

## Distribución potencial y características geográficas de poblaciones silvestres de *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) en Oaxaca, México

Jesús Hernández-Ruiz<sup>1</sup>, B. Edgar Herrera-Cabrera<sup>1,\*</sup>, Adriana Delgado-Alvarado<sup>1</sup>, Víctor M. Salazar-Rojas<sup>1</sup>, Ángel Bustamante-Gonzalez<sup>1</sup>, Jorge E. Campos-Contreras<sup>2</sup> & Javier Ramírez-Juarez<sup>1</sup>

1. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas-Campus Puebla, Programa de Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Boulevard Forjadores de Puebla No 205 Santiago Momoxpan, Municipio San Pedro Cholula Estado de Puebla. C.P. 72760, Puebla, México; xiuhcoatl@live.cl, behc@colpos.mx, adah@colpos.mx, adnbic@gmail.com, angelb@colpos.mx, rjavier@colpos.mx
2. Facultad de Estudios Superiores-Iztacala. Avenida de los Barrios Número 1, Colonia Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, C.P. 54090; jcampos@unam.mx

\* Correspondencia

Recibido 26-I-2015. Corregido 05-VII-2015. Aceptado 07-VIII-2015.

**Abstract: Potential distribution and geographic characteristics of wild populations of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) Oaxaca, Mexico.** Wild specimens of *Vanilla planifolia* represent a vital part of this resource primary gene pool, and some plants have only been reported in Oaxaca, Mexico. For this reason, we studied its geographical distribution within the state, to locate and describe the ecological characteristics of the areas where they have been found, in order to identify potential areas of establishment. The method comprised four stages: 1) the creation of a database with herbarium records, 2) the construction of the potential distribution based on historical herbarium records for the species, using the model of maximum entropy (MaxEnt) and 22 bioclimatic variables as predictors; 3) an *in situ* systematic search of individuals, based on herbarium records and areas of potential distribution in 24 municipalities, to determine the habitat current situation and distribution; 4) the description of the environmental factors of potential ecological niches generated by MaxEnt. A review of herbarium collections revealed a total of 18 records of *V. planifolia* between 1939 and 1998. The systematic search located 28 plants distributed in 12 sites in 95 364 Km<sup>2</sup>. The most important variables that determined the model of vanilla potential distribution were: precipitation in the rainy season (61.9 %), soil moisture regime (23.4 %) and precipitation during the four months of highest rainfall (8.1 %). The species potential habitat was found to be distributed in four zones: wet tropics of the Gulf of Mexico, humid temperate, humid tropical, and humid temperate in the Pacific. Precipitation oscillated within the annual ranges of 2500 to 4000 mm, with summer rains, and winter precipitation as 5 to 10 % of the total. The moisture regime and predominating climate were udic type I (330 to 365 days of moisture) and hot humid (Am/A(C) m). The plants were located at altitudes of 200 to 1 190 masl, on rough hillsides that generally make up the foothills of mountain systems, with altitudes of 1 300 to 2 500 masl. In natural conditions, distribution of the species is not limited to high evergreen forests, since it was also found in mountain mesophyll and tropical evergreen forests. The location of new specimens of *V. planifolia* in its wild condition reduces the potential distribution area by 66 %. This area is fragmented into three geographically separated areas. Habitat reduction was due to the increased number of located plants that define the environmental conditions into a more accurate level. Conservation actions can thus be designed and implemented, focusing on more specific areas within the state of Oaxaca, Mexico. Rev. Biol. Trop. 64 (1): 235-246. Epub 2016 March 01.

**Key words:** ecological niche, environmental characteristics, maximum entropy, modeling, vanilla.

*Vanilla planifolia* es una de las plantas aromáticas más importantes de la industria alimenticia, originaria de las zonas tropicales de México, y como recurso genético, es considerado uno de los legados agrobiológicos más importantes de las culturas mesoamericanas (Bory, Grisoni, Duval, & Besse, 2007; Lubinsky, Bory, Hernández, Kim, & Gómez-Pompa, 2008; Herrera-Cabrera, Salazar-Rojas, Delgado-Alvarado, Campos-Contreras, & Cervantes-Vargas, 2012).

Los especímenes silvestres y los cultivares de *Vanilla planifolia* conforman el acervo genético primario de la especie (Soto-Arenas, 1999). Por lo que, al ser establecidas las plantaciones comerciales de vainilla a partir del clon denominado tipo mansa en México (Ecott, 2004; Bory et al., 2007), clon con baja variación genética por efecto de la erosión genética derivada de la constante multiplicación clonal (Minoo et al., 2007). Esto tiene consecuencias directas en la conservación de la especie, de ahí que sea importante conocer la distribución de las poblaciones silvestres de vainilla, para diseñar acciones de conservación de sus zonas potenciales de distribución.

Los hábitats de plantas silvestres, como las orquídeas, han sido afectadas negativamente por la interferencia humana y el cambio climático (Robbirt, Davy, Hutchings, & Roberts, 2011; Sánchez, Osborne, & Haq, 2011). Para evaluar estos efectos, los modelos de distribución de especies son una herramienta útil (Guisan & Zimmermann, 2000; De Marco Junior & Siqueira, 2009; Siqueira & Durigan, 2007), ya que permiten identificar áreas potenciales donde puede desarrollarse la especie, y predecir cambios en las zonas de distribución (Rezende, Oliveira-Filho, Eisenlohr, Kamino, & Vibrans, 2014). Uno de los modelos más eficientes en la predicción de distribución espacial de especies es el modelo Maxent (Phillips, Dudík, & Schapire, 2006; Lehtomäki & Moilanen, 2013). El cual ha sido usado exitosamente para estimar la distribución de la familia Orchidaceae (Wan, Wang, Han, & Yu, 2014).

En México, la mayoría de las recolecciones de vainilla identificadas como silvestres

proviene del estado de Oaxaca (Soto-Arenas, 1999; Cibrián-Jaramillo, 1999; Schlütter, 2002), donde los frutos se recolectan para usos locales en comunidades de la Sierra Mazateca y Chinanteca en la región noreste del estado (Soto-Arenas, 1999). Este tipo de aprovechamiento es característico de las especies silvestres, dado que son recolectadas sólo cuando es necesario y son mantenidas en los campos donde fueron encontradas (Vodouhè & Danci, 2012). En Oaxaca, el manejo de la vainilla ha ido construyéndose, y su cultivo se estableció a partir de 1986 (Carrasco, Iturralde, & Uquillas, 2000), por lo cual es posible ubicar las plantas madres con las que se establecieron los cultivos (Soto, 1999). En contraste, en Veracruz y Puebla, lugares reconocidos como las zonas de domesticación y cultivo (Soto-Arenas, 2003), las poblaciones recolectadas no han reportado especímenes en estado silvestre (Cibrián-Jaramillo, 1999; Schlütter, 2002).

El auge en la producción de vainilla en el mundo, durante la década de 1990 (Lubinsky et al., 2008), generó la recolección excesiva de plantas para el establecimiento de cultivos. Así mismo, la destrucción de su hábitat por fenómenos humanos y meteorológicos (Herrera-Cabrera et al., 2012) vulneró fuertemente a la especie en su entorno natural. Por lo anterior, un conocimiento detallado de la distribución actual de la especie es un requisito previo para utilizar y conservar el recurso genético dentro de un ecosistema (Barik & Adhikari, 2011; Wan et al., 2014). En función de lo anterior, el objetivo del presente estudio fue ubicar y definir las características ecológicas de las zonas potenciales donde se pueda desarrollar *V. planifolia* J., en el estado de Oaxaca, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio:** El estado de Oaxaca está ubicado en el sureste de la República Mexicana, entre los 15°39' y 18°42' de latitud norte y entre los 93°52' y 98°32' de longitud oeste y tiene una superficie de 95 364 Km<sup>2</sup> (INEGI, 2010). El estado tiene una complejidad orográfica, presencia de distintas zonas térmicas,

distribución desigual de lluvia. El efecto espacial diferencial de los sistemas meteorológicos, contribuye a que sea uno de los tres estados con mayor biodiversidad de México (García-Mendoza, Ordóñez, & Briones-Salas, 2004).

**Base de datos:** Se elaboró una base de datos para incluir sitios y localidades donde se reporta la existencia de *V. planifolia* en Oaxaca, México. La información se obtuvo a partir de la revisión de las colecciones de los herbarios Oakes Ames Orchid Herbarium (AMES), Herbario de la Asociación Mexicana de Orquideología (AMO), Herbario Nacional de México (MEXU), y herbario del Instituto de Ecología (XAL).

**Modelado de distribución potencial basado en los registros históricos:** Con la base de datos de los ejemplares de herbario y mediante la aplicación del programa MaxEnt versión 3.3.3 (Phillips et al., 2006; Mbatudde, Mwanjololo, Kakudidi, & Dalitz, 2012), se modeló preliminarmente la distribución geográfica de *V. planifolia*. Se utilizaron 22 variables como predictores (Cuadro 1). Un total de 19 bioclimáticas con resolución espacial de 0.5 minutos de arco fueron obtenidas de la base de datos WorldClim ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)). Los datos digitales de elevación (DEM, 90 m de resolución) se obtuvieron de CGIAR-CSI (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Las capas en formato vectorial de uso de suelo y vegetación

CUADRO 1  
Variables ambientales y bioclimáticas utilizadas para conocer la distribución geográfica de *V. planifolia* en Oaxaca, México

TABLE 1  
Environmental and bioclimatic variables used to determine the geographical distribution of *V. planifolia* in Oaxaca, Mexico

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

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

en CONABIO (CONABIO, 1998e), y régimen de humedad del suelo en la cartografía de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 1998e; Maples-Vermeersch, 1992). Las tres últimas variables empleadas se consideraron debido a que determinan el espacio físico en que habitan la especie (Challenger & Caballero, 1998). El régimen de humedad, principalmente, delimita la formación vegetal dominante y establece la abundancia de poblaciones y parámetros de presencia en orquídeas (Zotz & Schmidt, 2006; Blinova, 2008).

**Actualización de áreas de distribución potencial:** En el 2013, se localizó en campo la presencia de plantas de vainilla en 24 municipios del estado de Oaxaca. El trabajo de campo se realizó en los periodos fenológicos de floración (febrero a abril) y madurez fisiológica del fruto (noviembre). A partir de los registros de herbario y la primera distribución potencial generada con el programa MaxEnt, y con el apoyo de pobladores locales, se hizo una búsqueda *in situ* de individuos de *V. planifolia*. La base de sitios con registro de presencia de individuos de la especie fue actualizada con los nuevos lugares donde se ubicó la especie. Se estimó nuevamente la distribución potencial y la idoneidad del hábitat con el programa MaxEnt versión 3.3.3 (Phillips et al., 2006; Mbatudde et al., 2012), con las variables bioclimáticas y ambientales del Cuadro 1.

**Descripción de las áreas potenciales de distribución:** Con el programa MaxEnt se obtuvo las capas GradientFile de distribución potencial, basado en los registros históricos y obtenidos en campo. Las capas se exportaron al programa ArcGIS 10.1 y se convirtieron a formato vectorial para estimar el tamaño de las áreas potenciales. Para describir sus atributos, se realizó la sobreposición de las capas temáticas de clima (CONABIO, 1998a), precipitación (CONABIO, 1998b), temperatura media anual (CONABIO, 1998c), régimen de humedad (Maples-Vermeersch, 1992), zonas ecológicas (Toledo & Ordoñez, 2009), curvas de nivel

(CONABIO, 1998d) y uso de suelo y vegetación de Oaxaca, México (CONABIO, 1998e).

## RESULTADOS

**Información de especímenes de herbario:** De la revisión de las colecciones de herbarios se reportaron un total de 18 registros de *V. planifolia*; dos en AMES, 11 en AMO, tres en MEXU y dos en proyectos CONABIO, comprendidos entre 1939 y 1998. La mayoría de los sitios de ejemplares (AMO/FAA, AMO/6672, AMO/6673, AMO/6674, AMO/7630, AMO/8040, AMO/8117, AMO/8483, AMO/11027, MEXU/1236315, MEXU/1236324, CONABIO/j101) se distribuyeron en la región norte de Oaxaca. El resto de los registros se localizaron en cuatro regiones. El ejemplar AMES/9034, recolectado por R. E. Schultes y P. Reko en la región Mixe de Oaxaca en 1939, que hasta 1990, era considerado ejemplar único de *V. planifolia* silvestre. La accesión CONABIO/g024, única reportada para la región de Santa María Chimalapa. Las recolectas AMO/16698, AMO/16697, MEXU/1236318 forman un complejo aglutinado en la región de la Sierra Norte, y el ejemplar AMES/60425 de la región de la Costa, recolectado en 1941. El Cuadro 2, fue construido con datos de ejemplares de herbarios AMES, AMO, MEXU y de registros de inventarios de especies de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Los ejemplares de *V. planifolia* (Cuadro 2), se ubican dentro dos regímenes de humedad (RH). El údico, de 330 a 365 días de humedad el cual contiene a los especímenes que se encuentran ubicados al norte del estado. El ústico, de 180 a 270 días de humedad, el cual es característico de las recolectas de la región Sierra Norte, Costa e Istmo de Tehuantepec. La vegetación en la que se reportan principalmente es selva alta perennifolia. La temperatura media anual es de 23 a 25°C, con una precipitación anual de 2000 a 4000 mm y altitudes inferiores a los 500 msnm (MEXU/1236315, CONABIO/j101, MEXU/1236318, AMES/9034, AMO/7630, AMO/8117, AMO/8483, AMO/11027,

CUADRO 2

Características bióticas y abióticas de los especímenes registrados de *V. planifolia* en Oaxaca, México

TABLE 2

Biotic and abiotic characteristics of the specimens recorded from *V. planifolia* in Oaxaca, México

Colección	Zona ecológica	RH *	Precipitación media anual (mm)	Vegetación	Temperatura	
					Clima	media anual (° C)
AMO/FAA	Templada Húmeda	Údico	2 000-2 500	Encinar tropical	Am	25
AMO/6672	Templada Húmeda	Údico	2 500-4 000	Cultivo	Am	25
AMO/6673	Templada Húmeda	Údico	2 500-4 000	Cultivo	Am	25
AMO/6674	Templada Húmeda	Údico	2 500-4 000	Cultivo	Am	25
MEXU/1236315	Templada Húmeda	Údico	2 500-4 000	Selva Perennifolia	A(f)	23
CONABIO/j101	Templada Húmeda	Údico	2 500-4 000	Selva alta Perennifolia	Am	25
AMO/16698	Templada Subhúmeda	Ústico	800-1 200	Acahual derivado Selva Perennifolia	C(w2)	18
AMO/16697	Templada Subhúmeda	Ústico	800-1 200	Acahual derivado Selva Perennifolia	C(w2)	18
MEXU/1236318	Templada Subhúmeda	Ústico	800-1 200	Selva Perennifolia	C(w2)	18
CONABIO/g024	Tropical Húmeda	Ústico	1 500-2 000	Selva Caducifolia	Am	25
AMES/9034	Tropical Húmeda	Údico	2 500-4 000	Selva Perennifolia	A(f)	23
AMO/7630	Tropical Húmeda	Údico	> 4 000	Selva Perennifolia	A(f)	23
AMO/8040	Tropical Húmeda	Údico	> 4 000	Cultivo	Am	25
AMO/8117	Tropical Húmeda	Údico	2 500-4 000	Selva Perennifolia	Am	25
AMO/8483	Tropical Húmeda	Údico	2 500-4 000	Selva Perennifolia	Am	25
AMO/11027	Tropical Húmeda	Údico	2 500-4 000	Selva alta Perennifolia	A(f)	23
MEXU/1236324	Tropical húmeda	Údico	2 500-4 000	Selva alta Perennifolia	A(f)	23
AMES/60425	Tropical subhúmeda	Ústico	1 500-2 000	Selva Perennifolia	Aw1	23

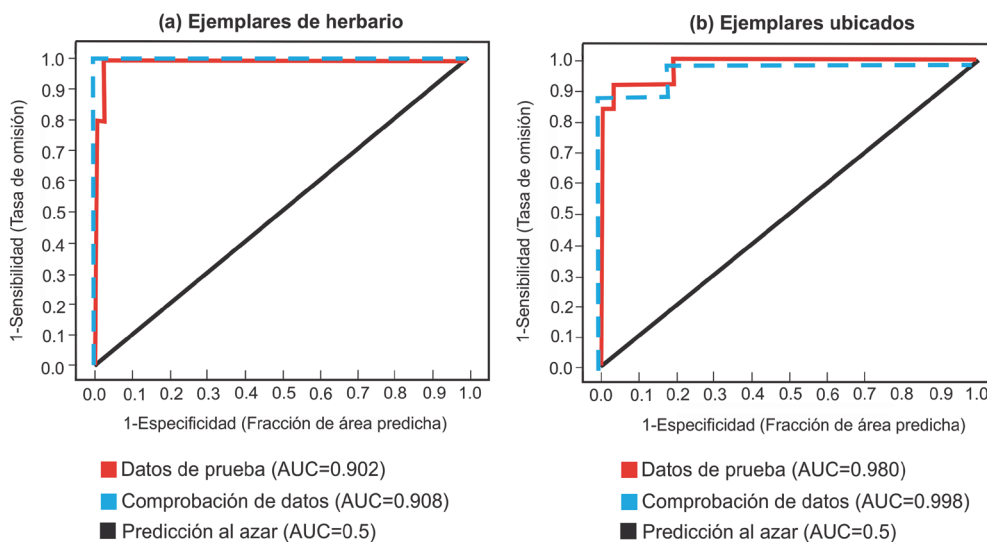
\* RH: Regimen de Humedad.

MEXU/1236324, AMES/604259). Los especímenes AMO/16698, AMO/16697, MEXU/1236318 se ubicaron en la Sierra Norte donde la temperatura media anual y la precipitación son 18°C y de 800 a 1 200 mm, respectivamente, y una altitud de alrededor de 750 m.

**Modelos de distribución:** Los modelos de distribución generados con el programa Maxent tuvieron valores de AUC (umbral acumulativo) de 0.902 y 0.980 para la base de datos de ejemplares de herbario y para la actualización de especímenes existentes en campo, respectivamente (Fig. 1). El AUC fue medido por encima de la predicción al azar y también estuvo por encima del valor de la diferencia esperada entre la sensibilidad y especificidad para la especie (Fig. 1). Basándose en estos resultados, a partir de estudios anteriores en la familia Orchidaceae, la distribución prevista para *V. planifolia* se considera altamente fiable.

De las 22 variables utilizadas como predictores para el modelo basado en los registros de herbario, diez contribuyeron a determinar la estimación del modelo (Cuadro 3). Las de mayor importancia fueron la precipitación del periodo más lluvioso (50.1 %), el régimen de humedad (30.3 %) y la precipitación del cuatrimestre más lluvioso (10.4 %). Para el modelo obtenido con base en los especímenes de *V. planifolia* localizados en campo, las variables con mayor relevancia en la determinación del modelo fueron también (Cuadro 3), precipitación del periodo más lluvioso (61.9 %), régimen de humedad (23.4 %) y la precipitación del cuatrimestre más lluvioso (8.1 %). Se observó que la delimitación de la especie está determinada por parámetros de precipitación y régimen de humedad del suelo.

**Modelado de distribución potencial basado en los registros históricos:** El



**Fig. 1.** Sensibilidad y especificidad para los modelos de *V. planifolia*. Línea rojo muestra el ajuste del modelo a los datos de información de la especie. La línea azul indica el ajuste del modelo a los datos de pruebas de la especie y es la verdadera prueba de la capacidad de predicción del modelo (Phillips et al., 2006). La sensibilidad frente a especificidad se muestra para (a) el registro de herbario entre 1939 y 1998; (b) situación actual de la especie.

**Fig. 1.** Sensitivity and specificity for models of *V. planifolia*. The red line shows the model fit data information of the species. The blue line indicates the fit of the model to test data on the species and is the true test of the predictive power of the model (Phillips et al., 2006). The sensitivity versus specificity is shown for (a) the registration of herbal between 1939-1998; (b) the current status of the species.

### CUADRO 3

Contribuciones porcentuales de las variables bioclimáticas en los modelos Maxent para *Vanilla planifolia*; considerando el registro de herbario entre 1939 y 1998 y la situación actual de la especie, 2013

TABLE 3

Percentage contributions bioclimatic variables in Maxent models for *Vanilla planifolia*; considering the registration of herbal between 1939-1998 and the current status of the species, 2013

Variable	Registro herbario	Situación actual
Precipitación del periodo más lluvioso (Bio 13)	50.1	61.9
Régimen de humedad (Bio 21)	30.3	23.4
Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (Bio 16)	10.4	8.1
Oscilación diurna de la temperatura (Bio 2)	0.4	2.8
Precipitación del cuatrimestre más frío (Bio 19)	1.4	1.5
Estacionalidad de la precipitación (Bio 15)	--	1
Isotermalidad (Bio 3)	0.1	0.6
Precipitación del cuatrimestre más cálido (Bio 18)	--	0.5
Temperatura mínima promedio del periodo más frío (Bio 16)	--	0.2
Vegetación (Bio 22)	4.8	0.1
Altitud (Bio 20)	0.3	--
Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (Bio 9)	0.1	--
Precipitación anual (Bio 12)	2.1	--

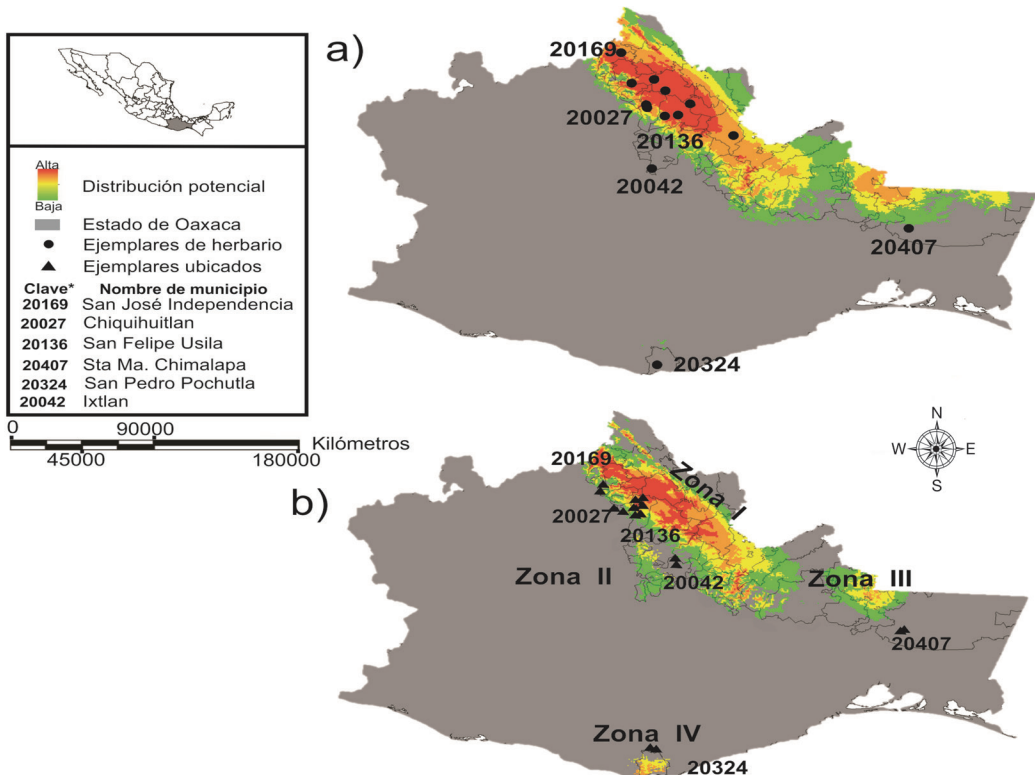


modelado de distribución de *V. planifolia* en Oaxaca, México, a partir de los ejemplares de herbarios, se conforma en dos zonas potenciales (Fig. 2). La primera se distribuye en el noreste del estado formando un área continua del municipio de San José Independencia, hacia San Felipe Usila, y se extiende hasta la región del Istmo. Cuenta con un área de 17 139.47 km<sup>2</sup> (Fig. 1). La calidad del hábitat para la especie es de alta a moderada, el régimen de humedad es údico tipo I (330 a 365 días), con condiciones templadas húmedas, clima tipo (Am) y precipitación anual de 2500 a 4000 mm. Solo el municipio de Santa María Chimalapa, presenta condiciones ecológicas del trópico húmedo, con un régimen de humedad údico

tipo II (270 a 330 días) y precipitación anual de 1500 a 2000 mm.

La segunda zona potencial se encuentra situada al sur del estado, en la región de la costa del Pacífico, cerca del municipio de San Pedro Pochutla. Cuenta con una área de 12.46 km<sup>2</sup>. La calidad del hábitat de *V. planifolia* es baja. Prevalcen características ecológicas de trópico subhúmedo, un régimen de humedad ústico, condiciones del templado húmedo, un clima tipo (Aw1) y una precipitación de 1500 a 2000 mm.

**Actualización de áreas de distribución potencial:** La búsqueda sistemática de individuos de *V. planifolia in situ* arrojó la existencia



**Fig. 2.** Distribución potencial de *V. planifolia* determinada a través del modelado de máxima entropía. La distribución del color de verde a rojo representa el aumento de la calidad del hábitat de la especie. Se muestran las distribuciones de la especie en dos periodos de tiempo (a) registro de 1939 a 1998; (b) situación actual, 2013.\* indica clave del municipio tomado de INEGI, 2010.

**Fig. 2.** Potential of *V. planifolia* determined through modeling of maximum entropy distribution. The distribution of color from green to red represents the increase in the quality of habitat for the species. Distributions of species in two time periods (a) registration of 1939-1998 are shown; (b) current situation, 2013. \* key taken the municipality (INEGI, 2010).

de 28 plantas en el estado de Oaxaca. Ubicadas principalmente al noreste de zona de estudio y distribuidas en 12 sitios. Con base en la ubicación de los especímenes, el hábitat de la especie se distribuyó en cuatro zonas potenciales (Fig. 2).

La zona potencial I, se ubica al noreste del área de estudio con una extensión de 9 191 km<sup>2</sup>. La calidad del hábitat para la especie es de alta a media. El régimen de humedad del suelo es údico tipo I de 330 a 365 días de humedad. Es influenciado por la planicie costera del Golfo, lo cual propicia características de templado húmedo. Tiene un clima cálido húmedo (Am), con una precipitación que oscila en rangos entre 2 500 y 4 000 mm anuales, con lluvias en verano y porcentaje de precipitación invernal de 5 a 10 % y una altitud promedio de 154 m. La vegetación es selva alta perennifolia fragmentada. En el distrito de Ixtlán se tiene una condición de clima diferente, ya que es semicálido húmedo del grupo C. En él se localizaron dos individuos de *V. planifolia*, en una vegetación de bosque Mesófilo de montaña fragmentada, a una altitud de 1 190 m.

La zona potencial II, ubicada al sureste del distrito de Ixtlán (Fig. 1), cuenta con un área de 1 050 km<sup>2</sup>. La calidad del hábitat para la especie es de baja a media. El régimen de humedad del suelo es ústico (180 a 270 días de humedad), influenciado por la Sierra Norte de Oaxaca. Las características ecológicas corresponden al templado húmedo, clima tipo C(m), con precipitación de 2 000 a 2 500 mm anuales. La vegetación dominante pertenece a los géneros *Liquidambar*, *Podocarpus* y *Quercus*, y la altitud es por encima de los 880 m.

La zona potencial III, se ubica al oriente del estado de Oaxaca, en el municipio de Santa María Chimalapa. Cuenta con un área de 1 084 km<sup>2</sup> (Fig. 1). La calidad del hábitat para la especie es de baja a media. El régimen de humedad del suelo es údico tipo II (270 a 330 días de humedad), con características de trópico húmedo, clima tipo (Am) y precipitaciones de 1 500 a 2 000 mm. La vegetación predominante es bosque tropical perennifolio a una altitud de 350 m.

La zona potencial IV, se ubica dentro del distrito de Pochutla (Fig. 1), cuenta con un área de 261 km<sup>2</sup>. La calidad del hábitat para la especie es media. El régimen de humedad de suelo es ústico (180 a 270 días de humedad), influenciado por la costa del Pacífico. Las características ecológicas correspondieron al templado húmedo, con un clima cálido subhúmedo (Aw1) y precipitación de 1 500 a 2 000 mm. La vegetación dominante es selva alta perennifolia, a una altitud de 920 m.

## DISCUSIÓN

Las variables que contribuyen como predictores para el modelo de distribución de *Vanilla planifolia* J., basado en ejemplares de herbario reportados en el periodo de 1939 a 1998 son precipitación, régimen de humedad, oscilación diurna de temperatura, altitud y vegetación. Excepto la altitud y precipitación, se obtuvieron los mismos predictores para el modelo de distribución potencial obtenido con la base actualizada a partir de los especímenes de *V. planifolia* localizados en el 2013. El modelo actualizado delimitó la zona de distribución en el estado de Oaxaca en un rango altitudinal de 200 a 1 190 m, ya que los reportes de especímenes previos solo ubicaban a la especie en un rango altitudinal de 250 a 750 m (Soto-Arenas, 1999). En la actualidad los individuos y poblaciones se encuentran en altitudes de 200 a 1 190 m, en laderas accidentadas, que por lo general están al pie de sistemas montañosos medios de 1 300 a 2 500 metros de altitud (Hernández-Santana, Ortiz-Pérez, Mah Eng, 2009), por lo que el intervalo de distribución para esta variable de altitud es más amplio.

La vegetación donde se ubicaron las plantas en 2013 correspondió a bosque mesófilo de montaña y bosque tropical perennifolio. En el bosque mesófilo, son pocos los reportes de presencia de la especie, dado que la mayoría de los ejemplares de los herbarios la ubican en selva alta perennifolia (Soto-Arenas & Dressler, 2010). Esto explica por qué el porcentaje de relevancia de esta variable desciende del



4.8 a 0.1 % en la contribución a la predicción de la distribución potencial.

Los resultados confirman la relevancia de las variables precipitación y régimen de humedad en la determinación de la abundancia de poblaciones y presencia de orquídeas, como lo indican Zotz y Schmidt (2006) y Blinova (2008). Fue notable que la precipitación (período y cuatrimestre más lluviosos) y régimen de humedad fueran las variables con mayor contribución porcentual al modelo de distribución potencial de *V. planifolia*.

En la zona de distribución potencial generada con los registros de herbario, no se localizaron en campo, las poblaciones relacionadas con las accesiones AMO/6674, AMO/6673, AMO/6672 (reportadas en Usila), MEXU/1236315 (reportado en Teutila), AMO/16698, AMO/16697 y MEXU/1236318 reportadas en el distrito de Ixtlán. Esto puede deberse al cambio en la estacionalidad de las precipitaciones de los últimos 50 años (Groisman et al., 1999), lo que afectó a las poblaciones de *V. planifolia*, ya que las orquídeas son sensibles a la cantidad y distribución de la precipitación (Wells & Cox, 1991; Janecková & Kindlmann, 2002).

La distribución potencial generada con registros comprendidos de 1939 a 1998, contaba con una área de 17 139.47 km<sup>2</sup>. El área original, de acuerdo con la distribución potencial de este estudio, se encuentra actualmente fraccionada en tres áreas de distribución, que conjuntamente suman un área de 11 325 km<sup>2</sup>. Esto representa una reducción del 66 % de la superficie potencial total. Dicha reducción del hábitat podría deberse a la exactitud del modelo de predicción dado que el aumento del número de plantas ubicadas, define las condiciones ambientales a un nivel mucho más exacto; esto se ha observado en estudios de especies de distribución restringida (Kadmon, Farber, & Danin, 2003; Papeş, & Gaubert 2007; Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2010).

En la región sur del estado de Oaxaca, la zona potencial generada con los especímenes de herbario se restringe a una área de 12.46 km<sup>2</sup>, donde la calidad del hábitat para la

especie es baja. El único espécimen reportado (AMES/6279), actualmente es inexistente y búsquedas anteriores han resultado improductivas al tratar de localizar individuos en esta zona (Soto-Arenas, 1999). Sin embargo, durante la búsqueda sistemática en esta investigación se ubicaron dos plantas de *V. planifolia*, en el municipio de Pluma Hidalgo, de tal manera que la distribución potencial actual para la especie en esta región aumentó a 261 km<sup>2</sup>.

Las cuatro zonas potenciales generadas a partir de los individuos existentes en 2013 poseen climas húmedos y precipitaciones por encima de los 1 500 mm anuales. Estas características determinarían el posible centro de origen de *V. planifolia* J., como lo sugieren Soto-Arenas (1999) y Soto-Arenas y Dressler (2010).

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por el Fondo Sectorial de Investigación en materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos (SNITT-CONACYT-SAGARPA: 2012-04-190442 “Estrategia de investigación aplicada para el fortalecimiento, innovación y competitividad de la vainilla en México”).

## RESUMEN

Los especímenes silvestres de *Vanilla planifolia* G. Jack forman parte del acervo genético primario, los cuales solo se han reportado en Oaxaca, México. Por ello se evaluó la distribución de esta especie con el objetivo de ubicar y describir características ecológicas en zonas potenciales de distribución. La metodología empleada consistió de cuatro etapas: 1) Elaboración de una base de datos con registros de herbario; 2) Construcción de la distribución potencial basado en los registros históricos de herbario para la especie, mediante el modelo de máxima entropía (Maxent), con el uso de 22 variables bioclimáticas como predictoras; 3) Realización de búsquedas sistemáticas de individuos *in situ* con base en los registros de herbario y las áreas de distribución potencial en 24 municipios, para conocer la situación y la distribución del hábitat actual, y 4) Descripción mediante factores ambientales de los nichos ecológicos potenciales generados por MaxEnt. La revisión de las colecciones de herbarios reportó un total de 18 registros de *V. planifolia*, comprendidos entre 1939 y 1998.

La búsqueda sistemática de individuos en campo ubicó 28 plantas distribuidas en 12 sitios sobre 95 364 Km<sup>2</sup>. Las variables que contribuyeron con mayor valor porcentual para determinar la estimación del modelo de distribución potencial en vainilla son precipitación del periodo más lluvioso (61.9 %), régimen de humedad del suelo (23.4 %) y precipitación del cuatrimestre más lluvioso (8.1 %). El hábitat potencial de la especie se distribuyó en cuatro zonas; trópico húmedo del golfo de México, templado húmedo, trópico húmedo y templado húmedo del pacífico. La precipitación anual osciló de 2 500 a 4 000 mm, con lluvias en verano y porcentaje de precipitación invernal de 5 a 10 %. El régimen de humedad y clima predominantes fueron údico tipo I (330 a 365 días de humedad) y cálido húmedo (Am/A(C) m). Las plantas se ubicaron en altitudes de 200 a 1 190 msnm, en laderas accidentadas, que por lo general están al pie de sistemas montañosos de 1 300 a 2 500 metros de altitud. En condiciones naturales la distribución de la especie no se limita a selva alta perennifolia, dado que se ubicó en bosque mesófilo de montaña y bosque tropical perennifolio. La ubicación de nuevos especímenes de *V. planifolia* en condiciones silvestres reduce un 66 % del área potencial de distribución, y la fragmenta, al pasar de ser una zona continua a convertirse en tres zonas geográficamente separadas. La reducción del hábitat se debió a un aumento en el número de plantas ubicadas, lo que define las condiciones ambientales a un nivel más exacto. Por lo anterior, se pueden emprender o diseñar acciones de conservación enfocadas a áreas más específicas dentro del estado de Oaxaca, México.

**Palabras clave:** características ambientales, máxima entropía, modelación, nicho ecológico, vainilla.

## REFERENCIAS

- Ackerman, J. D. (1986). Coping with epiphytic existence: pollination strategies. *Selbyana*, 9(1), 52-60.
- Barik, S. K. & Adhikari, D. (2011). Predicting geographic distribution of an invasive species *Chromolaena odorata* L. (King) H. E. Robins. In: Bhatt, J. R., Singh, J. S., Tripathi, R. S., Singh, S. P., Kohli, R. K. (Eds.), *Invasive Alien Plants – An Ecological Appraisal for the Indian Sub-continent* (pp. 77-88). Oxfordshire: CABI
- Blinova, I. V. (2008). Populations of orchids at the northern limit of their distribution (Murmansk Oblast): Effect of climate. *Ekologiya*, 39(1), 26-33.
- Borys, S., Grisoni, M., Duval, M.F., & Besse, P. (2007). Biodiversity and preservation of vanilla: present state of knowledge. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55(4), 551-571
- Carrasco, T., Iturralde, D., & Uquillas, J. (Eds.). (2000). *Doce experiencias de desarrollo indígena en América Latina*. Fondo para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas de América Latina y el Caribe. Quito: Abya-Yala.
- Challenger, A. & Caballero, J. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Instituto de Biología de la UNAM y agrupación Sierra Madre SC, México.
- Cibrián-Jaramillo, A. (1999). Variación Genética de *Vanilla planifolia* en México. Master's thesis, Facultad de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México City, D.F., México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998a). 'Climas' (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1 000 000. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998b). 'Precipitación total anual'. Escala 1: 1000 000. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998c). 'Isotermas Medias Anuales'. Escala 1:1 000 000, México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998d). 'Curvas de nivel para la República Mexicana'. Escala 1:250000.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1998e). 'Uso de suelo y vegetación de INEGI agrupado por CONABIO'. Escala 1:1 000 000. Modificado de: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) - Instituto Nacional de Ecología (INE), (1996). Uso del suelo y vegetación, escala 1:1 000 000. México.
- De Marco Júnior, P. & Siqueira, M.F. (2009). Como determinar a distribuicao potencial de especies sob uma abordagem conservacionista. *Megadiversidade*, 5, 65-76.
- Ecott, T. (2004). *Vanilla: Travels in search of the ice cream orchid*. New York: Grove Press.
- García-Mendoza, A., M. de J. Ordóñez, & M. A. Briones-Salas. (2004). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM / Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Fund, México, D.F.
- Groisman, P. Y., Karl, T. R., Easterling, D. R., Knight, R. W., Jamason, P. F., Hennessy, K. J., & Zhai, P. M. (1999). Changes in the probability of heavy precipitation: important indicators of climatic change. *Climatic Change*, 42(1), 243-283.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, 135(2), 147-186.
- Hernández-Santana, J. R., Ortiz-Pérez, M. A., Mah Eng (2009). Análisis morfoestructural del estado de Oaxaca, México: un enfoque de

- clasificación tipológica del relieve. *Investigaciones geográficas*. (68), 7-24. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112009000100002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000100002&lng=es&tlng=es)
- Herrera-Cabrera, B. E., Salazar-Rojas, V. M., Delgado-Alvarado, A., Campos-Contreras, J. E., Cervantes-Vargas, J. (2012). Use and conservation of *Vanilla planifolia* J. in the Totonacapan region, México. *European Journal of Environmental Sciences*, 2(1), 37-44.
- INEGI, (2010). Localidades de la República Mexicana, 2010, escala: 1:1. Obtenido de Principales resultados por localidad (ITER). Censo de Población y Vivienda 2010. Editado por Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México, D. F.
- Janečková, P., & Kindlmann, P. (2002). Key factors affecting shoot growth and flowering performance of *Dactylorhiza fuchsii*. In P. Kindlmann, J. Willems, D. Whigham, (Eds.), *Trends and Fluctuations and Underlying Mechanisms in Terrestrial Orchid Populations*. (99-113). The Netherlands: Backhuys Publishers, Leiden.
- Kadmon, R., Farber, O., & Danin, A. (2003). A systematic analysis of factors affecting the performance of climatic envelope models. *Ecological Applications*, 13(3), 853-867.
- Lehtomäki, J., & Moilanen, A. (2013). Methods and workflow for spatial conservation prioritization using Zonation. *Environmental Modelling & Software*, 47, 128-137. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.05.001>
- Lubinsky, P., Bory, S., Hernández, J. H., Kim, S. C., & Gómez-Pompa, A. (2008). Origins and Dispersal of Cultivated Vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. [Orchidaceae]) 1. *Economic botany*, 62(2), 127-138. <http://doi.org/10.1007/s12231-008-9014-y>
- Maples-Vermeersch, M. (1992). Regímenes de humedad del suelo en Hidrogeografía IV.6.2 Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México. Retrieved from [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/rehsu4mgw.xml?\\_httpcache=yes&\\_xsl=db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/rehsu4mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no)
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2010). Effects of the number of presences on reliability and stability of MARS species distribution models: the importance of regional niche variation and ecological heterogeneity. *Journal of Vegetation Science*, 21(5), 908-922. <http://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01198.x>
- Mbatudde, M., Mwanjololo, M., Kakudidi, E. K., & Dalitz, H. (2012). Modelling the potential distribution of endangered *Prunus africana* (Hook. f.) Kalkm. in East Africa. *African Journal of Ecology*, 50(4), 393-403. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2012.01327.x>
- Minoo, D., Jayakumar, V. N., Veena, S. S., Vimala, J., Basha, A., Saji, K. V., Nirmal Babu, K., Peter, K. V. (2007) Genetic variations and interrelationships in *Vanilla planifolia* and few related species as expressed by RAP D polymorphism. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55(3), 459-470. doi: 10.1007/s10722-007-9252-3.
- Papeş, M., & Gaubert, P. (2007). Modelling ecological niches from low numbers of occurrences: assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. *Diversity and Distributions*, 13(6), 890-902. <http://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00392.x>
- Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2006). Maxent software for species habitat modeling, version 3.3.1 Maxent software for species habitat modeling Version 3.2.
- Rezende, V. L., de Oliveira-Filho, A. T., Eisenlohr, P. V., Kamino, L. H. Y., & Vibrans, A. C. (2014). Restricted geographic distribution of tree species calls for urgent conservation efforts in the Subtropical Atlantic Forest. *Biodiversity and Conservation*, 1-15. <http://doi.org/10.1007/s10531-014-0721-7>
- Robbirt, K. M., Davy, A. J., Hutchings, M. J., & Roberts, D. L. (2011). Validation of biological collections as a source of phenological data for use in climate change studies: a case study with the orchid *Ophrys sphegodes*. *Journal of Ecology*, 99(1), 235-241. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01727.x>
- Sánchez, A. C., Osborne, P. E., & Haq, N. (2011). Climate change and the African baobab (*Adansonia digitata* L.): the need for better conservation strategies. *African Journal of Ecology*, 49(2), 234-245. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2011.01257.x>
- Schlüter, P. M. (2002). *RAPD variation in Vanilla planifolia Jackson (Orchidaceae) and assessment of the putative hybrid Vanilla tahitensis Moore* (Mbiochem Thesis). University of Oxford.
- Siqueira, M. F. D., & Durigan, G. (2007). Modelagem da distribuição geográfica de espécies lenhosas de cerrado no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Botânica*, 30(2), 233-243.
- Soto-Arenas, M. A., & Dressler, R. L. (2010). A revision of the Mexican and Central American species of *Vanilla Plumier ex Miller* with a characterization of their ITS region of the nuclear ribosomal DNA. *Lankesteriana*, 9(2), 85-354. [http://dx.doi.org/10.15517/lankesteriana.9\(2\).12065](http://dx.doi.org/10.15517/lankesteriana.9(2).12065)
- Soto-Arenas, M. A. (2003). *Vanilla*. In A. M. Pridgeon, P. J. Cribb, M. W. Chase, & F. N. Rasmussen (Eds). *Genera Orchidacearum, Orchidoideae* (Vol 3, Part 2, p 402.) Vanilloideae. Oxford: Oxford University Press.
- Soto-Arenas, M. A. (1999). Filogeografía y recursos genéticos de las vainillas de México. Instituto Chinoín AC. Informe Final SNIB-CONABIO, Proyecto J101.

Downloaded <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfJ101.pdf>

- Toledo, V. M. & Ordóñez M. J. (2009). Zonas ecológicas de México. Extraído de los proyectos A006 y E021: 'Diagnostico de los escenarios de la biodiversidad en México' fases 1 y 2. Escala 1:1 000 000. Centro de Ecología, UNAM. El proyecto fue financiado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México.
- Vodouhè, R., & Dansi, A. (2012). The "Bringing into Cultivation" Phase of the Plant Domestication Process and Its Contributions to *In Situ* Conservation of Genetic Resources in Benin. *The Scientific World Journal*, 176939. doi:10.1100/2012/176939
- Wan, J., Wang, C., Han, S., & Yu, J. (2014). Planning the priority protected areas of endangered orchid species in northeastern China. *Biodiversity and Conservation*, 23(6), 1395-1409. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2011.01257.x>
- Wells, T. C. E., & Cox, R. (1991). Demographic and biological studies of *Ophrys apifera*: some results from a 10 year study. *Population Ecology of Terrestrial Orchids*, 47-62.
- Zotz, G., & Schmidt, G. (2006). Population decline in the epiphytic orchid *Aspasia principissa*. *Biological Conservation*, 129(1): 82-90. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.07.022>.