albores del tercer milenio. *Textos, temas y problemas*, México, CEMCA, IPN, CIESAS, CIHSLP e INI.
- Rykiel, E.J. 1996. Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological Modelling*. 90:229-244.
- Sahagún, S.F.J. y Reyes, H.H. 2017. Procesos de cambio en el uso del suelo en las áreas naturales protegidas en la Región Central de la Sierra Madre Oriental. *Ciencia UAT*. 11 (3):98-128.

- Salazar, R.V.M., Herrera, C.B.E., Delgado, A.A., Soto, H.M., Castillo, G.F., Cobos, P.M. 2012. Chemotypical variation in *Vanilla planifolia* Jack. (Orchidaceae) from the Puebla-Veracruz Totonacapan region. *Genetic Research and Crop Evolution*. 59 (5):875–887.
- Soto, A.M.A. 2006. La vainilla, retos y perspectivas de su cultivo. CONABIO. *Biodiversitas*. 66:1-9.
- Sobek, S.S., Kluz, D.A., Cuddington, K., Lyons, D.B. 2012. Potential distribution of emerald ash borer: What can we learn from ecological niche models using Maxent and GARP? *Forest Ecology and Management*. 281: 23-31.
- Trinidad, K.L. y Reyes, H.H. 2015. Aroma a vainilla, tesoro oculto en la Huasteca potosina. *Universitarios potosinos*. 196:4-8.
- Vargas, H.J. y Gámez, H.G. 2014. Producción de vainilla en tres sistemas de producción en la Sierra Huasteca Potosina. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto para Productores No. MX-0-310301-52-03-17-10-63. 31 p.
- Villatoro, M., Henríquez, C., Sancho, F. 2008. Comparación de los interpoladores IWD y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense*. 32 (1): 95-105.
- Vitali, M. y Katinas, M. 2015. Modelado de distribución de las especies argentinas de *Smilax* (Asteraceae), el género del "yacón": un cultivo potencial para la agricultura familiar. *Agricultura Familiar. Agroecología y Territorio*. 114 (3):110-121.
- Viveros, G. B. 2007. Evaluación de la extracción de vainilla, mediante la adaptación de un dispositivo Soxhlet. Tesis de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos. Universidad de las Américas Puebla.
- Worldclime. 2014. Global climate data. Disponible en: <http://www.worldclim.org/> Año de consulta: 2014.
- Xochipa, M.R.C., Delgado, A.A., Herrera, C.B.E., Escobedo, G.J.S., Arévalo, G.L. 2016. Influencia del proceso de beneficiado tradicional mexicano en los compuestos del aroma de *Vanilla planifolia* Jacks. *Ex Andrews. Agroproductividad*. 9 (1): 55-62.