



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

BIOLOGÍA EVOLUTIVA

Genética de la conservación de *Vanilla planifolia*

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

BIÓL. MELANIA ANDREA VEGA ANGELES

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: Dra. Ana Laura Wegier Briuolo
Jardín Botánico, Instituto de Biología, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dra. Mariana Benítez Keinrad
Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología, UNAM
Dr. Alejandro Casas Fernández
Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM

Cd. Mx.

Mayo, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

BIOLOGÍA EVOLUTIVA

Genética de la conservación de *Vanilla planifolia*

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

BIÓL. MELANIA ANDREA VEGA ANGELES

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: Dra. Ana Laura Wegier Briuolo
Jardín Botánico, Instituto de Biología, UNAM

COMITÉ TUTOR: Dra. Mariana Benítez Keinrad
Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología, UNAM
Dr. Alejandro Casas Fernández
Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM

MÉXICO, Cd. Mx.

Mayo, 2018

OFICIO CPCB/394/2018

Asunto: Oficio de Jurado para Examen de Grado.

Lic. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión del Subcomité por Campo de Conocimiento de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 26 de febrero de 2018, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** de la alumna **VEGA ANGELES MELANIA ANDREA** con número de cuenta **308328745** con la tesis titulada **"GENETICA DE LA CONSERVACION DE VANILLA PLANIFOLIA"**, realizada bajo la dirección de la **DRA. ANA LAURA WEGIER BRIUOLO**:

Presidente: DRA. MARÍA FERNANDA FIGUEROA DÍAZ ESCOBAR
Vocal: DR. ULISES YUNUÉN ROSAS LÓPEZ
Secretario: DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ
Suplente: DRA. MARIANA HERNÁNDEZ APOLINAR
Suplente: DRA. MARIANA BENITEZ KEINRAD

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, Cd. Mx., a 2 de mayo de 2018.


DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA
COORDINADOR DEL PROGRAMA



c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Al posgrado de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por la formación y apoyo recibido.

A CONACyT por otorgarme la beca con el número 435586 correspondiente al CVU 741282.

A la CONABIO por el financiamiento a través del proyecto “*Genética de la conservación de Vanilla planifolia*”.

Al Herbario de la UMAR Puerto Escondido;

Al Herbario de la AMO, en especial al Ing. Eric Hágsater;

Al Dr. Moisés Cortés Cruz y al INIFAP;

Al herbario de la Facultad de Ciencias de la UNAM, particularmente al Biól. César González;

A la M. en C. María de los Ángeles Aída Téllez Velasco, encargada de la colección de orquídeas del Jardín Botánico IB UNAM

por las facilidades otorgadas para el acceso y uso de sus colecciones.

Al Área de Difusión y Educación del Jardín Botánico del Instituto de Biología, UNAM por el apoyo en la difusión del proyecto a través de sus redes sociales.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

A mi tutora, la Dra. Ana Wegier, y a los miembros de mi Comité Tutor: Dr. Alejandro Casas y a la Dra. Mariana Benítez.

A los miembros del jurado y revisores de mi trabajo: Dr. Ulises Rosas, Dra. Fernanda Figueroa y Dra. Mariana Hernández.

A Miguel A. Soto.

A Ana, Alejandro y Mariana que durante mi vida como bióloga, me han seguido inspirando, que fuera de ser excelentes investigadores son excelentes personas.

A los que compartieron conmigo la aventura de descubrir a la vainilla, en especial a Jorge Ordoñez.

A los que confiaron y aportaron a este proyecto: Elidet y José de Jesús Hernández, Betza Olivera y su familia, Mariana Hernández.

A Lislí Solís y al Sr. Vidal.

A todos los que respondieron mis preguntas.

A los compañeros del laboratorio de Genética de la Conservación del Jardín Botánico.

A mis compañeros del posgrado, en especial a Carmen, Isaura, Oscar, Adriana, Cata y Daniel por hacer más amena mi estancia.

A mis amigos con los que sigo aprendiendo y disfrutando de la vida: Karen, Laura, Elidet, Gaby, Armando, Zac, Sahid, Néstor, Erick, Rebeca, José Luis, Vals, Haven y Ale T.

A mi familia: Luciano, Trevor, Vera, Rich, Mario, mi abue favorita, Olivia, Ricardo y Norma por su interés, apoyo y comentarios.

DEDICATORIA

A todos los que resguardan el conocimiento sobre la maravillosa vainilla y a los que aportan para mejorar mi análisis de las realidades...

A Rodrigo...

ÍNDICE

	Página
Introducción	1
Antecedentes del estudio de <i>Vanilla planifolia</i> en México	11
Distribución natural y ecología	11
Diversidad genética	13
Biología reproductiva y flujo génico	15
Uso y manejo	18
Objetivos	29
Hipótesis	30
Métodos	31
Resultados	37
Esquema general del desarrollo de una estrategia de conservación basada en la genética de la conservación	37
Propuesta de estrategia conservación para <i>Vanilla planifolia</i>	41
Discusión	54
Conclusiones	61
Perspectivas	62
Referencias	63
Anexo 1	78
Anexo 2	79
Anexo 3	81
Anexo 4	84

Resumen

Vainilla planifolia es una especie con centro de origen, diversidad y domesticación en México. Es de las pocas orquídeas a nivel mundial que tiene importancia económica, cultural y biológica desde la época prehispánica. Sin embargo, actualmente se encuentra enlistada en la NOM-059-SEMARNAT bajo protección especial, en la Lista Roja como especie en peligro, y se encuentra dentro del Apéndice II del CITES.

El objetivo de este trabajo fue proponer elementos fundamentales para el diseño de una estrategia de conservación de *V. planifolia* en México. Se realizó una revisión de la información disponible sobre *V. planifolia* en México. Se analizó la variación morfológica foliar a través de morfometría geométrica. Se comparó la variación entre plantas de diferentes especies del género *Vanilla*, entre individuos silvestres y domesticados, y entre sitios. Y se aplicó una encuesta a consumidores de vainilla natural mexicana cuyos resultados dieron pie a proponer un nuevo sistema de distribución a partir de redes.

Los resultados permitieron señalar los faltantes de información, dando pauta a generar nuevas investigaciones. También, muestran que las diferencias en las formas de las hojas permiten discriminar entre especies que a simple vista son similares morfológicamente. La variación presente en las hojas silvestres es significativamente diferente a la que está en las domesticadas. La variación contenida tanto en silvestres como domesticadas está influenciada por las condiciones ambientales en las que se encuentran, sin embargo, el agrupamiento resultante no es significativo. La propuesta de redes de distribución, de acuerdo con la encuesta aplicada, podría favorecer la venta de productos naturales de vainilla mexicana fomentando su cultivo. Los resultados anteriores permitieron definir tres unidades evolutivamente significativas: Puebla-Veracruz, Tabasco-Oaxaca y Chiapas-Quintana Roo-Belice; e identificar las amenazas a las que están sujetas que son: la deforestación, fragmentación del hábitat y extracción ilegal, principalmente. Debido a esto se sugiere la integración de actores relacionados con la vainilla en México en el diseño y aplicación de planes de manejo enfocados a la conservación del hábitat y monitoreo sobre la variación genética, ampliar investigación sobre los campos faltantes de información, y la modificación del sistema de distribución con la aplicación del modelo de redes de distribución.

En conclusión, se requiere ampliar el estudio sobre *V. planifolia* silvestre. Se demostró la diferencia entre la forma de las hojas de las plantas silvestres y domesticadas (señal del síndrome de domesticación). Se hace una propuesta para modificar el sistema de distribución de los productos de vainilla natural para que los productores obtengan mayores ganancias, junto con otras acciones de manejo que tienen el fin de mantener la variación genética del conjunto de especie silvestre a domesticado de *V. planifolia*.

Abstract

Vanilla planifolia is a species whose center of origin, diversity and domestication is Mexico. It has both economic and cultural relevance that dates from pre-Hispanic times, along with its great biological importance. Yet, it is cataloged in the NOM-059-SEMARNAT as a specie under special protection, in the Red List as an endangered species, and in the Appendix II of CITES.

The objective of this work was to propose fundamental elements for the design of conservation strategy of *V. planifolia*. It has been made a review on the available information about *V. planifolia* in Mexico. Moreover, I present a leaf geometric morphometric analysis, between wild and domesticated individuals, and between sites. And a survey was applied to consumers of natural Mexican vanilla whose resulted gave rise to propose a new distribution system.

The review had enable the identification of missing information, and paves the way for future research. The results about geometric morphometric showed that the domesticated plants are significantly different from the wild plants regarding leaf shape variation. In the same way, the morphometric study allows to discriminate between *Vanilla* species. The proposed distribution networks, according to the survey applied, could favor the sale of natural products of Mexican vanilla promoting their cultivation. The previous results allowed to define three evolutionary significant units: Puebla-Veracruz, Tabasco-Oaxaca and Chiapas-Quintana Roo-Belize. The main threats to which these units are subject are deforestation, habitat fragmentation and illegal extraction. For these reasons, the inclusion of social actors related to vanilla in Mexico, creation of management plans focused on habitat conservation, the broadening of research on the missing fields of information, modification of the productive system with the application of the distribution network model, as well as monitoring of genetic variation is suggested.

In conclusion, it is necessary to expand the study on wild *V. planifolia*. The difference between the shape of the leaves of wild and domesticated plants (sign of the domestication syndrome), was demonstrated. A proposal is made to modify the distribution system of natural vanilla products so that producers obtain higher profits, along with other management actions that aim to maintain the genetic variation of the whole specie, in the complex from wild to domesticated *V. planifolia*.

INTRODUCCIÓN

Vanilla planifolia es una especie que pertenece a la familia Orchidaceae, subfamilia Vanilloideae, tribu Vanilleae, sub-tribu Vanillinae, y dentro del género *Vanilla* es la especie con mayor importancia comercial dado lo fragante de sus frutos (Gigant *et al.* 2011; Cibrián 2000; Mino *et al.* 2006; Schlüter *et al.* 2007; Felix 2007; Lubinsky *et al.* 2008; Adame-García *et al.* 2015a). México es su centro de origen, domesticación y diversidad genética¹ (Soto 1999; Felix 2007; Lubinsky 2008; Adame 2015), por lo que se puede estudiar como un complejo de especie silvestre-a-domesticado.

La falta de información, el número reducido de individuos en las poblaciones (2-10 por Km²; Soto 1999) y el constante deterioro del hábitat (principalmente) han propiciado que *Vanilla planifolia* se encuentre catalogada como una especie bajo protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010, en peligro de acuerdo con la evaluación realizada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés; Vega *et al.* 2017) y en el Apéndice II de la Convención Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). Lo escaso de la información disponible sobre *V. planifolia* en su distribución natural se debe a que:

- El número reducido de individuos y la distancia entre ellos, dificulta delimitar las poblaciones.

¹ Los conceptos de centros de origen, domesticación y diversidad genética han sido definidos por expertos de todo el mundo en el Taller *Marco conceptual de los centros de origen Mesoamericanos* (Wegier *et al.* 2012; Alavez y Wegier 2016): *Centro de Origen filogenético*: el área donde la especie progenitora silvestre se originó, la cual eventualmente fue domesticada; *Centro de Origen de los parientes silvestres*: la distribución geográfica y ecológica actual de dicho progenitor silvestre; *Centro de diversidad genética de los parientes silvestres*: área de diversificación contenida dentro de la distribución de la especie progenitora, previa a la domesticación; *Centro de domesticación*: el área donde ocurre el proceso de domesticación; *Centro de diversidad genética del cultivo*: el área donde las plantas domesticadas adquieren diversidad genotípica y fenotípica en cultivo, posterior a su domesticación y como resultado de los procesos continuos de domesticación.

- Vegetativamente algunas especies de *Vanilla* son muy similares, tienen distribución simpátrica y la flor no se puede usar para diferenciarlas debido a que el evento de floración puede o no suceder cada año.
- Al ser plantas trepadoras, las vainillas pueden perder las hojas en la base del tallo dificultando los avistamientos de los individuos (sus tallos se confunden de otras especies) y se dificulta diferenciar un individuo vegetativo de uno reproductivo al ocurrir la polinización a alturas de ~10 metros.
- Las dificultades de acceder a las poblaciones silvestres han llevado a que se describan aspectos biológicos de *V. planifolia* a partir de estudios realizados en plantaciones (principalmente en Papantla, Ver.), decisión que se traduce en un sesgo en la información.

Por lo tanto, en las últimas décadas se ha fomentado el estudio de la especie y la aplicación de estrategias de conservación a través de diversos proyectos: *Centros de Origen y Diversidad Genética* (CONABIO), *Agrobiodiversidad para la sustentabilidad ecológica y cultural* (CICY), *Red Vainilla* (SINAREFI y Sistema Producto Vainilla) y *Macroproyecto de investigación, desarrollo e innovación tecnológica: "Estrategia de investigación aplicada para el fortalecimiento, innovación y competitividad de la producción de vainilla en México y Sistemas Productivos Sostenibles y Biodiversidad"*. En estos proyectos se plantea como prioritaria la conservación *ex situ*. También, se han propuesto estrategias de conservación a partir de la valoración del recurso genético por los productores, resaltando la importancia de conservar las plantaciones y los saberes que contiene el establecerlas (Salazar 2011).

Sin embargo, la pérdida acelerada de la biodiversidad y las implicaciones que puede tener en las plantas cultivadas, como falta de material para realizar mejoras genéticas o reducida variación genética que impida responder positivamente a enfermedades o a plagas

(Govindaraj et al. 2015), da indicios de que considerar la diversidad genética² contenida en *Vanilla planifolia* podría mejorar el diseño de las estrategias de conservación. De este modo, se conserva el proceso evolutivo de la especie y se puede caracterizar el material biológico que se resguarda *ex situ* (en bancos de germoplasma) y en las plantaciones. Ante esta premisa, la genética de la conservación (GC) resulta ser la disciplina adecuada, ya que tiene el objetivo de proteger la diversidad biológica mediante el estudio de los procesos evolutivos que la mantienen (Moritz 2002).

La metodología de la genética de la conservación está basada en el análisis de la estructura genética de la especie que se pretende conservar y sus múltiples relaciones que tiene, ya sean ecológicas o con los grupos sociales que las aprovechan. Respecto al último punto, en la GC hay un hueco metodológico porque únicamente se consideran las poblaciones silvestres omitiendo que hay variación genética en las plantas domesticadas que mantiene y modifica el humano y que, si se encuentran cerca de las poblaciones silvestres, el flujo génico entre ambos tipos de organismos influirá en la diversidad genética del otro. Este hueco se puede completar apoyándose en la metodología de biología de la conservación, específicamente la planificación sistemática (Kukkala y Moilanen 2013) o el monitoreo adaptativo que planteó Gibbs (2008). Generalmente, estos métodos dan herramientas para la identificación adecuada de los problemas asociados a la conservación, que van desde las amenazas directas a las poblaciones de la especie, hasta los que puede haber entre los tomadores de decisiones, y para el ordenamiento de ideas y acciones que permitan solucionar cada problema con base en metas y constantes evaluaciones de los alcances. Además, el Programa de Conservación de Especies en Riesgo, que define las actividades específicas para la conservación en el Programa de Acción para la Conservación de Especies (PACE)³ y el Método de Evaluación de Riesgo de Extinción (MER) que surge de la NOM-059-

2 La diversidad genética es la frecuencia y variación de genes y/o genomas, esto es igual a la variación en el contenido genético entre individuos de una población y entre las poblaciones de una especie (Glowka et al. 1994).

3 Consultado el 19 de noviembre de 2017 en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/espPrioritaria.html>

SEMARNAT-2010 (Sánchez *et al.* 2007), también marcan aspectos importantes a evaluar cuando se plantean estrategias de conservación. La conjunción de estos métodos sugiere que, el proceso del diseño de una estrategia de conservación debe cubrir los siguientes rubros: recopilación de información sobre la especie, antecedente sobre su conservación, identificación de amenazas y su diagnóstico, objetivos concretos de la estrategia y propuesta de actividades de manejo⁴.

En el caso de la GC, las acciones de manejo estarán enfocadas en tratar de disminuir los efectos causados por endogamia, fomentando el aumento de la diversidad genética y considerando que las causas por las que puede reducirse incluyen factores biológicos como el flujo génico, la historia de vida de la especie, sus interacciones con otras especies; y factores antropogénicos como la fragmentación del hábitat, las prácticas de manejo agrícolas (en el caso de los cultivos) y los efectos del manejo con fines de conservación o investigación (Falk y Holsinger 1991; Leimu *et al.* 2010; Cruse-Sanders y Casas 2017). Para conocer la diversidad genética de una especie, la GC hace uso de métodos como los experimentos con especies modelo, simulaciones a través de modelos matemáticos, comparaciones entre poblaciones bajo la teoría de Islas, análisis de caracteres cuantitativos morfológicos, uso de la teoría de genética de poblaciones y la información que aportan los métodos moleculares. Estos últimos representan una ventaja respecto a otras disciplinas, ya que han abierto un panorama más amplio y detallado que resuelve en menos tiempo dudas básicas como las inconsistencias taxonómicas.

El conocimiento de la diversidad genética, actual o histórica permite que se definan unidades de conservación sobre las cuales se implementarán las acciones de manejo

⁴ Manejo se puede definir como las prácticas y decisiones tomadas deliberadamente por los humanos con el fin de aprovechar, recuperar o conservar elementos, ecosistemas o procesos, para satisfacer las necesidades humanas, con propósitos culturales o por cualquier meta en general (Blancas *et al.* 2016)

tomando en cuenta las diferencias adaptativas y el flujo génico entre las poblaciones (Manel *et al.* 2003). Estrictamente, existen diversas definiciones para las unidades de conservación, como las que se enlistan a continuación:

- *Unidad de conservación*: Unidades evolutivamente significativas, unidades de manejo o cualquier unidad geográfica que los investigadores consideren importante conservar (Manel *et al.* 2003).
- *Unidades de manejo*: Grupos de poblaciones entre las cuales el grado de conectividad es tan bajo que cada grupo debe ser monitoreado y manejado por separado (Taylor y Dizon 1999).
- *Unidades Evolutivamente Significativas*: Una colección de individuos o poblaciones de una especie con una historia evolutiva y genética única, y en la cual se necesita una protección por separado para cada grupo (Manel *et al.* 2003).
- *Unidades Evolutivamente Significativas*: Grupos recíprocamente monofiléticos para los alelos de mtADN y que muestran una divergencia significativa de las frecuencias alélicas de *loci* nucleares (Moritz 1994).

El flujo génico es quizá el factor más importante para definir las Unidades Evolutivamente Significativas, ya que, si existe un elevado flujo entre poblaciones, éstas evolucionarán a la par y, por lo tanto, el manejo debe realizarse de manera similar por el alto grado de influencia entre una y otra. Si, por el contrario, el flujo es bajo, entonces cada población comenzará a evolucionar de manera casi independiente y las unidades de manejo serán diferentes (Slatkin 1985). Esta consideración también es muy importante cuando se abordan casos de especies que han sido domesticadas, en cualquier etapa de domesticación, incluyendo las modificaciones genéticas (Meyer y Purugganan 2013⁵), las

5 Las etapas son: inicio de la domesticación, aumento en las frecuencias de los alelos deseados (*in situ*), formación de cultivos que son adaptados a nuevas condiciones ambientales y cruces deliberadas.

cuales pueden mantener flujo génico con sus parientes silvestres dentro de sus centros de origen, domesticación y diversidad, formando así un complejo silvestre a domesticado.

Aunque, en primera instancia, en la domesticación hay una reducción de variación genética debido a que se selecciona una pequeña muestra de individuos de las poblaciones silvestres (Piñero *et al.* 2008; Bautista *et al.* 2012), las condiciones ecológicas, productivas y culturales en las que se sigue desarrollando la agricultura, propician que la diversidad genética de las plantas domesticadas, al pasar el tiempo, pueda ser ampliada y constantemente mejorada⁶ (Colunga-GM 1990; Buckler IV y Thornsberry 2001; Ocampo *et al.* 2015). En este punto, es importante aclarar que existen diversos sistemas agrícolas y lo que Darwin (1859) denominó selección (domesticación) consciente e inconsciente. Todos estos estados y procesos tendrán diferentes efectos sobre la diversidad genética; por ejemplo, en la agricultura industrializada, uno de los objetivos es homogenizar genéticamente los cultivos para obtener el mayor rendimiento (Zohary 2004; Bautista *et al.* 2012; Meyer y Purugganan 2013), mientras que, en la agricultura tradicional, frecuentemente la gente maneja mayor diversidad de variedades.

El proceso de domesticación implica ciertas prácticas de manejo que tienen efectos sobre los fenotipos de los individuos. Un fenotipo es la expresión del genotipo bajo ciertas condiciones ambientales (Futuyma 2013). Por lo tanto, al analizar la variación morfológica podemos tener un acercamiento a la diversidad genética y, al mismo tiempo, observar su relación con las variables bióticas y abióticas. En concreto, para el caso de *Vanilla planifolia*, analizar la variación morfológica resulta útil para la identificación taxonómica y para

⁶ La mejora genética se refiere a obtener variedades, a través de la selección artificial, que se adapten a las condiciones locales con el fin de aumentar la sobrevivencia y producción de una especie, e incluye tanto a los organismos cultivados como a los organismos silvestres relacionados con ellos (Cubero 2013).

describir el síndrome de domesticación⁷. Estos análisis se pueden realizar a través de la morfometría. La morfometría es el estudio de la covarianza de las formas biológicas, aunque su objetivo no son las formas en sí, sino sus causas y efectos (Bookstein 1997).

En plantas, las hojas son los órganos con más variabilidad de formas, por lo que son empleadas como carácter principal de clasificación y son adecuadas para evaluar el efecto de las alteraciones ambientales sobre los organismos y/o poblaciones (Gifford y Foster 1989; Mauseth 1988). Sin embargo, por su alta plasticidad fenotípica (que definiremos como el rango de fenotipos que puede expresar un solo genotipo en función a las condiciones ambientales; Nicotra et al. 2010) puede haber formas aparentemente compartidas entre especies o durante las fases de desarrollo de un individuo, lo que podría provocar resultados errados en las investigaciones. Con el fin de proporcionar un análisis más detallado que resuelva este problema, se desarrolló la morfometría geométrica, que se basa en la comparación numérica de formas y tamaños a través del uso de herramientas computacionales y estadísticos multivariados (Marcus 1990).

La morfometría geométrica utiliza como método de medición de la forma⁸, coordenadas cartesianas que se analizan con programas computacionales específicos, a diferencia de la *morfometría clásica* que emplea distancias lineales o ángulos entre dos puntos anatómicos (Fink 1990; Mitteroecker y Gunz 2009). El avance en las ciencias de la computación y en la estadística, ha permitido que la morfometría geométrica tenga mayor resolución para

7 El proceso de domesticación es un proceso evolutivo continuo, durante el cual, a partir de una muestra de individuos silvestres se conforman los cultivos (Gepts y Papa 2002). Es entonces cuando comienza la selección artificial, ya que, en cada generación o ciclo productivo se elegirán individuos con características del interés de cada comunidad o productor, con el fin de satisfacer las necesidades alimentarias, de vestimenta o con fines culturales (Innan y Kim 2004; Doebley et al. 2006). Esa característica de interés se modificará continuamente, provocando que el genotipo y fenotipo de los individuos cultivados se vaya diferenciando del fenotipo silvestre. A las diferencias entre rasgos de ambos fenotipos (cultivado y silvestre) se le denomina síndrome de domesticación (Doebley et al. 2006; Brown et al. 2009).

8 La forma, en morfometría geométrica, es definida como *toda la información geométrica que resulta después de filtrar los efectos de posición, escala y rotación de un objeto* (Zeldrich et al. 2004).

identificar diferencias entre especies o poblaciones, que a simple vista o usando herramientas como regla y/o vernier, es imposible detectar. Además, al manejar la configuración de marcas (landmarks) que se colocan sobre los especímenes se analiza la forma por completo y no por fracciones, lo que proporciona más información y reduce la variación ocasionada por el tamaño, rotación y la posición (Slice 2007; Mitteroecker y Gunz 2009; Adams et al. 2013).

Los landmarks son sitios anatómica o geoméricamente homólogos entre estructuras, deben ser elegidos adecuadamente ya que se traducen en las variables que se analizarán con estadísticos (Bookstein 1991; Zeldrich et al. 2004). Los criterios para elegir cuántos landmarks se emplearán y dónde, dependen de la pregunta de estudio, de la morfología de los especímenes y del número de muestra. Idealmente, los landmarks deben ser homólogos anatómicamente, fácilmente ubicables, repetibles, no deben alterar la topología de otros landmarks, tiene que cubrir adecuadamente la morfología del espécimen y se deben encontrar sobre el mismo plano dimensional. Sin embargo, hay morfologías que incluyen curvas sobre las que es ambiguo el sitio en el que se colocará un landmark para que sea repetible, por lo que se emplean semilandmarks.

Los semilandmarks fueron definidos por Bookstein (1997) como los puntos que son colocados sobre una curva usando algún criterio para definir su posición a lo largo de la misma. La selección de semilandmarks puede ser mediante la colocación de segmentos lineales continuos entre marcas usando plantillas como peines y abanicos, o establecer segmentos a través de ángulos. Ambos métodos deben contar con los semilandmarks necesarios para describir la curva. La configuración de semilandmarks y landmarks permite que se realice la superposición de todas las formas muestreadas para así poder medir la variación entre ellas.

Hay dos métodos principales de superposición, por coordenadas de Bookstein y por Procrustes (por cuadrados mínimos o por medianas repetidas); en el primero se emplean dos landmarks como referencia para calibrar la superposición y en el segundo, se consideran todos los landmarks (Zeldrich et al. 2004). En general, la superposición se realiza en tres pasos, que consisten en colocar las formas en la misma escala, rotarlas y ubicarlas, tratando de reducir el efecto de tamaño y posición (Zeldrich et al. 2004; Klingenberg 2010). Para comprobar si las diferencias entre las configuraciones de landmarks son significativas o no, se hace uso de los análisis estadísticos. Éstos se van a elegir a partir de la pregunta de investigación, por ejemplo, si lo que se investiga es la variación entre dos o más grupos se sugiere que se realice un análisis discriminante o un análisis canónico de variables, este último permite ver que tan alejados están los grupos en el espacio multivariado maximizando la variación y se emplea un Análisis Multivariante de la Varianza (MANOVA, por sus siglas en inglés; Rohlf 1971) para comprobar si esta variación sea significativa o no. Determinadas las diferencias entre los grupos, la variación morfológica, en conjunto con la variación genética posibilita elegir las unidades de conservación y las acciones de manejo a implementar. En el caso de un complejo de especie silvestre-a-domesticados, incluir los parientes domesticados en las unidades de conservación es necesario ya que ciertas técnicas de manejo agrícola pueden mantener importante variación genética de la especie, por lo que favorecer rasgos de los sistemas productivos y de comercialización se convierte en un elemento importante en el diseño de una estrategia de conservación.

El Convenio de Diversidad Biológica (CDB) establece que la utilización de dicha diversidad debe ser sustentable y que cada Parte Contratante debe adoptar medidas económicas y sociales que actúen como incentivos para la conservación y utilización sustentable de recursos (CDB 1992). En este sentido, el actual modelo de la cadena de valor que descompone a una empresa en sus actividades estratégicamente relevantes para comprender el comportamiento de los costes e identificar las posibles fuentes de actividades generadoras de valor (Porter 2009), está dirigido a pequeños productores que

tienen, ante la Secretaría de Hacienda, el estatus de personas morales legalmente constituidas, y hacia empresas privadas (en México). Este modelo, deja de lado a los pequeños productores⁹ pertenecientes a la agricultura familiar y que son los que regularmente mantienen sistemas productivos tradicionales de bajo impacto ambiental y propician una alta diversidad genética de las plantaciones (Salazar 2011; Ramos-Castellá et al. 2016).

En Latinoamérica ha habido algunas propuestas para subsanar las deficiencias del modelo de cadena de valor a través de redes de distribución, que son consideradas como un espacio económico en el que se intercambian bienes tangibles e intangibles, esto último se refiere al conocimiento que fluye a través de los componentes de la red, suponiendo que mientras más compleja sea una red habrá mayor integración del conocimiento, ya que hay mayor conexión de nodos (Nonaka et al. 2000). Algunas de las redes de distribución que se han implementado a nivel estatal y regional son: la Red Mercal, Pdval y Abastos Bicentenario¹⁰, Programa Nacional de Alimentación Escolar, Red Nacional de Desarrollo Rural Sustentable y la Red de Alternativas Sustentables Agropecuarias (RASA; Gerritsen et al. 2015).

En las primeras dos, las instituciones con recursos estatales adquieren la producción de pequeños agricultores y se encargan de distribuirlos, principalmente en comedores comunitarios. La tercera, es una red cuyo objetivo es el intercambio de conocimientos entre los productores; sin embargo, hasta ahora ha habido varias críticas puesto que no hay un seguimiento a los productores y a la difusión de los productos (Ramírez y Aránguiz 2015;

9 Debido a que, tanto el concepto de pequeño productor y campesino tiene diferentes definiciones dependiendo del contexto y tomando como base el texto "*Introducción. Los pequeños productores agrícolas en México*" de Macías (2013), en este trabajo se usará "pequeño productor" como sinónimo de campesino entendiendo a este como el que puede decidir sobre la forma en que va a trabajar su tierra, se sustenta en el trabajo del productor y su familia y recurre en la menor medida posible a la contratación.

10 Consultado en <http://www.abastosbicentenario.gob.ve/index.php/noticias/523-gran-abasto-bicentenario-charallave-distribuir-a-mercal-y-pdval> el 05/11/15

Santos y de Gortari 2016). La RASA conjuntó a campesinos, profesionistas y consumidores de Jalisco, en torno a la formación, producción y comercialización de diversos alimentos (Gerritsen et al. 2015). Este resulta ser un caso exitoso ya que ha funcionado desde 1999, actualmente está conformada por 39 comunidades de 23 municipios de los 125 que conforman Jalisco, todos los campesinos que integran la red han modificado sus sistemas productivos a sistemas sustentables y ellos mismos se han encargado de compartir el conocimiento con otros campesinos dentro y fuera de la red. Por lo que debe ser ejemplar para otros sistemas de producción, especialmente cuando se pretenden conservar recursos genéticos a través de la participación de diversos actores sociales¹¹.

ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE *VANILLA PLANIFOLIA* EN MÉXICO

Distribución natural y ecología

Vanilla planifolia se encuentra con mayor frecuencia en las orillas de ríos y arroyos dentro de la selva alta perennifolia, la selva inundable y la selva mediana subperennifolia (Gómez 2012; Noguera y Cetzal 2014; Hágsater *et al.* 2015), en sitios que presentan temperaturas mayores a 20°C, lluvias abundantes (precipitación promedio 2000 mm anuales) y suelo con buen drenaje, compuesto por roca volcánica y caliza (Challenger y Soberón 2008). La distribución exacta de la especie y la delimitación de las poblaciones no es conocida con suficiencia, por lo que se han desarrollado modelos de nicho ecológico y nuevas exploraciones en lugares muy específicos, sin abarcar toda la posible distribución (Hernández-Ruíz *et al.* 2015). Las colectas y registros recientes señalan la presencia de *V. planifolia* silvestre en los estados Hidalgo, San Luis Potosí (SLP), Puebla, Guerrero (Maceda 2015), Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Quintana Roo, Yucatán y Tabasco, en la República

11 Los actores sociales son las unidades reales de acción en la sociedad; tomadores y ejecutores de decisiones que inciden en la realidad social. Son parte de la base social, son definidos por ella, pero actúan como individuos o colectivos que, además, están sometidos a otras condiciones (culturales, políticas, territoriales; Pérez 1995).

Mexicana (Colunga-GM 1990; Cibrián 2000, Soto y Cribb 2010; Noguera y Cetzal 2014; Villanueva *et al.* 2017).

La distribución natural no está restringida a México; en Colombia y Costa Rica existen registros recientes de individuos silvestres (Álvarez 2012; Kolanowska, 2014; Gamboa-Gaitán 2014; Azofeifa *et al.* 2014). Los registros de herbario incluyen datos sobre ejemplares de Puerto Rico, Jamaica, Guadalupe, República Dominicana, Martinica, Granada, las Islas Vírgenes y Brasil; sin embargo, no se puede asegurar que sea trate de individuos silvestres. Tal es el caso de Puerto Rico, en donde está documentado que *Vanilla planifolia* fue introducida en Estados Unidos entre los años 1930-1940 (Childers y Cibes 1948) y en Jamaica durante la segunda mitad del siglo XVIII (Ecott 2004). Por otro lado, en Cuba se enlistó a *V. planifolia* como una especie potencialmente invasora (Pérez 2013; Oviedo y González-Oliva 2015).

La similitud morfológica que existe entre las especies *V. planifolia*, *V. pompona*, *V. odorata*, *V. insignis* y *V. cribbiana*, así como los múltiples nombres (mansa, fina, oreja de burro, de tarro, mestiza, acamaya, colibrí, variegata, rajada, albomarginata, cimarrona, princesa, totonaku, espada, verde, negra y amarilla) y los métodos para caracterizar a las variedades (basados en caracteres subjetivos como los tonos de verde del tallo) contribuyen al desconocimiento de la distribución de *V. planifolia* (Castillo y Engleman 1993; Gamboa-Gaitán, 2014; UPOV, 2013; Ramos-Castellá *et al.* 2016). Esto se vuelve más complejo cuando aún se hace uso de nombres que están determinados como sinonimias en The Plant List¹² a nivel de especie (ej. El uso de *Vanilla fragrans* sinónimo de *V. planifolia* en Longares 2006).

Debido a que las vainillas son orquídeas hemiepífitas trepadoras, requieren de un árbol de soporte. Las especies en las que se ha observado su crecimiento son: *Bernoullia flammea*,

12 The plant List consultada en <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/search?q=Vanilla+planifolia> el 4 de julio de 2017.

Pseudobombax ellipticum, *Dendropanax arboreus*, *Brusera simaruba*, *Gaussia gomezpopae*, *Cedrella mexicana*, *Robinsonella spp.*, *Ficus tecolutensis*, *Dracaena americana*, *Trichospermum mexicanum*, *Pouteria sapota*, *Liquidambar*, *Clethra*, *Podocarpus* y *Quercus spp.* (Soto 1999). Esto significa que no posee una especificidad en el tutor, sin embargo, tienen en común que se trata de árboles de gran talla.

Es difícil de estimar el número de individuos que habitan en cada población, ya que fragmentos del mismo individuo pueden considerarse como individuos diferentes, pero corresponden al mismo genotipo, aunque se sabe que la densidad de individuos varía por región: 1 individuo cada 2-10 km² en Chimalapa, Oax., 1 en 1-4 km² en San Agustín, Oax. (Soto 1999) y 2-10 individuos por km² en Yucatán (Villanueva *et al.* 2017).

Con respecto a las interacciones bióticas, Soto (1999) indicó que los polinizadores de *V. planifolia* son las abejas euglosinas (machos y hembras), específicamente *Euglossa viridissima*. Este dato fue contrastado con la información proporcionada por habitantes de Jicaltepec, Ver. y los de la Sierra Noroeste de Puebla, quienes señalan que son las abejas meliponas las encargadas de la polinización (Pointeau 2011; García 2013). Ambos señalamientos son observaciones personales no comprobadas por un estudio formal.

La convivencia de *Vanilla planifolia* con hongos merece especial atención, principalmente hongos del género *Ceratobasidium* y *Phomopsis*, pues éstos son los encargados de facilitar la absorción de nutrientes, además de evitar enfermedades. Debido a que no se encontró alguna publicación dedicada a la microbiota de vainillas silvestres en México, estas últimas aseveraciones se presuponen a partir del estudio de otras orquídeas y de estudios realizados en otros países (Ordoñez *et al.* 2012; Álvarez 2012).

Diversidad genética

Haciendo uso de distintos marcadores moleculares, se ha analizado la variación genética de algunas plantas de *V. planifolia* de México (cultivadas y silvestres). Actualmente, el germoplasma de la región del Totonacapan (norte de Veracruz) es considerado como uno de los más importantes por la calidad que confiere a la vainilla que se produce en esta zona (Salazar 2011), a pesar de que resulta ser el más homogéneo genéticamente (Ramos-Castellá *et al.* 2016).

En el año 2000, Cibrián analizó mediante isoenzimas la variación genética de plantas silvestres de vainilla de Oaxaca, Chiapas, San Luis Potosí (SLP) y Tabasco, así mismo de las plantas cultivadas en Veracruz. Sus resultados arrojaron valores bajos de heterocigosidad esperada: Veracruz entre 0- 0.208 (13 genotipos), en Oaxaca de 1.1 a 2.0 (19 genotipos), 1.6 para Tabasco y 1.0 en SLP y Chiapas (2 genotipos). Esto lo atribuye a altos niveles de endogamia dentro de los dos grupos que logró distinguir: las plantas del sur (Oaxaca y Tabasco) y las del Norte (Veracruz); es decir, las plantas silvestres son diferentes a las cultivadas. La separación entre el grupo del norte y del sur fue corroborada mediante el uso de *Random amplified polymorphic DNA* (RAPD) por Schlüter *et al.* (2007), en un estudio que incluyó muestras de Costa Rica (que difieren de las muestras mexicanas). Lubinsky *et al.* (2008), muestran en un fenograma la separación entre plantas cultivadas, aunque dicha diferencia no es significativa. Lo mismo sucedió al utilizar *Inter Simple Sequence Repeat* (ISSR) como marcadores; las plantas de Oaxaca (silvestres) tienen 14.94% de polimorfismos y las de Papantla (plantas cultivadas) 8.05% (Ramos-Castellá *et al.* 2016). Por lo tanto, se ha demostrado que: a) en las plantas silvestres existe mayor variación genética que en las cultivadas, b) que las plantas cultivadas son diferentes genéticamente a las silvestres y c) las plantas que se encuentran en Costa Rica son diferentes a las que están en México.

También se ha analizado la variación genética de forma indirecta, a través de caracteres morfológicos. Maceda (2015) encontró cinco morfotipos entre las vainillas de la Huasteca Hidalguense basado en la morfología del labelo (pétalo modificado característico de las

flores de las orquídeas). Salazar-Rojas *et al.* (2010) describió seis quimiotipos definidos por los componentes aromáticos.

Aunque estos caracteres morfológicos y fisiológicos han resultado informativos, la variación presente en ellos puede deberse a la influencia del ambiente en el que se desarrolla el individuo (Nicotra *et al.* 2010). Es por esto por lo que Soto (2009) y Villanueva *et al.* (2017) sugirieron que el método más recomendable para identificar diferencias entre las especies de vainilla y entre las plantas silvestres y cultivadas es por medio del uso de técnicas moleculares, principalmente por medio de ISSR y de secuencias de *Internal Transcribed Spacer* (ITS) de los genes ribosomales; en particular, indica que el gen GapC4 es un gen informativo y útil para identificar clones.

Por otro lado, a nivel interespecífico se ha analizado la diferencia genética para determinar la filogenia del género. *V. phaeantha* resulta ser la especie hermana de *V. planifolia* dentro del clado de las vainillas con distribución natural en México a través del uso de ITS (marcador que muestra la suficiente variación genética para separar y mostrar las relaciones entre especies de *Vanilla*; Soto 1999). Además, estos estudios han arrojado datos de la existencia de hibridación natural entre especies del género *Vanilla* (Mino *et al.* 2006; Verma *et al.* 2009), tal es el caso de *Vanilla claviculata* y *V. barbellata* demostrado a través del uso de aloenzimas (Rostgaard 2008).

Biología reproductiva y flujo génico

Comparado con la información disponible sobre los temas anteriores, la biología reproductiva de *Vanilla planifolia* resulta un campo menos explorado; y de lo poco que existe se ha reportado lo siguiente:

Flores y polinización

Cada planta produce entre 10-20 inflorescencias que pueden desarrollar de 15 a 20 flores. Las flores de *V. planifolia* son efímeras, hermafroditas, de color pálido de aproximadamente 7.5 cm de largo, con labelo en tonalidades blancas y callo prominente (Soto y Cribb 2010). La floración es asincrónica entre las flores de la inflorescencia, ocurre alrededor de los tres años de vida del individuo, durante la época de secas (marzo-mayo) y permanece abierta de 5-6 horas. Soto (1999) indica que la flor se mantiene abierta de las 7:00 a las 15:00 horas.

V. planifolia se puede reproducir tanto de forma sexual como asexual. Los polinizadores reportados y probables involucrados en la reproducción sexual son las abejas euglosinas y meliponas (Soto 1999; Pointeau 2011; García 2013). Hernández (1997) describe que al menos 6% de las plantas cultivadas que estudió se autopolinizaron, lo que da indicios de que éste puede ser un sistema de reproducción de igual importancia que la reproducción vegetativa (Soto y Cribb 2010). Esto podría suceder en las plantas silvestres, pero es necesario hacer observaciones y experimentos sobre el tema.

Los frutos y sus dispersores.

Sus frutos son redondeados, alargados y pequeños en comparación con otras especies del género *Vanilla*. Éstos crecen entre los primeros 45 días después de la polinización (Soto y Cribb 2010) y su producción es escasa 1 por cada 100-1000 flores (Soto 1999). Las semillas son grandes en comparación con otras orquídeas (0.3-0.67 mm de largo y 0.24-0.5 mm de ancho). Son de forma ovalada y testa dura, estas características sugieren que los frutos deben ser digeridos por algún animal para que la semilla pueda germinar; se ha sugerido que los principales dispersores podrían ser aves (Cameron *et al.* 2003). Soto (1999) también sugiere que los murciélagos podrían ser los dispersores debido a que los frutos son fragantes.

Flujo génico

Aunque Villanueva y colaboradores (2017) no hacen un análisis de flujo génico en una de las figuras publicadas de su trabajo (Figura 1) se puede observar que los individuos analizados del sur y centro de Quintana Roo tienen genotipos diferentes, aunque existe el flujo génico entre ellos, que es representado por la combinación de colores en las barras que representan a cada individuo (Figura 1). Esta mezcla de colores puede estar representando flujo y polimorfismo ancestral por lo que se requieren mayor evidencia que complemente este estudio para asegurar el flujo génico reciente.

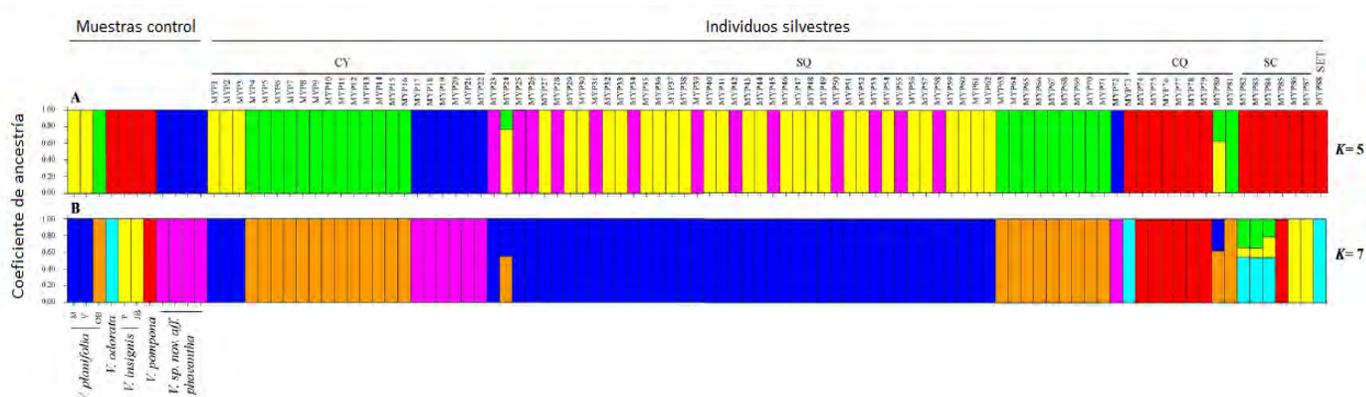


Figura 1. Asignación de individuos silvestres a cada especie identificada usando ISSR como marcador molecular (análisis obtenido con Structure 2.3.1). CY=Centro de Yucatán, SQ=Sur de Quintana Roo, CQ=Centro de Quintana Roo, SC=Sur de Campeche y SET=Sureste de Tabasco. Cada color representa un genotipo diferente. A y B representan las asignaciones usando K=5 y 7, respectivamente. Los primeros tres individuos corresponden a *V. planifolia*, el siguiente a *V. odorata*, el quinto y sexto bloque son individuos de *V. insignis*, el siguiente individuo es *V. pompona*, los siguientes cuatro son individuos afines a *V. phaeantha* (de izquierda a derecha) Tomado y modificado de Villanueva et al. 2017.

En 1999, Soto reportó el flujo génico entre las plantas que estudió de Veracruz y las de Oaxaca a través del cálculo del F_{st} ($F_{st} = (H_e - H_o) / H_e$, F_{st} = índice de fijación que mide la variación de las frecuencias alélicas entre poblaciones y, por lo tanto, la diferencia genética entre ellas y representa un método indirecto de medir flujo génico) que tuvo un valor considerable de 0.364; para este estudio se usaron los genes *Adh*, *CAM* y *GapC4*. En el mismo trabajo, se realizó una prueba de Mantel que muestra la relación positiva entre la

distancia genética y la distancia geográfica ($r=0.3003$), resultado que se puede interpretar como aislamiento por distancia.

Relaciones filogenéticas entre poblaciones silvestres y domesticadas

Con el fin de resolver el parentesco entre plantas silvestres y domesticadas, se han publicado dos filogenias. La primera fue publicada por Soto (1999), es resultado de un análisis de UPGMA (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Averages) utilizando las distancias genéticas de Nei, en el que se incluyeron las secuencias de los genes Adh, CAM y GapC4. Los individuos que se incluyeron son domesticados de Veracruz y Oaxaca, y silvestres de Veracruz, Oaxaca y Tabasco. El dendograma resultante se muestra en la Figura 2 y se puede observar que no hay una estructura definida y que hay tres agrupamientos: Veracruz-domesticadas, Oaxaca-silvestres, Tabasco-silvestres y Oaxaca-domesticadas.

La segunda filogenia se hizo a partir de la variación en AFLP obtenidos de plantas silvestres y domesticadas de México (Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Quintana Roo) y Centro América (Belice y Guatemala; Lubinsky et al. 2008). En la Figura 3 podemos observar el árbol resultante de un análisis de Neighbor Joining en el que hay una clara separación entre individuos silvestres y domesticados. Los organismos silvestres más emparentados con los domesticados son de Oaxaca y Ecuador. A partir del clado de los silvestres se pueden definir tres agrupamientos: Oaxaca- Ecuador, Chiapas-Quintana Roo-Veracruz-Guatemala, Belice-Oaxaca, aunque, como en la primera filogenia, no hay una estructura clara. El clado de las plantas domesticadas muestra relaciones más estrechas en comparación a las que hay en el clado de las silvestres.

Uso y manejo

Usos

V. planifolia es de las pocas especies de orquídeas que tienen otro uso además del ornamental (Cox 2013), principalmente por su fruto aromático que provocan los más de 200 metabolitos secundarios presentes en cada vaina (siendo la vainillina la encargada principal del olor característico de la vainilla (Klimes y Lamprsky 1996; Sostaric *et al.* 2000). En la época prehispánica su principal uso era dar un toque especial al chocolate, además tenía cierta relevancia en el sistema de tributación y repercusión en los asuntos políticos ya que el pueblo Totonaco ofrecía vainilla para evitar que invadieran el territorio o guerras con otros pueblos (Ruíz 1991; Damiron 2004). Durante la Colonia se restringió su uso porque causaba *vainillismo*, nombre que se le dio a la ansiedad provocada por el consumo excesivo (Kourí 2013). Actualmente se usa internacionalmente para dar sabor y aroma a diversos productos como las bebidas gaseosas, helados, en repostería y se añade a aromatizantes, se usa para elaborar artesanías, como parte de sustancias relajantes, como carminativo, antiespasmódico, para tratar la fiebre, protector de la piel y como conservador de comida (Sinha 2007). Resulta relevante este tema de investigación etnobotánica, para ahondar los usos actuales dentro de México.

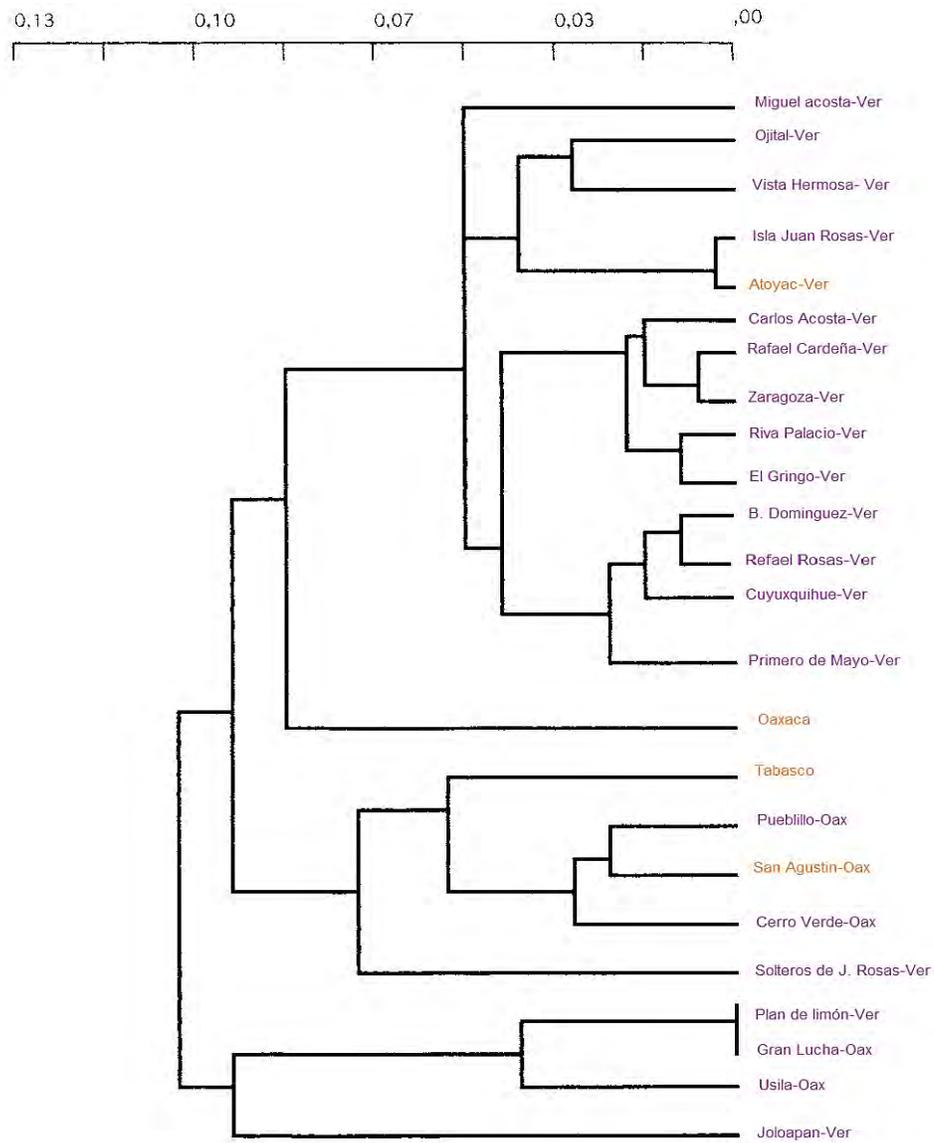


Figura 2. Dendrograma obtenido por UPGMA utilizando las distancias genéticas de Nei. Tomado y modificado de Soto 1999. En morado se señalan los sitios que corresponden a plantas domesticadas y en naranja las plantas silvestres.

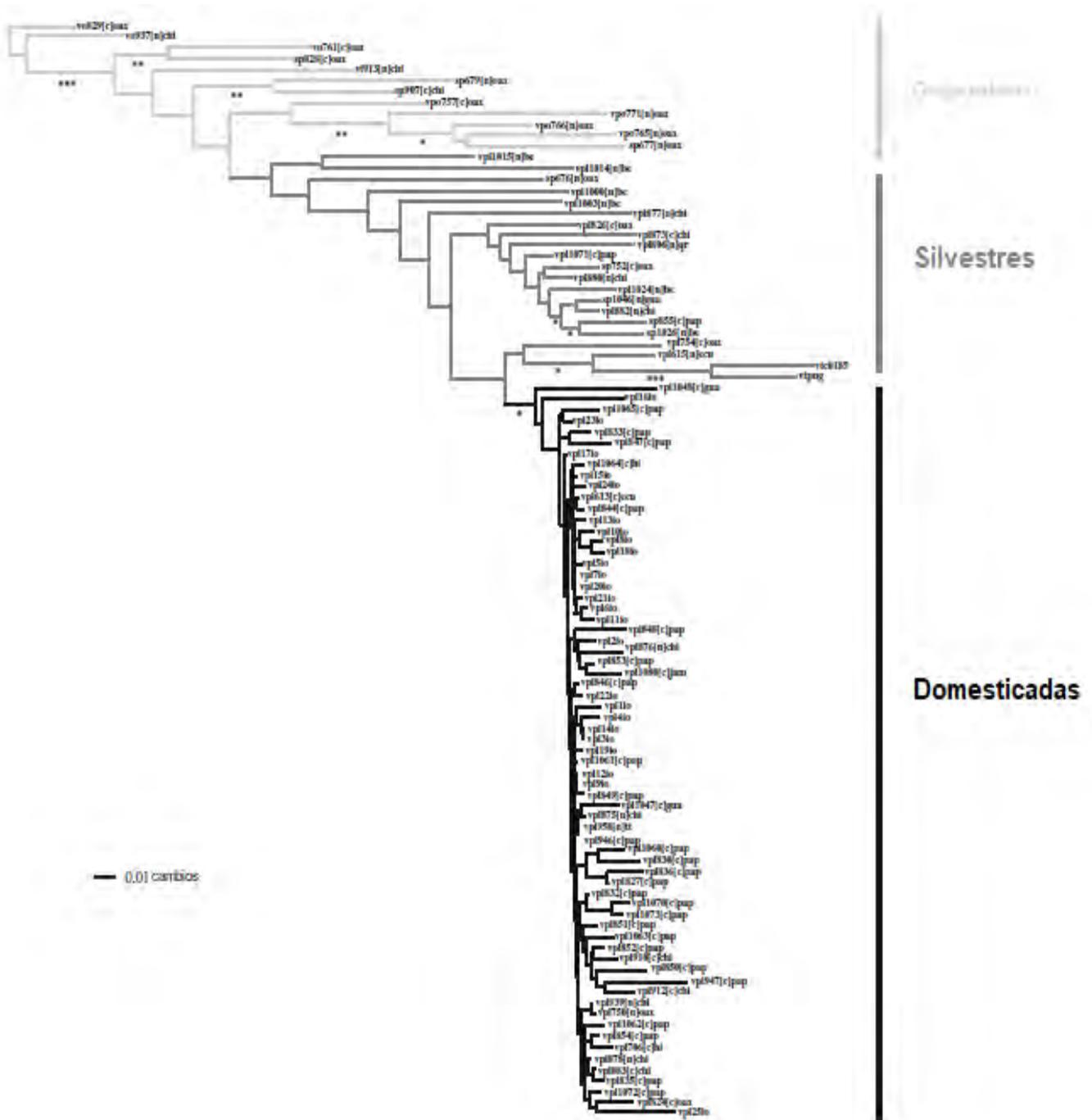


Figura 3. Árbol de distancias genéticas y relación entre individuos silvestres y domesticados de *Vanilla* (tomado y modificado de Lubinsky et al. 2008). Los asteriscos bajo las ramas indican el soporte estadístico ([*]= >50%; [**]= >75%; [***]= >90%). El grupo externo está conformado por individuos de *V. odorata*, *V. pompona*, *V. tahitensis*, *V. insignis*.

Los registros más antiguos señalan que al principio solo se recolectaban los frutos que se producían de forma natural, los habitantes cercanos a las poblaciones naturales de la especie se adentraban en el monte y recogían los frutos cuando ya estaban maduros. Las colectas se realizaban en algunos lugares de Tabasco, Veracruz, Oaxaca, Campeche, Chiapas y Guatemala. La recolección de vainilla siempre estuvo ligada a la producción de cacao hasta que en el siglo XVIII la exportación de vainilla a España y la creciente demanda de ésta en Europa, obligó a aumentar la búsqueda de frutos principalmente por pobladores de Misantla (Ver.), Colipa (Ver.), y el sur del estado de Veracruz, que recibieron reconocimiento internacional como lugares de producción. Aproximadamente en 1760 se comenzaron a desarrollar las plantaciones en Colipa y Papantla (Ver.), y la colecta de frutos continuó en Teutila (Oax.) y en la parte alta de la cuenca del Papaloapan (Ver.) (Fontecilla 1861; Humboldt 1984; Kourí 2013).

En las últimas décadas se ha ampliado la zona de producción a partir del establecimiento de la práctica de la polinización manual por lo que ya no hay dependencia de polinizadores naturales. La producción en México se encuentra liderada por los estados de Puebla, Hidalgo y Veracruz, seguidos por Oaxaca con el 17.9% de la producción (cultivo establecido formalmente a partir de 1986) y San Luis Potosí con el 8.5% (SHCP 2014). Para el 2014 hubo un rendimiento nacional de 0.51 ton/ha con la producción de 481.87 ton en 944.50 ha sembradas, con un valor de \$42 706 940 (SIAP 2015). En el 2016 el rendimiento aumentó a 0.56 con un valor de \$50 365 518 (SIAP 2017).

Manejo: sistemas de producción

La vainilla se cultiva generalmente en dos tipos de sistema agrícola. Por un lado, en el sistema tradicional (heredado por los nahuas, totonacas y mayas) que pueden ser acahual, milpa, huerto o traspatio. En éste, el manejo está dirigido al control y conocimiento de la sucesión vegetal natural. Se mantienen otras especies junto con la vainilla, que pueden ser

árboles frutales como naranjo o maderables como caoba. El sitio de cultivo se divide en diferentes zonas de aprovechamiento, por ejemplo: zona de apicultura, utilizando abejas nativas *Trigona* spp. y *Melipona* spp.; un área de especies de rápido crecimiento y el área donde se intercalan los árboles frutales con pequeños arbustos y plantas herbáceas (Baltazar 2010). Además, se caza a los animales pequeños que pudieran dañar las vainas, se tiene cuidado en retirar y remplazar a las vainillas que presenten enfermedades y se reduce al mínimo el uso de productos químicos (Baltazar 2010; Ford y Nigh 2015). Por otro lado, se cultiva en el novedoso sistema de malla-sombra que se ha comenzado a introducir como una alternativa para aumentar la producción ya que se puede mantener un mayor número de plantas de vainilla en menor área, debido a que los tutores son únicamente postes de madera, plástico o metal (Castro 2008; Baltazar 2010; Ford y Nigh 2015).

Otra clasificación (más específica) de los sistemas agrícolas es basado en su grado de tecnificación, es la que Castro (2008) describe en tres niveles: 1) Sistema tecnificado (control de plagas, enfermedades y malezas, con riego artificial e inclusión de nutrientes, densidad de 1,140 a 5,000 tutores/ha. y de 2,280 a 10,000 plantas de vainilla, contratación de jornaleros); 2) Sistema tradicional (aprovechamiento de especies leñosas secundarias, dependen de las lluvias y terrenos con mucha materia orgánica, 250 tutores/ha.); 3) Sistema semi-tecnificado (no se cuenta con un sistema de riego, terrenos con pocos nutrientes, densidad de 208-624 tutores/ha, 1,875 vainillas, contratación de jornaleros).

Manejo: nutrición, sombra y humedad

Damiron (2004) señala que una planta sana puede producir hasta 1 kg de vaina para lo cual debe tenerse sumo cuidado en proporcionar las condiciones necesarias de nutrientes,

sombra y humedad. El control de estas variables depende principalmente de la elección del tutor¹³ y de las condiciones climáticas en las que se establezca la plantación.

Debe considerarse que una sombra excesiva propicia el desarrollo de plagas y enfermedades; por el contrario, poca sombra puede traer como consecuencia el amarillamiento de la planta e incluso quemaduras (Damiron 2004). Barrera-Rodríguez y colaboradores (2009) evaluaron el rendimiento del sistema malla-sombra comparándolo con un sistema de naranjo, este último presentó un rendimiento de 1.2 ton/ha, en contraste con el de malla sombra que produjo 235 kg/ha, concluyendo que la diferencia se debe a que la elección de la especie tutor influyó directamente sobre la salud de la planta. También se ha demostrado que los contenidos de vainillina y clorofila varían dependiendo del tutor que se utilice. Elorza y colaboradores (2007) compararon *Citrus*, *Erythrina* y *Gliricidia* y el sistema de malla sombra, obteniendo que *Citrus* y *Gliricidia* influyen para producir mayores valores de vainillina, compuesto que da el aroma característico de la vainilla por lo que es fundamental.

En cuanto a la humedad, Castro (2008) sugiere que ésta debe ser regulada a partir de la densidad de hojas de los tutores y su disposición (separación entre tutores dentro de la plantación) y no por riego constante debido a dos razones: 1) porque la floración depende del periodo natural de secas y 2) porque el uso de riego no muestra alguna ventaja en la producción en comparación a los cultivos en los que no se utiliza (Castro 2008). Aunado a las ventajas que presenta el uso de tutores vivos, se ha comprobado que cada especie utilizada puede modificar la microbiota presente en el suelo. Es fundamental considerar esto, ya que la asociación con hongos como *Thanatephorus*, *Ceratobasidium* y *Tulasnella*, permite que las vainillas puedan adquirir nutrientes de la materia orgánica que proporcionan los mismos tutores al perder sus hojas (Damiron 2004; Álvarez 2012). Sin

13 El tutorado consiste en colocar árboles, palos, postes de plástico, cañas o estacas de tal forma que las plantas puedan apoyarse para crecer verticalmente.

embargo, se ha identificado que algunos hongos que componen la micorriza pueden convertirse en patógenos en determinadas condiciones por lo que se debe estudiar más detalladamente la microbiota asociada (Bayman *et al.* 2011).

Polinización y producción del fruto

La reproducción de los individuos que se cultivan se lleva a cabo por medio de esquejes con una longitud de 70-100 cm (Damiron 2004; SAGARPA 2009; SAGARPA 2011). Dicha práctica se arraigó desde el siglo XVIII (Kourí 2013). Después de 3 años de plantar el nuevo esqueje, la vainilla florecerá (SAGARPA 2011). Estas flores generalmente son polinizadas manualmente debido a que los insectos no aseguran la polinización y algunos productores consideran que la polinización natural modifica la calidad de la vaina. El número de flores polinizadas dependerá de la experiencia de cada productor, unos prefieren polinizar pocas flores para que la planta asigne todos los recursos a esos pocos frutos y otros consideran que se pueden polinizar todas las flores y conseguir más producto, aunque disminuya el tamaño de las vainas y el rendimiento general (Barrera-Rodríguez *et al.* 2009). En la Tabla 1 se resumen algunos documentos que hacen referencia a las diferentes propuestas de manejo agronómico para tener un cultivo productivo.

Después de aproximadamente nueve meses de la polinización se obtienen los frutos que serán beneficiados, proceso fundamental para asegurar la obtención de un exquisito aroma y sabor. El beneficiado o curado consiste en la deshidratación gradual por seis meses y consta de cinco pasos fundamentales: 1) despezonado, 2) enmaletado, encajonado o escaldado, 3) entrada al calorífico (24 horas a 60°C), 4) sudado, 5) asoleado; el paso 4 y 5 se repite hasta por 30 veces (Damiron 2004; ASERCA 2002). De este proceso se obtiene extracto natural y extracto concentrado de vainilla, oleorresinas de vainilla, vainilla en polvo, saborizante mixto (saborizante natural mezclado con saborizante artificial), vainas y artesanías que se han regulado a través de un conjunto de normas: NOM-051-SCFI/SSA1-

2010, la NOM-092-SSA1-1994, la NOM-110-SSA1-1994, la NOM-113-SSA1-1994, la NOM-115-SSA1-1994, la NOM-139-SCFI-1999, la NOM-F-473-SCFI-2006, la NOM-F-616-NORMEX-2005, la NOM-F-616-NORMEX-2005, la NOM-FF-067.1988, la NOM-FF-074-SCFI-2009 y de la NOM-182-SCFI-2011.¹⁴

Panorama general del sistema de producción de vainilla y demandas específicas del sector productivo

La vainilla se produce en seis estados de México: Veracruz, Puebla, San Luis Potosí, Hidalgo, Oaxaca y Quintana Roo. Tan solo en los primeros dos estados se produce en un territorio de aproximadamente 7,751 km² distribuidos por 38 municipios que poseen la denominación de origen (DOF Declaratoria Denominación de Origen “VAINILLA DE PAPANTLA”). Hay pocos datos sobre la productividad, rendimiento y localización exacta de productores; sin embargo, sabemos que el costo de producción es de aproximadamente \$75,100 (pesos mexicanos) anuales y se obtienen 330 kg/ha. En Veracruz hay 1,253 ha sembradas y en Puebla 297.4 ha sembradas con dos plantas (en promedio) por tutor. Las fechas de comercialización son de noviembre a enero y solo 3% de la producción se vende beneficiada (CTEEP 2011). Respecto al precio de exportación, en el 2015, el kilo de vaina verde se vendió en \$103.55 (Faostat 2015) y en México se vendió en un rango de \$20 a \$250, mientras que el precio por kg de vainilla beneficiada (dentro del país) fue de \$3,500 (Gaya 2015).

México fue el primer productor mundial de vainilla hasta la segunda mitad del siglo XVIII, aunque se habían llevado esquejes a Europa, la ausencia de polinizadores había impedido la producción de frutos. Fue hasta que se logró realizar la polinización manual en Islas Reunión (Kourí 2013), que el mercado de vainilla se volvió competitivo llevando a

14 Consultada el 7 de agosto de 2017 en <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4477/seeco/seeco.htm>

Madagascar e Indonesia a ser, actualmente, los primeros productores mundiales. Como se observa en la Figura 4, los volúmenes de producción por año son fluctuantes, hecho que impacta en el precio (FAOSTAT 2017). Recordemos que los cultivos de vainilla poseen parte importante de la variación genética de la especie. Esta variación y las prácticas de manejo con todo el conocimiento que involucra, no se encuentra en ninguno de los cultivos del resto del mundo (Salazar 2011; Ramos-Castellá et al. 2016). Sin embargo, el cultivo de vainilla tiene riesgo de perderse debido a que las ganancias que obtienen los productores son mínimas en comparación con la inversión pues el precio es fluctuante y dependiente de la producción mundial (SAGARPA 2011; Guerrero 2017). Aunado a esto, se ha hecho pública la denuncia de robo de frutos (Gómez 2017), problema que si bien no es nuevo (Kourí 2013), sigue siendo un problema más a considerar.

Otros problemas que presenta la producción y que oficialmente son atendidas desde 2012 por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce A.C. (COFUPRO) son: bajos rendimientos, carencia de mejoras genéticas, irregularidad de la siembra, altos costos de producción, ataque de hongos del género *Fusarium*, competencia desventajosa frente a la vainilla sintética (en costos y distribución en el mercado).

Con el objetivo de que México compita en el mercado internacional se han desarrollado diversos programas gubernamentales que responden al modelo económico de cadena de valor (CTEEP 2011; Sistema Producto Vainilla 2011; INCA-SAGARPA 2013). La cadena de valor de la vainilla se compone, en general, como otras cadenas productivas dentro de México, de los siguientes eslabones:

productores → intermediarios → consumidores. No obstante, el sistema productivo ha establecido relaciones con otros actores sociales (como se muestra en la Figura 3), debido

a que sectores, como el académico, se han involucrado más en comprender y apoyar el proceso productivo.

Tabla 1 Sugerencia de manejo agronómico para el cultivo de <i>Vanilla planifolia</i> en diferentes regiones de México. NE= No especificado.										
Referencia	Clima	Suelo y abono	Sombra	Tutor	Propagación (características del esqueje)	Fecha de siembra	# de esquejes/ área	Poda	Polinización	Riego
Damirón 2004	20-23° C	Permeable de origen volcánico, humus, leguminosas o residuos de plátano	Preferible árboles locales	Piñon, Cocuite, Chaca, Pichoco, cojón de gato, mango, pimienta	Longitud 75 cm	Dic-ene Enterrar 2-3 entre nudos	12000	8-6 meses antes de la floración Después de la cosecha	Entre 40 y 50 flores por planta	NE
SAGARPA Paquete tecnológico SLP	21-27° C	Permeable 15-20 cm de cobertura vegetal 6-7 pH De origen calizo Humus Triple foliar	50-70% sombra	Naranja Cocuite	Longitud 80 cm Desinfección del corte con Carbendazim Sellado del corte con cal-sulfato de cobre-agua	Abr-jun	Achual 500-1500 Naranja 936-1872 Cocuite 5000 Malla-sombra 15-25 mil	Después de la cosecha (10 dic)	6-8 flores por inflorescencia	2 veces por semana en secas
SAGARPA 2009 Puebla	NE	Composta, ceniza y calcio	NE	Naranja Toronjo Pichoco Cohuite	NE	Diciembre	800	NE	50% de las flores	NE
SAGARPA 2011 Sur - sureste	20-30°C 200-300 ppma	Permeable 6-7 pH Composta	50-70% sombra	Naranja	Longitud 80-120 cm Desinfección del corte con Carbendazim Sellado del corte con cal-sulfato de cobre-agua	Dic-feb	1200-1800	Cuando la planta alcance los 2 m de altura	6-8 flores por inflorescencia	Depende de la época del año y las condiciones geográficas

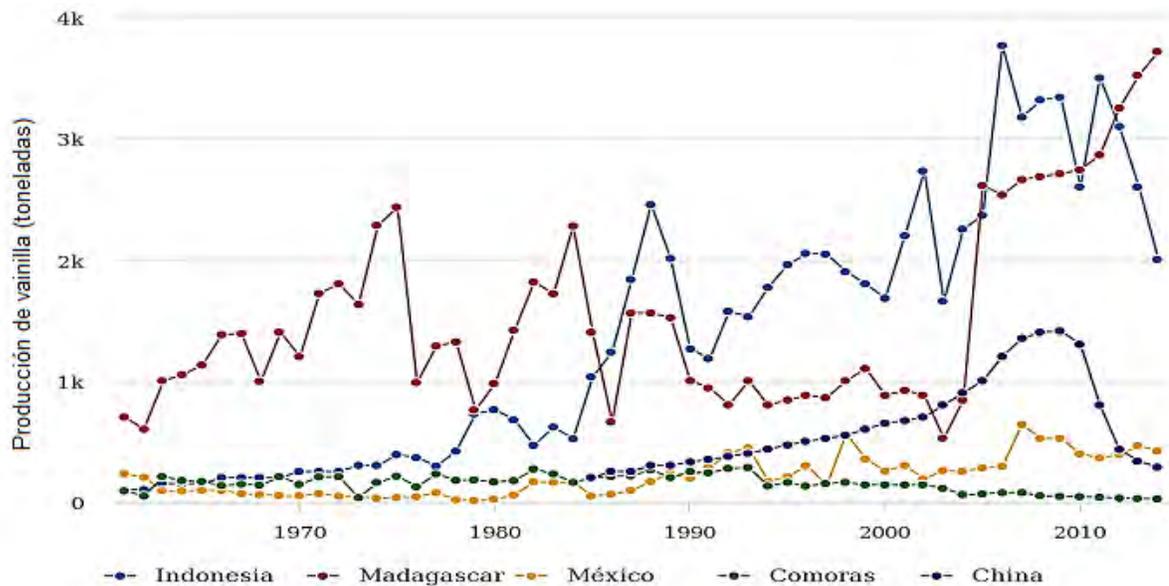


Figura 4. Producción internacional por país en toneladas de vainilla (Tomado de FAOSTAT 2017). Desde 1960 Madagascar ha dominado el mercado, alternando en las últimas dos décadas con Indonesia, lo que implica que el precio por kilo fluctúe dependiendo del volumen producido por estos países.

Parte de las otras demandas se han tratado de resolver a través de la investigación que se ha llevado a cabo sobre los ejes: 1) modificaciones en las prácticas de manejo; 2) investigación sobre la caída prematura de frutos y enfermedades causadas por hongos (Red Vainilla¹⁵) y 3) mejoras genéticas. En el último caso, las mejoras se han promovido por medio de mutaciones con azida de sodio, sulfato de dimetilo, colchicina y bajas dosis de radiaciones ionizantes (radiaciones gamma y acelerador de partículas) (Iglesias *et al.* 2014), usando métodos de transgénesis (i.e. India y Costa Rica) a través de *Agrobacterium tumefaciens* (Retheesh y Bhat 2011), del Sistema de Aceleración de Liposomas Cristalizados (SALIC) o por biobalística con el objetivo de añadir resistencia a *Fusarium* (Gätjens y

15 Información disponible en: http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_vainilla.html

Montero, 2012); asimismo, se han desarrollado híbridos entre especies y selección clonal (Iglesias *et al.* 2014). Tratar de igualar la vainilla natural a la sintética (en costos y distribución en el mercado), se ha explorado poco.

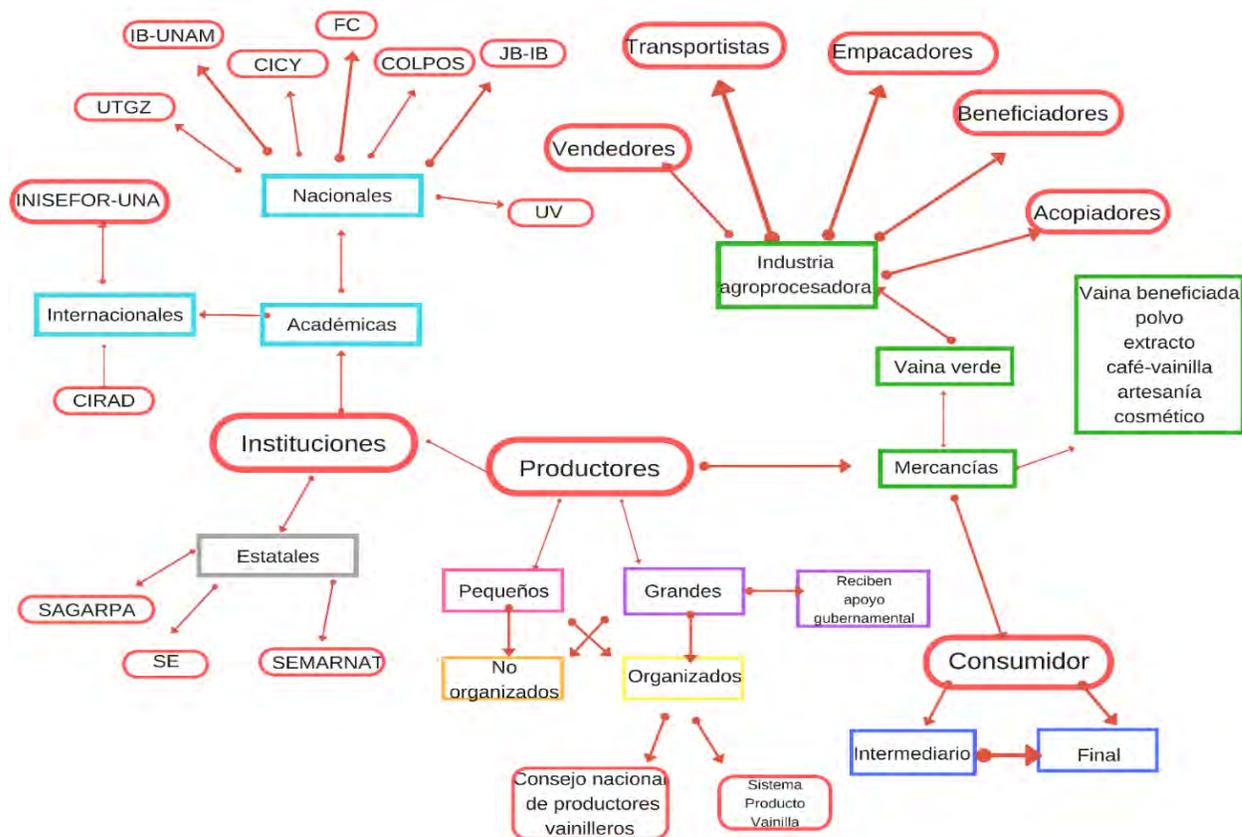


Figura 3. Esquema general de las interacciones en torno al uso y manejo de la vainilla en México. Los recuadros rojos muestran a los actores sociales: SE= Secretaría de Economía; SEMARNAT= Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; CIRAD= Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement; INISEFOR-UNA= Instituto de Investigación y Servicios Forestales-Universidad Nacional de Costa Rica; UTGZ=Universidad Tecnológica Gutiérrez Zamora; JB-IB= Jardín Botánico del Instituto de Biología; FC= Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México; IB-UNAM= Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México; COLPOS=Colegio de Posgraduados; UV= Universidad Veracruzana ; CICY= Centro de Investigación Científica de Yucatán.

Con base en lo anteriormente expuesto, *Vanilla planifolia* es una especie que ha tenido y tiene gran importancia en México y en el resto del mundo. Debido a sus características biológicas conocidas y a las amenazas antropogénicas a las que actualmente está expuesta, requiere de una estrategia de conservación que sea alimentada con la información faltante,

como la morfológica, y en la que sean considerados los procesos que mantienen y modifican la diversidad genética.

OBJETIVOS

Objetivo general

Aportar elementos fundamentales para el diseño de una estrategia de conservación de la especie a largo plazo tomando en cuenta los factores que formaron y mantienen la diversidad genética.

Objetivos particulares

- Establecer las líneas de investigación que se requieren desarrollar para diseñar estrategias adecuadas de conservación.
- Proponer un método de diferenciación de especies del género *Vanilla* a partir de órganos vegetativos.
- Describir las señales del síndrome de domesticación en las hojas de *V. planifolia* silvestre y cultivada.
- Proponer, con base en el análisis del mercado de la vainilla en México, una estrategia de comercialización y de distribución que favorezca el cultivo.

HIPÓTESIS

Variación morfológica foliar

- Ho= La variación genética interespecífica en *Vanilla*, es insuficiente para que pueda observarse variación morfológica foliar.
- H1= Al existir suficiente variación genética interespecífica en *Vanilla*, entonces se podrá observar suficiente variación morfométrica foliar entre especies que son similares vegetativamente.
- Ho= El uso y manejo sobre *Vanilla planifolia* desde la época prehispánica no ha influido sobre la forma de las hojas.
- H1= Siendo *Vanilla planifolia* una especie utilizada desde la época prehispánica, el uso y manejo, generaron diferencias en la forma de las hojas.

Redes de distribución

- Ho= No hay dependencia entre el conocimiento de los sitios dónde se pueden adquirir productos de vainilla natural mexicana y la adquisición frecuente de los productos.
- H1=El conocimiento de los sitios en dónde se pueden adquirir productos de vainilla natural mexicana puede influir en la adquisición frecuente de los productos.

MÉTODOS

Revisión de información disponible para *V. planifolia*

La búsqueda de documentos se llevó a cabo de diciembre de 2015 a julio de 2017. Se consultaron las bibliotecas de la Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Politécnico Nacional, Universidad Autónoma de Chapingo y del Colegio de Posgraduados (en sus diferentes campus) para conseguir las tesis y libros que fueran acorde al tema. Se consultaron vía internet, a través del buscador *Google Scholar*[®] y en especial en los sitios WEB de las revistas *Ecology*, *Conservation Biology*, *Evolution*, *Economic Botany*, *Acta Agronómica*, *Agroproductividad*, *Molecular Ecology* (por ser las más populares para la publicación de artículos sobre la especie *Vanilla planifolia* y especies hermanas). Además, se localizaron los informes provenientes de los diferentes proyectos desarrollados a nivel nacional e internacional sobre vainilla (Agrobiodiversidad para la sustentabilidad ecológica y cultural, Red Vainilla (SINAREFI y CNSPV), Macroproyecto de investigación, desarrollo e innovación tecnológica: “Estrategia de investigación aplicada para el fortalecimiento, innovación y competitividad de la producción de vainilla en México”, Sistemas Productivos Sostenibles y Biodiversidad, Ubicación, caracterización y conservación del germoplasma de vainilla presente en Costa Rica, Proyecto Centros de origen y diversidad genética

(CONABIO)) y los documentos surgidos del 1^{er} Congreso de vainilla, sistemas agroforestales y productos no maderables del bosque. Santa Clara, San Carlos, Costa Rica.

Para realizar la búsqueda en bases de datos se utilizaron las siguientes palabras clave: “Vanilla [AND] planifolia”, “Vanilla [AND] fragans”, “vainilla”, “genetic [AND] variation [AND] of [AND] Vanilla”, “varieties [OR] genetic [OR] hybridization [OR] history [OR] use [AND] Vanilla”, “ecology [OR] distribution [OR] management [OR] center [AND] origin [AND] of [AND] Vanilla [AND] planifolia”, “paquete [AND] tecnológico [AND] vainilla” y “manejo [AND] agrícola [AND] de [AND] vainilla”. (en todos los casos se repitió la búsqueda con las mismas palabras en español).

Adicionalmente, se revisaron ejemplares de herbario con el fin delimitar la distribución natural y obtener más información que pudiera estar anotada en las fichas. Se consultaron bases de ejemplares en línea y en las colecciones en físico de:

- Herbario de la Asociación Mexicana de Orquideología.
- Colección Herbario Federico Medem Bogotá-FMB
- Herbarium Karlsruhe
- Herbario del Centro de Investigación Científica de Yucatán
- Herbario IEB (Instituto de Ecología Bajío)
- Herbario Isidro Palacios San Luis Potosí
- Herbario Nacional de México (MEXU)
- Herbario Universidad de Panamá (PMA)
- Herbario Universidad Nacional de Colombia
- Herbario del Instituto Nacional de Biodiversidad
- Herbario Missouri Botanical Garden
- Herbario del Museo Nacional de Costa Rica
- The New York Botanical Garden

Fue necesario revisar con precaución en cada estudio la clasificación taxonómica y los métodos empleados, ya que es frecuente que haya confusiones taxonómicas o se englobe a la vainilla silvestre y domesticada o se usen los conceptos de individuo, población y localidad como sinónimos.

Análisis morfométrico foliar inter e intraespecie

Colecta de material biológico

Las colectas se realizaron durante los años 2016 y 2017 en algunos municipios de Oaxaca, Chiapas, Veracruz y Tabasco, en los que se encontraron 14 individuos silvestres de vainilla (*Vanilla* spp.), de los cuales se colectaron 3-4 hojas maduras y completas (Tabla 2). Así mismo se incluyeron 3-4 hojas de 12 individuos cultivados en diferentes estados (Tabla 2). Es necesario hacer las siguientes aclaraciones: 1) el bajo número de individuos silvestres colectados se debe a la misma biología de las especies, principalmente a su reducido tamaño poblacional; 2) para tratar de reducir el error que pudiera existir al analizar un elevado número de individuos domesticados en comparación a los silvestres, se hizo una elección de individuos que representaran las diversas regiones geográficas del cultivo; 3) se incluyeron las 3-4 hojas colectadas por individuo debido a la variación morfológica entre las hojas de un mismo individuo.

Tabla 2. Individuos colectados de tres especies de *Vanilla*. El sitio exacto de colecta no se muestra por seguridad ya que son especies amenazadas por extracción ilegal de ejemplares.

Especie	Grado de manejo	Sitio de colecta	Número de individuos	Número de hojas analizadas
<i>Vanilla planifolia</i>	Silvestre	Oaxaca (San Gabriel, San Juan Bautista)	3	25
		Tabasco (Macuspana, Tacotalpa)	3	
		Chiapas (Tuxtla)	2	
	Domesticada	Veracruz (Papantla)	6	35
		Tabasco (Comalcalco)	1	
		Estado de México (Toluca)	2	
		Chiapas (Tuzantan, Tapachula)	3	
<i>Vanilla pompona</i>	Silvestre	Oaxaca (San Juan Bautista)	4	17
<i>Vanilla inodora</i>	Silvestre	Tabasco (Macuspana, Tacotalpa)	2	6
Total			26	83

Identificación taxonómica

Los individuos colectados fueron identificados haciendo uso de la clave taxonómica de Soto y Dressler (2010), y tomando en cuenta caracteres distintivos de las especies (Tabla 3). En el caso de *Vanilla pompona*, los individuos colectados fueron encontrados en floración, lo que facilitó su identificación.

Cada hoja colectada fue extendida sobre un soporte de madera para ser fotografiadas con una cámara Cannon Rebel XSi[®] colocada sobre un soporte vertical. Sobre las fotografías se dibujaron peines de 10 líneas con el programa MakeFan8 (Sheets 2014) con el fin de facilitar la digitalización de los semilandmarks. Se usaron dos landmarks y diez semilandmarks (Fig 4). La forma consenso se obtuvo con tpsRelw32 (Rohlf 2015). El conjunto de fotografías resultante fue digitalizado mediante el programa tpsDig232 (Rohlf 2015). La superposición de las formas se hizo con el método *Procrustes* (por cuadrados mínimos) usando el programa CoordGen8 (Sheets 2014).

La variación morfológica foliar se comparó en dos niveles:

- i) Variación interespecie.
- ii) Variación intraespecie. En este proceso se incluyeron únicamente los individuos de *Vanilla planifolia* para comparar entre individuos de silvestres y domesticados. También, se utilizó como agrupamiento *a priori* el sitio de colecta, suponiendo que tienen condiciones ambientales similares sitios más cercanos.

Tabla 3 Caracteres empleados para la identificación taxonómica, descritos en Soto y Dressler (2010). Fotografías tomadas para el análisis morfométrico, en la hoja de *V. inodora* resalta la vena media. La unión de la hoja y el tallo en *V. planifolia* es más pronunciada en comparación a la unión en *V. pompona*.

Carácter	Especie	<i>Vanilla planifolia</i>	<i>Vanilla pompona</i>	<i>Vanilla inodora</i>
Hoja y tallo		Hojas gruesas, coriáceas a carnosas, más largas que los entrenudos, oblongas a elípticas, agudas o abruptamente acuminadas.	Hojas gruesas, coriáceas a carnosas, hojas más largas que los entrenudos, de 22-29 x 8-14 cm. Tallos de 10-24 mm de espesor.	Hojas delgadas, membranáceas cuando están secas, a veces ligeramente cartáceas.
Flor		Labelo ondulado unido a la columna hasta la región estigmática, generalmente > 2,5 cm, columna con tricomas en la superficie ventral, labelo con un callo penicilunar formado por un penacho de laciniate, escamas retrorsadas, flores <9 cm de longitud, flores en su mayoría de color verde blanquecino, débilmente perfumadas.	Labelo unido a la columna hasta la región estigmática, generalmente > 2,5 cm, columna con tricomas en la superficie ventral, labelo con un callo penicilunar formado por un penacho de laciniate, escamas retrorsadas, flores <9 cm de longitud, borde del labelo ondulado, ovario y sépalos lisos, flores en su mayoría de color amarillo crema, con olor fuerte y picante.	Labelo unido solo basalmente a la columna (<4 mm), columna lisa o basalmente entallada, pero sin pelos subestigmáticos; labelo sin un callo penicilunar formado por un penacho de escamas, el callo puede estar formado por quillas longitudinales, o cojines muy carnosos, labelos distintivamente trilobulados, lomo medio emarginado bilobulado.

Fotografía de hoja



Se hicieron Análisis Canónico de Variables (CVA) y un análisis de Jackknife para examinar la asignación de los individuos; del CVA se eligieron las primeras dos variables que explicaban la mayor variación. Se comprobó si las diferencias en cuanto a la forma eran significativas a través de una Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA). Los tres análisis se llevaron a cabo con el programa CVAGen8 de la serie IMP (Sheets 2014).

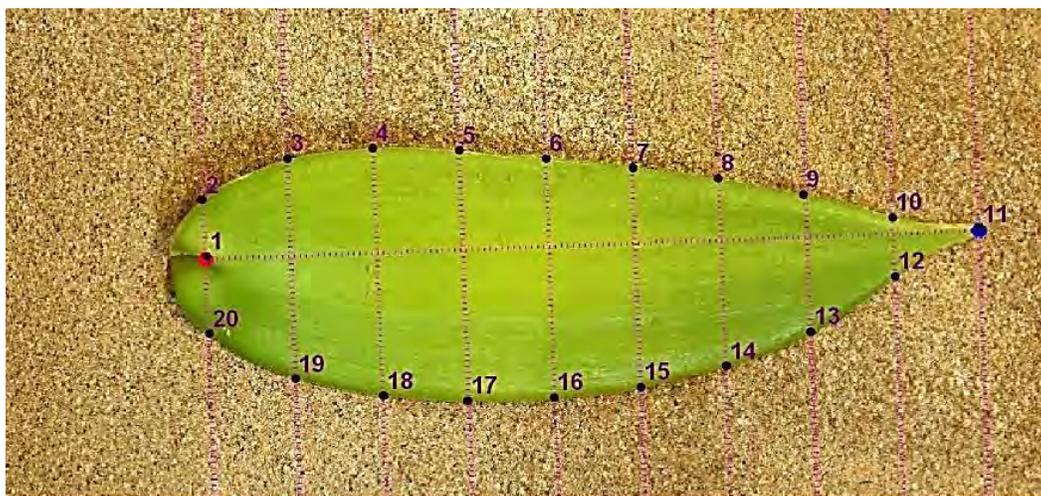


Figura 4. Landmarks empleados en este análisis sobre las hojas de individuos de vainilla colectados. 1 y 11 (unión de la hoja con el tallo y ápice de la hoja, respectivamente) se consideraron como landmarks y el resto como semilandmarks.

Propuesta de red de distribución

Se realizó una encuesta para conocer la disposición de comprar vainilla natural mexicana y el conocimiento que hay sobre ella. Fue una encuesta de 10 preguntas (Anexo 1). Se difundió y aplicó a través de Facebook, correo electrónico y, presencialmente en el 12° Día Nacional de los Jardines Botánicos. En el primer medio, se difundió en grupos y páginas con público de diferentes estados de la república; estos grupos y páginas estaban dirigidas a promover recetas de cocina, productos artesanales y/u orgánicos, y a la difusión de la ciencia. Los correos electrónicos empleados fueron el del Posgrado de Ciencias Biológicas, UNAM y el del Instituto de Ecología. Se realizó una prueba de χ^2 en R 3.5.0 con el paquete Rcmdr (Fox 2005), para comprobar si existía una relación entre el conocimiento de los sitios en los que se pueden adquirir productos de vainilla y su compra frecuente.

A partir de la encuesta se ubicaron sobre un mapa a posibles consumidores. Los informes del Sistema Producto Vainilla, la publicidad de productos naturales de vainilla mexicana y las salidas al campo, permitieron ubicar a los productores. Teniendo en cuenta la ubicación de algunos productores y posibles consumidores se calcularon, con ArcGIS v10.1, los polígonos de Thiessen. Este es un método geométrico por el cual se puede dividir el territorio (en este caso México) a través de estimar la distancia media de un conjunto de datos, correspondiendo cada uno a un punto, las intersecciones de estas distancias forman polígonos irregulares que pueden interpretarse como el área de influencia de cada punto (Garnica y Galvis 2014). Además, se calcularon las rutas de menor costo considerando las capas de caminos disponibles y la ubicación de centros comerciales. A través de estos métodos podemos observar una posible forma que en teoría, resulta ser más eficiente para distribuir productos.

RESULTADOS

Esquema general del desarrollo de una estrategia de conservación basada en la genética de la conservación

En la Figura 5 se explican las consideraciones generales para diseñar una estrategia de conservación a partir de la definición de unidades de conservación. Al abordar elementos más allá de los análisis genéticos, se convierte en un trabajo multidisciplinario.¹⁶ Es importante señalar que, aunque hay diversos conceptos de unidades de conservación, en este trabajo se decidió usar: *Unidad Evolutivamente Significativa (UES)* definida como una colección de individuos o poblaciones de una especie con una historia evolutiva y genética

¹⁶ Entiéndase trabajo multidisciplinario como en el que se incluye a participantes de distintos grados de escolaridad y diversos marcos de referencia ideológica y cultural (Cassanova 2004).

única de manera que se requiere una protección por separado para cada UES (Manel *et al.* 2003).



Figura 5. Esquema general de las fases para diseñar una estrategia de conservación a partir de la identificación de Unidades Evolutivamente Significativas. El diseño de una estrategia de conservación puede dividirse en tres etapas: el entendimiento del complejo de especie (rectángulo rojo), la genética de la conservación (rectángulo verde olivo) y el plan de manejo (rectángulo verde). Las flechas amarillas simbolizan el posible flujo génico entre las partes del complejo.

En el esquema, se divide el proceso para proponer una estrategia de conservación en los diferentes parientes que componen el complejo de especie ya que, aunque es posible el

flujo génico, cada parte se desarrolla en un contexto diferente. Tratándose de un proceso, las etapas que se describen a continuación son consecutivas, y se pone hincapié en que sin una base sólida de información las decisiones tomadas no se traducen en buenos resultados. La falta de información debe considerarse como un factor de riesgo más, tal como lo prevén herramientas como el Método de Evaluación de Riesgo en que la falta de información tiene un valor que influye en el resultado final que define la categoría de riesgo en la que se encuentra una especie¹⁷.

La importancia de enfocar la revisión documental en los temas indicados en el esquema es que resuelven dudas concretas de la genética de la conservación, aportando datos de genética de poblaciones y sistemática. Estos datos, además de permitir la definición de las UES ofrece el diagnóstico de las poblaciones ante las amenazas a las que están sujetas, debido a que el flujo génico determina en gran parte la estructura poblacional y favorece la diversidad, por lo que se considera el tema prioritario de investigación, seguido de la biología reproductiva. Una vez que se han identificado los huecos de información podemos guiar la nueva investigación. Es en este momento en el que es posible dar prioridad a algún proyecto. En caso de detectarse carencia de información sobre algún tema, se proponen algunos métodos que pueden ser empleados en el desarrollo de la investigación (Tabla 4).

En caso contrario, pueden definirse las UES y evaluar de qué manera las amenazas, el uso y el manejo pueden modificar o mantener la diversidad genética considerando los posibles escenarios en los que se propondrán diferentes acciones de manejo. Por ejemplo: si la especie a conservar se distribuye en dunas costeras del Golfo de México y del Pacífico, presenta una dinámica poblacional de metapoblaciones, el flujo génico es a larga distancia,

17 El MER consiste en dar valor de forma categórica a los diferentes criterios biológicos. Ejemplo: Criterio - Número de poblaciones o localidades conocidas existentes (en el caso de localidades se trata de puntos (3 mm de diámetro) que pueden ser discernibles en un mapa a una escala de 1:4 000 000). Valor - a) 1-3 = 3 b) 4-8 = 2 c) 9-25 = 1 d) Mayor o igual que 26 = 0. Al final de una serie de sumas y divisiones, se define la categoría de riesgo en la que se encuentra la especie.

tiene alta diversidad genética y la principal amenaza es el cambio de uso de suelo, entonces las acciones de conservación propuestas tienen que incluir a todas las poblaciones conocidas ya que unas dependen de otras para seguir evolucionando. La amenaza a largo plazo ocasionará la fragmentación de las poblaciones disminuyendo el flujo génico entre éstas, por lo que se perderán alelos que pueden ser ventajosos en un ambiente de estrés salino y propenso a los huracanes como lo son las dunas costeras. Las acciones podrían ser la conservación de espacios en los que se mantengan *in situ* la especie, por lo que se debe llevar un plan de trabajo con las comunidades humanas cercana a las poblaciones en el que se exponga la importancia de la especie a nivel biológico y se considere como un recurso que puede ser aprovechado.

Tabla 4. Vinculación de los temas revisados durante el proceso de diseño de estrategia de conservación con los procesos evolutivos.

Tema revisado	Información que aporta	Proceso evolutivo con el que se relaciona	Método para la investigación
Distribución y hábitat	Condiciones del hábitat que pueden determinar el tamaño poblacional/ hibridación con especies simpátricas/ barreras geográficas que impidan el flujo génico/factores que pueden movilizar individuos/ interacciones ecológicas	Endogamia/ flujo génico/ selección/ deriva génica	Mapas de nicho ecológico/ observación directa en el campo/ identificación taxonómica y molecular de ejemplares colectados
Biología reproductiva	Capacidad reproductiva de los organismos/ disponibilidad de polinizadores y dispersores/ estructuras reproductivas/ compatibilidad reproductiva	Flujo génico/ endogamia/ mutación	Observación de polinizadores/ descripción de sistema reproductivo/ experimentos de entrecruzamiento
Flujo génico	Conectividad de las poblaciones/capacidad de hibridación/	Flujo génico/ endogamia	Uso de nuevas técnicas moleculares/ muestreo que represente al mayor número de individuos
Diversidad genética	Viabilidad de las poblaciones en el pasado, en el presente y en el futuro/ respuesta de las poblaciones a los cambios climáticos	Deriva génica/ mutación/ flujo génico/ endogamia	Uso de nuevas técnicas moleculares/ análisis de variación morfológica / jardín común
Manejo	Movilidad de individuos/ modificación de la diversidad genética/ modificación en las interacciones ecológicas	Flujo génico/ endogamia	Rastreo del origen de los ejemplares utilizados/ jardín común modificando algunas variables/cruzas

Propuesta de estrategia conservación para *Vanilla planifolia*

Entendimiento del complejo de especie

Tomando como referencia el esquema de la Figura 5 se aportaron elementos fundamentales para el diseño una propuesta de estrategia de conservación para *V. planifolia*. La revisión de la información disponible para comprender el complejo de especie (compuesto por parientes silvestres y domesticados, y posiblemente escapados y transgénicos) proporcionó datos sobre la distribución, el estatus en las listas de riesgo, la biología reproductiva de los parientes domesticados, en el uso y manejo. Los campos que deben ser explorados a profundidad son la biología reproductiva de los parientes silvestres, flujo génico y diversidad genética. En la Tabla 5 se hace la vinculación de la información con los procesos evolutivos.

En general, las condiciones del hábitat de *V. planifolia*, las características de su reproducción y los análisis de variación genética que se han hecho dan indicio de que las poblaciones de vainilla tienden a que la endogamia predomine. Resalta la falta de estudios sobre la variación morfológica, tanto de los parientes silvestres como domesticados. Por otro lado, las demandas del sector productivo (ANEXO 2) deben atenderse lo más pronto posible, si se llegara a perder el cultivo se perderían recursos genéticos y conocimientos importantes.

En este sentido, los resultados del análisis morfológico foliar entre plantas silvestres y domesticadas, y los resultados de la encuesta aportan información que se desconocía antes de este proyecto. El primer estudio se inserta en el bloque de la genética de la conservación y la propuesta de red de distribución, es parte del plan de manejo (bloque verde olivo y verde en el esquema de la Figura 5).

Tabla 5. Vinculación de la información disponible para *V. planifolia* con los procesos evolutivos.

Tema revisado	Principales referencias	Información que aporta	Proceso evolutivo con el que se relaciona	Investigación necesaria
Distribución y hábitat	Gómez 2012	La selva alta perennifolia, selva inundable y selva subperennifolia es el hábitat con mayor grado de deforestación. Las vainillas dependen de árboles de gran talla para crecer, la deforestación provoca el aislamiento de las poblaciones.	Endogamia	Mapas de nicho ecológico
	Noguera y Cetzal 2014			
	Hágsater et al. 2015			
	Soto 1999	Las especies con las que puede hibridar son: <i>V. phaeantha</i> , <i>V. insignis</i> , <i>V. inodora</i> , <i>V. cribbiana</i> , <i>V. hartii</i> , <i>V. odorata</i> , <i>V. pompona</i>		Observación directa en el campo
CONAFOR 2010				
Biología reproductiva	Soto 1999	Reproducción sexual y asexual. Autocompatible.	Flujo génico	Experimentos de entrecruzamiento
	Pointeau 2011			
	Hernández 1997	Polinizadores: abejas euglossinas y meliponas.	Endogamia	
	Soto y Cribb 2010		Mutación	
Flujo génico	Soto 1999	Fst entre Oaxaca y Veracruz= 0.364	Flujo génico	Uso de nuevas técnicas moleculares
	Lubinsky et al. 2008	Tabasco es más parecido a Oaxaca que Chiapas a Oaxaca Aislamiento por distancia		Muestreo que represente al mayor número de individuos
Diversidad genética	Soto 1999	Baja heterocigosidad	Endogamia	Uso de nuevas técnicas moleculares
	Cibrian 2000 Ramos-Castellá et al. 2016	Mayor diversidad genética en poblaciones silvestres y domesticadas de México que las del resto del mundo		Análisis de variación morfológica
Manejo	Castro 2008	Sistema de producción tradicional y sistema de malla-sombra	Endogamia	Propiciar reproducción sexual
	Baltazar 2010	Los individuos para las plantaciones se colectan de poblaciones silvestres cercanas		Difusión de productos de vainilla natural
	Ford y Nigh 2015			
	SAGARPA 2012	Propagación por esquejes		
	Problemas económicos en el sector productivo de vainilla			

Genética de la conservación

Variación morfológica foliar entre especies de Vanilla

La comparación de la variación morfológica entre las hojas correspondientes a *V. planifolia*, *V. pompona* y *V. inodora* resultó ser diferente significativamente (CV1 $p=1.51748e-09$ y CV2 $p=9.72918e-06$). El ordenamiento por el CVA muestra tres grupos que corresponden a cada especie (Figura 6), siendo *V. pompona* y *V. planifolia* grupos con mayor similitud en comparación a *V. inodora*.

Una hoja de *V. pompona* mostró mayor similitud a las formas que presentan los individuos de *V. planifolia*. El análisis de Jackknife dio como resultado que el 65.1% de los individuos se asignaron de forma correcta y significativa a su grupo definido *a priori*.

A través de los vectores de deformación se observa que la variación en las hojas entre las tres especies está dada por la reducción de la hoja cerca de la base (variable canónica 1, Fig. 6B) y por la prolongación de la curvatura de un lado del margen cerca del ápice, provocando que las hojas de *V. pompona* sean más anchas en la parte cercana a la unión con el tallo, que el resto de las hojas correspondientes a las otras dos especies. La figura 6C muestra que lo que distingue a *V. planifolia* de *V. pompona* y *V. inodora* son sus hojas mayormente rectangulares.

Variación morfológica foliar entre individuos de V. planifolia silvestre y domesticada

El resultado del CVA de los individuos de *Vanilla planifolia* silvestre y domesticada fue una variable canónica ($p=0.00203951$) que distingue a ambos grupos (Fig. 7A). Los vectores de deformación (Figura 7B) indica que la variación principal está dada en la forma de la zona

final de la hoja, o sea, la zona cercana al ápice haciendo que sea o no agudo. Por lo tanto, las plantas silvestres, que están representadas por los puntos negros en la Figura 7A, tienden a presentar láminas rectangulares. El análisis de Jackknife indicó que el 49.3% de la muestra fue asignada de forma correcta y significativa a su clasificación *a priori*.

Al realizar el análisis asignando como grupo *a priori* la procedencia geográfica de cada individuo, se obtuvieron dos grupos en el CVA: Oaxaca-Chiapas-Estado de México-Veracruz, y Tabasco (Figura 8A).

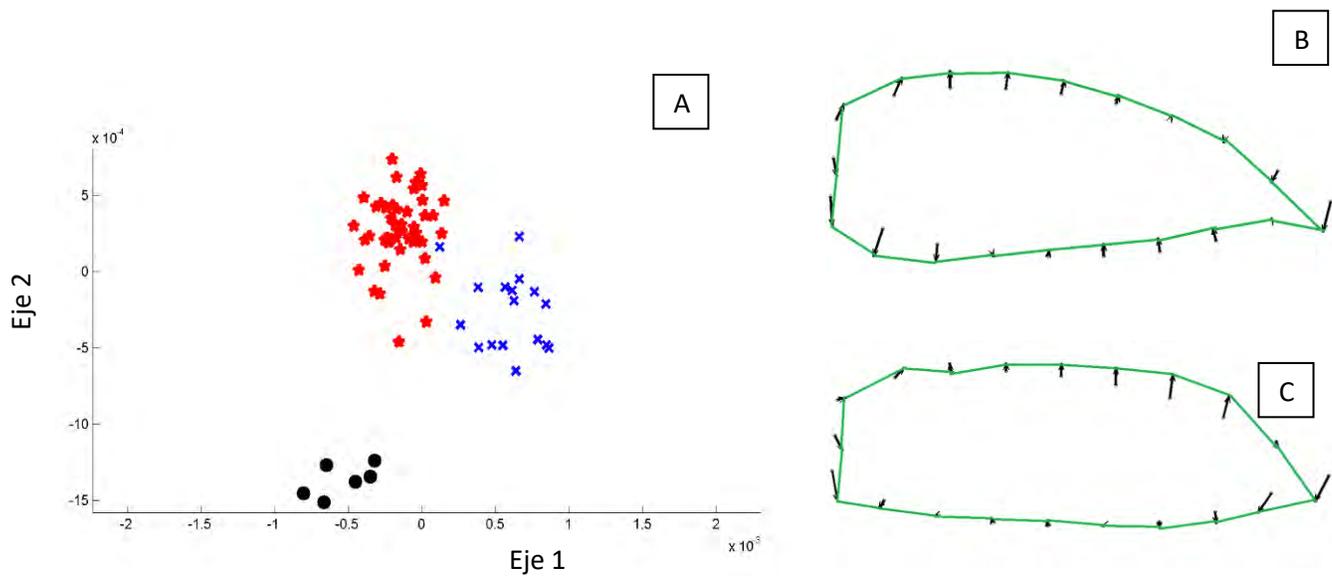


Figura 6. A) CVA en individuos de *V. planifolia* (asteriscos rojos), *V. pompona* (asteriscos azules) y *V. inodora* (puntos negros). El eje 1 explica el 55% de la variación y el eje 2 explica el 43% de la variación morfológica. B) vectores de deformación correspondiente a eje 1. C) vectores de deformación correspondiente a eje 2.

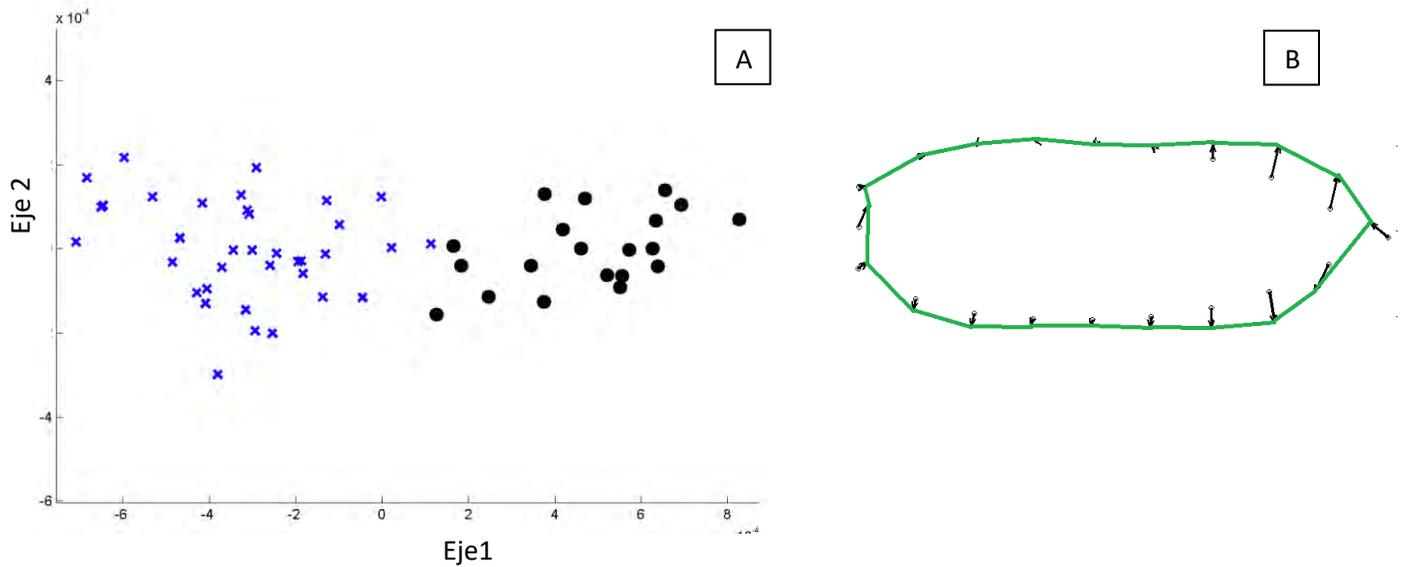


Figura 7. A) CVA de individuos de *V. planifolia*, silvestres (puntos negros) y domesticados (asteriscos azules). El eje 1 explica el 41.06% de la variación y el eje 2 muestra el 0.0000001% de la variación morfológica. B) vectores de deformación correspondiente al eje 1.

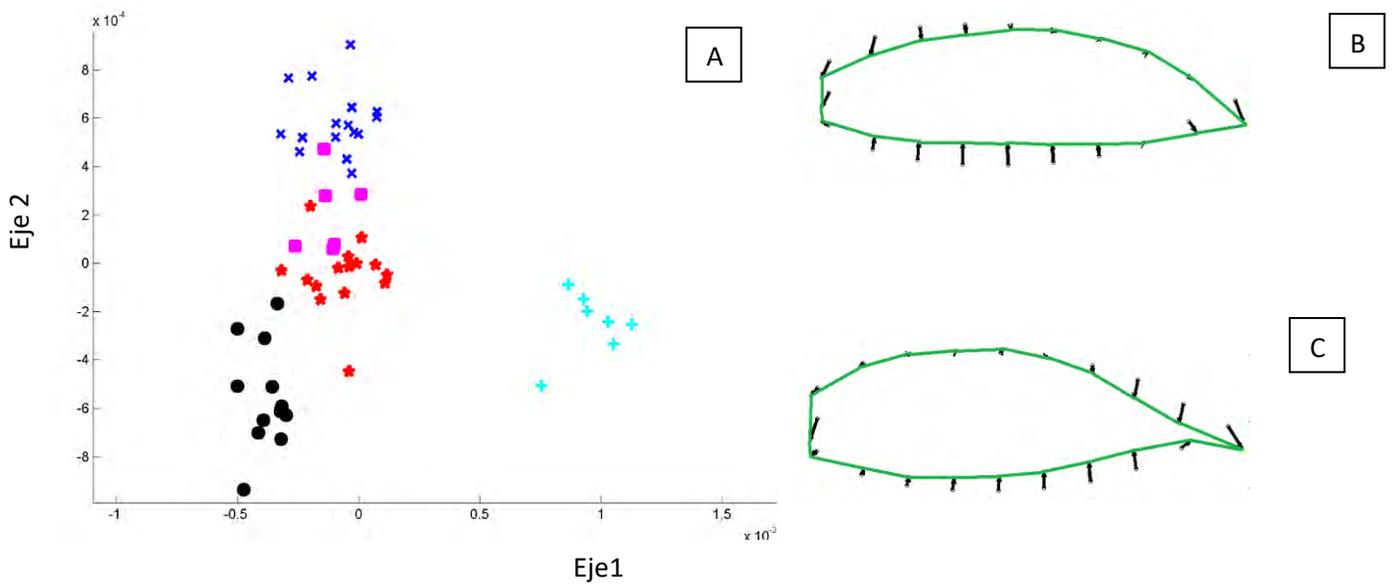


Figura 8. A) CVA en individuos de *V. planifolia* silvestres y domesticados de diferentes regiones, estrellas rojas=Chiapas; puntos negros=Oaxaca; cuadros magenta=Edo. De México; cruces azules=Tabasco; taches azules=Veracruz. *Eigenvalue*: eje 1= 16.0939 y eje2= 7.8438. B) vectores de deformación correspondiente al eje 1. C) vectores de deformación correspondiente al eje 2.

La diferencia de la forma de las hojas que pueden encontrarse en cada región resultó ser significativa para el eje 1 ($p=1.87281 \text{ e-}12$) y para el eje 2 ($p=2.01502\text{e-}06$). Como se puede observar en la Figura 8 B las hojas de Tabasco (cruces azules) son más angostas de la parte central. Mientras, la deformación que se explica por el eje dos (Fig. 8C) hace que las hojas sean más anchas, pero con el ápice más agudo. El porcentaje de individuos que se asignaron correcta y significativamente al grupo definido *a priori* fue de 28.7% (de acuerdo con el análisis de Jackknife).

De acuerdo con los porcentajes de asignación, el obtenido por grado de manejo es mayor, por lo tanto, puede decirse que el grado de manejo tiene mayor influencia en la forma de la hoja que las condiciones ambientales del sitio donde fueron colectadas.

Definición de las Unidades de Conservación (UES)

Soto (1999) y Lubinsky et al. (2008), a través de sus filogenias muestran que en los clados formados hay individuos silvestres intercalados con los domesticados. Esta evidencia junto con el resultado de la prueba de Mantel ($r=0.3003$) reportada en Soto (1999), indican que hay aislamiento por distancia, pero flujo génico considerable. Este patrón puede verse al analizar la variación de la morfología foliar ya que hay un agrupamiento significativo de Veracruz-Chiapas-Oaxaca, y, por otro lado, Tabasco (Figura 8A). Además, las similitudes genéticas demuestran que Oaxaca y Tabasco son similares en mayor medida que Chiapas y Oaxaca. Las plantas que se han estudiado hasta ahora de Chiapas se agrupan con las plantas de Belice y los individuos de Veracruz, que en su mayoría son domesticados, se mantienen diferenciados del resto. Por lo anterior, las Unidades Evolutivamente Significativas con las que se diseñará la estrategia de conservación (por ahora) son: Puebla-Veracruz, Oaxaca-Tabasco y Chiapas-Belice-Quintana Roo. Las condiciones generales de cada unidad, las

amenazas sobre ellas y el posible efecto que tendría sobre la diversidad genética se muestran en la Tabla 7:

Tabla 7. Diagnóstico de cada unidad evolutivamente significativa de *Vanilla planifolia* en México.

UES	Densidad poblacional	Otras especies de <i>Vanilla</i> que comparten distribución	Cultivos de vainilla cercanos/ procedencia de esquejes	Principal Amenaza	Efecto sobre diversidad genética
Puebla-Veracruz	Baja (1 ind/ 5-10 km ²)	<i>V. pompona</i> , <i>V. cribbiana</i> , <i>V. inodora</i> , <i>V. insignis</i>	Plantaciones cercanas a los silvestres/ esquejes tomados de las poblaciones silvestres de Ver. Y Oax.	Deforestación (28 220 ha/año), operación de pozos petroleros	Disminución de la diversidad genética/ Endogamia- Deriva génica
Oaxaca-Tabasco	Baja (1 ind/ 5-10 km ²)	<i>V. cribbiana</i> , <i>V. helleri</i> , <i>V. insignis</i> , <i>V. odorata</i> , <i>V. pompona</i> , <i>V. inodora</i>	Plantaciones cercanas a los silvestres/ esquejes tomados de las poblaciones silvestres locales	Deforestación (35 981 ha/año), extracción ilegal de individuos	Disminución de la diversidad genética/ Endogamia- Deriva génica
Chiapas-Belice-QR	Baja (1 ind/ 5-10 km ²)	<i>V. cribbiana</i> , <i>V. inodora</i> , <i>V. hartii</i> , <i>V. insignis</i> , <i>V. odorata</i>	Plantaciones cercanas a los silvestres/ no reportado	Deforestación (42 466 ha/año)	Disminución de la diversidad genética/ Endogamia- Deriva génica

Debido a que hay flujo génico, a la cercanía geográfica de las plantas domesticadas con las silvestres y a algunas prácticas de manejo que involucra tomar individuos silvestres del monte para formar las plantaciones y llevar algunos frutos cultivados para repoblar el monte, se incluyen las plantaciones en las EUS.

Plan de manejo

Parientes silvestres

Dado que se considera que las poblaciones de vainilla están influidas por la endogamia en mayor medida que por el resto de fuerzas evolutivas, y debido a que es una especie que depende de árboles de gran talla para desarrollarse, polinizadores específicos y de la interacción con hongos micorrícicos, se sugiere que las acciones de conservación que se lleven a cabo de aquí en adelante sean promoviendo la conservación *in situ*. Puesto que los parches de selva en los que se distribuye, *V. planifolia*, pertenecen a una o varias personas, éstas se deben de tener en consideración a través de la participación antes de plantear cualquier actividad.

La falta de información sobre la dinámica poblacional, la biología reproductiva y el flujo génico, indica que es necesario aumentar los estudios de las poblaciones silvestres de *V. planifolia* y de las especies hermanas, ya que comparten distribución natural y es posible la hibridación. Sin embargo, como la principal amenaza a las unidades de conservación definidas es la deforestación (Figura 9), se sugiere que se haga un vínculo con las acciones que se realizan para disminuir la deforestación y con los planes de manejo para otras especies (las acciones para el jaguar son una opción ya que es una especie que comparte distribución con la vainilla).

También, es necesario que *V. planifolia* se incluya en las listas de riesgo con la evaluación correspondiente, haciendo uso de la información que se ha generado hasta ahora. En el

2017 se realizó para la IUCN (Vega et al. 2017; ANEXO 3), pero aún es necesario actualizar el estatus de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT e incorporar información al CITES. Una propuesta para actualizar el MER se muestra en el ANEXO 4, cuyo resultado es que *V. planifolia* es una especie en peligro de extinción.



Figura 9. Fotografías tomadas en Tacotalpa, Tabasco. Se puede observar la deforestación y el cambio de uso de suelo.

Parientes domesticados

El amplio estudio de los parientes domesticados, la identificación de las demandas concretas de los productores y los resultados de nuestra encuesta (ANEXO 2) permiten determinar que, para conservar la variación genética que hay y posiblemente aumentarla, se pueden realizar las siguientes acciones (las primeras tres corresponden al manejo sobre individuos de la especie y el resto a acciones enfocadas al proceso de producción):

- 1.- Identificación genética de los esquejes que existen en las plantaciones de México para analizar la variación genética y para rastrear su posible origen.
- 2.- Fomentar el uso y manejo de otras especies de *Vanilla* para disminuir el impacto por extracción de individuos en las poblaciones silvestres y diversificar los productos que tengan características diferentes a las de los productos del resto del mundo.

- 3.- Producción de esquejes sanos a través de métodos que mantengan variación genética, los esquejes podrían ser utilizados tanto para las plantaciones como plantas de ornato.
- 4.- Ampliar el rango de la denominación de origen al resto de los productores de México.
5. Los precios cotizados durante el 2016 (Tabla 8) sugiere que el número de intermediarios va a influir en el precio final para el consumidor, por lo que modificar las formas de distribución puede ser útil para fomentar el consumo de productos de vainilla natural mexicana. Por lo tanto, se hace la siguiente propuesta:

Propuesta de red de distribución

Ya que una de las demandas del sector productivo es minimizar la desigualdad en la competencia en el mercado entre la vainilla natural y la sintética, se proponen dos soluciones principales. 1) en las salidas al campo y al dialogar con algunos productores y algunos consumidores, mencionaban que una razón por la que no consumían frecuentemente vainilla natural era porque no sabían dónde conseguirla (los consumidores). Para probar si había una relación entre el conocimiento de los sitios en dónde se puede comprar vainilla natural y la frecuencia con la que se adquiere, se analizaron los resultados de las preguntas 5 y 9 de la encuesta que fue aplicada (ANEXO 1 y 2).

El 69% de las personas que se encuestaron (de un total de 689 personas) respondieron que sí saben en dónde comprar vainilla natural mexicana, mientras que el 31% no sabe. De la misma forma, el 28% respondieron que sí compran frecuentemente vainilla y el 72% respondieron que no la compran frecuentemente. La X^2 empleada para confirmar si existía o no relación entre estas variables resultó en el rechazo de nuestra hipótesis nula, por lo que el desconocimiento de los sitios en los que se puede comprar vainilla natural mexicana influye en la compra frecuente o no de los productos (Tabla 9). Este resultado concuerda con la opinión de los encuestados: *no se encuentra fácilmente*.

Tabla 8. Comparación de los precios en pesos mexicanos de algunos productos que se pueden adquirir a través de productores o intermediarios (Precios cotizados en 2016, considerando la conversión de dólar americano a peso mexicano 1:18). *El precio depende de la concentración de vainilla natural

Productor/ intermediario	Producto	Precio (\$)
Elías García Los envíos se hacen por alguna empresa de mensajería y envíos. El costo lo cubre el cliente y el pago es por adelantado.	Vainas 1 kg	5400
	Vainilla molida 1kg	4000
	Vainilla molida tarro de 25 gr.	100
Gaya® (en la compra de una caja pagan el flete)	Vainilla (tubo 1 vaina)	40
	Vainilla (tubo 3 vainas)	90
	Polvo (tubo)	90
	Tubo Azúcar avainillada	80
	Tubo semillas	80
	Vaina gourmet (250 gr)	900
	Vaina gourmet (1 kg)	3500
	Extracto galón (1X)	1480
	Extracto galón (2X)	2830
	Licor galón	1100
Oscar (Productor-Finca Xanath)	Extracto 125 ml	80
	Extracto 250 ml	160
Zanilli (Palacio de Hierro®)	Extracto 125 ml	93
	Saborizante natural 125 ml	70
	Vaina 20 gr	157
Zanilli (Chedraui®)	Vaina 20 gr	170

Tabla 9. Resultados de la χ^2 para comprobar la relación entre la compra frecuente de vainilla natural mexicana y el conocimiento de los sitios en dónde adquirirla

	Valores observados		Valores esperados		χ^2	<i>p value</i>
	Sí	No	Sí	No		
Personas que compran frecuentemente						
Personas que saben dónde comprar						
Sí	164	252	115.62	300.37	72.20288	< 2. 2e-16
No	25	239	73.37	190.62		

Por lo tanto, la acción que se sugiere es que se promueva el contacto directo entre consumidores y productores, esto puede ser a través de un catálogo y de recursos en línea. La mayoría de los encuestados fueron contactados a través de recursos en línea, por lo que podría ser viable que la comercialización se haga a través de estos medios. Otra opción, debido al alto precio que puede llegar a tener un producto natural de vainilla, es promover su uso en alimentos procesados, ya sea en panaderías, heladerías o cafeterías (por poner algunos ejemplos). Estos negocios pueden comprar las materias primas a granel, por lo que podría resultar más económico, además, estarían ofreciendo productos de mayor calidad.

Por otro lado, referente a la segunda actividad que se propone, es vender el producto a un precio más accesible y justo con el fin de que los productores aumenten sus ganancias. Algunos productores tienen la capacidad de llevar la cadena de producción hasta el procesamiento de la materia prima, por lo que es posible la disminución de intermediarios. Si bien no se conoce el número exacto de productores potenciales para generar productos procesados, se observó que hay diferencias sustanciales entre el conocimiento sobre el manejo de la vainilla entre productores. En la Figura 10 se muestran dos tipos de plantaciones, la Figura 10A corresponde al sistema malla-sombra, mientras que la Figura 10B representa una plantación en la cual se decidió que la vegetación original se recuperara con el fin de favorecer el crecimiento de las vainillas para venderlas y, además, ofrecer paseos ecoturísticos. Son tales los beneficios de la segunda que se encontraron plántulas de vainilla creciendo, mientras que en la primera pueden observarse esquejes en estrés que, por lo mismo, disminuirán su producción.

Por lo tanto, la comunicación entre los productores podría ser fundamental para que los que poseen el conocimiento y la infraestructura para llevar a cabo el beneficiado, difundan

y compartan con los productores que no los poseen. Además, la constante comunicación podría favorecer el diseño de un plan para disminuir el robo de frutos. Tanto la primera acción, como la segunda pueden dirigirse a través de la modificación de la cadena de valor a una red de distribución en la que se comiencen a formar relaciones entre más productores y a su vez, tengan contacto directo con los consumidores.



Figura 10. Contrastes entre las diferentes formas de manejo en vainilleros de Veracruz. A) Cultivo intensivo en el que se mantiene a los esquejes con tutores artificiales y bajo malla-sombra (Foto: Tierra Fertil). B) Cultivo dentro de una parcela en la que se mantiene vegetación nativa con uso de tutores naturales haciendo uso de la misma sombra de los árboles (Foto tomada del Facebook Eco Park Xanath).

Para explorar la probabilidad de que los productores solventen la distribución de vainilla a los consumidores se hicieron dos modelos considerando rutas de menor costo y polígonos de Thiessen (Figura 11). Debido a que la mayoría de los productores se concentran en Veracruz, es más probable que pueda darse la distribución en el centro del país (Figura 11A). Los polígonos muestran que la demanda del noroeste del país se debería cubrir por un productor ubicado en San Luis Potosí (Figura 11B); sin embargo, cerca de la costa del Pacífico mexicano existen las condiciones ambientales indispensables para promover el cultivo de vainilla y considerando que el 83 % de las personas encuestadas respondieron que comprarían vainilla producida en cualquier estado, parece ser una opción viable. También, los polígonos sugieren que, en el suroeste y el noreste, desde Guerrero hasta la

península de Yucatán se podría promover más las redes de distribución productor-consumidor, ya que hay varios productores y casi no hay consumidores.

Aunque con estos modelos y los precios que se cotizaron (Tabla 8) es posible tener un panorama muy general, es indispensable que se realice la descripción completa de la cadena productiva a través del acercamiento directo con los productores, contabilizando el número de intermediarios y evaluando la influencia de éstos en el precio de los productos.

Por último, como acción de conservación general para el complejo se sugiere se realice difusión de la importancia biológica, cultural y económica de *V.planifolia* con diferentes públicos. Las secretarías y comisiones estatales tienen recursos económicos y gran influencia en los medios de comunicación por lo que son los principales candidatos para comenzar la difusión.

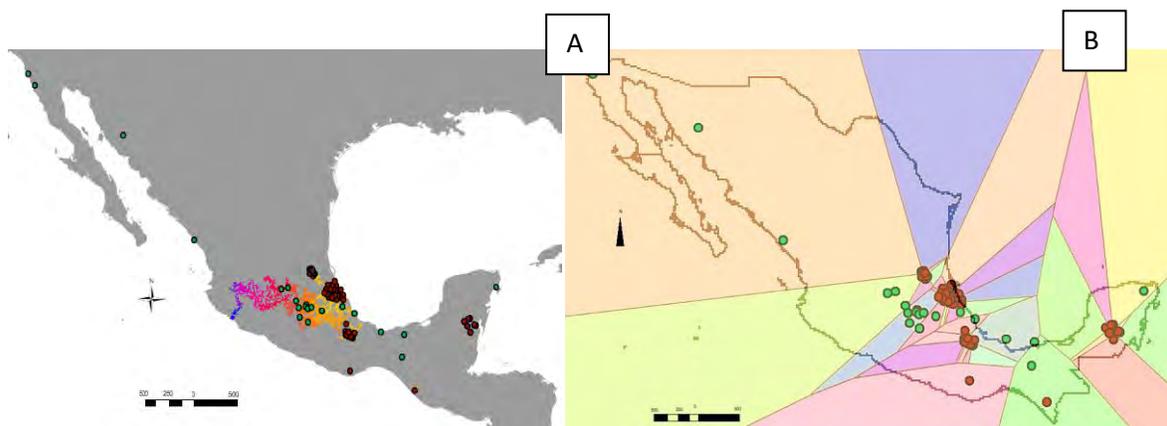


Figura 11. Modelos de distribución de productores (puntos rojos) hacia consumidores (puntos verdes). A) Rutas de menor costo a partir de la ubicación de los productores hacia los potenciales consumidores. La distribución con mayor probabilidad es en el centro del país. Los colores indican la probabilidad, los colores cálidos son las rutas y la distancia con mayor probabilidad de realizar, los colores fríos indican baja probabilidad de distribución. B) Proyección de los polígonos de Thiessen en el territorio mexicano a partir de la ubicación de los productores de vainilla.

DISCUSIÓN

Las estrategias de conservación para las especies en peligro de extinción suelen estar limitadas por las condiciones en las que se desarrollan. Es común que se enfoquen en un estudio y se planteen planes de manejo a partir de una sola disciplina (Barbero 2004; Gallardo 2009; CONABIO 2015; Marín 2016; Gasca 2016). La propuesta que se desarrolló a lo largo de este trabajo no está exenta de limitaciones, sin embargo, al considerar como fundamental el contenido genético de las poblaciones y los procesos que mantienen y modifican la diversidad genética tiene mayor posibilidad de conservar a la especie, ya que ésta seguirá evolucionando.

Esta propuesta tiene tres principales limitantes que pueden ser subsanados al darle continuidad al proyecto:

- Falta de información de la biología de la especie en condiciones naturales.
- El sector de encuestados para identificar posibles consumidores dejó de lado a los otros consumidores potenciales que no cuentan redes sociales virtuales o internet y a las empresas procesadoras de alimentos.
- Aún no se consulta a los productores para evaluar la propuesta de redes de distribución.

Sin embargo, se ha logrado un avance ya que las anteriores propuestas de conservación de la vainilla (Soto 2006; Red Vainilla 2011; Salazar 2011) habían quedado rebasadas ante la nueva generación de información. En estas propuestas se había considerada como prioritaria la zona del Totonacapan; ahora, también es importante considerar la zona de Oaxaca, Chiapas y Tabasco porque hay variación genética (Ramos-Castellá et al. 2016) y morfológica que puede ayudar a mantener sanos los cultivos. Además, se había propuesto que la mejor opción de conservación era de forma *ex situ*, sin considerar que las vainillas son orquídeas que, como el resto de la familia, requiere condiciones ambientales muy específicas (Solís-Montero et al. 2005; Bertolini y Archila 2016; Rojas et al. 2016) y son propensas a enfermedades de hongos (Adame-García et al. 2015), por lo que mantener un

banco de germoplasma vivo también requiere de más investigación de las condiciones óptimas del suelo.

Por otro lado, es necesaria la cooperación de todos los investigadores involucrados con el estudio del complejo de especie, para evitar que los esfuerzos de conservación se queden sin seguimiento o tengan sesgos. Por ejemplo, el actual banco *in vitro* de la Red Vainilla-Universidad Veracruzana en México cuenta con material genético limitado, que podría aumentarse al hacer colaboraciones con otras instituciones. Mantener colecciones de forma accesible y con material representativo de la diversidad de vainillas en México tiene más ventajas que el solo resguardar el material genético, ya que si se mantienen accesibles permitirán que haya avance en la investigación y por lo tanto, se puedan idear mejores estrategias de conservación. Además, al tratarse de especies en peligro de extinción se evita el impacto de la sobre colecta en las poblaciones silvestres.

Otro punto importante que debe recalcarse es que, por sus características ecológicas, *V. planifolia* es una especie rara¹⁸ por lo que la extracción o introducción de individuos puede causar mayores daños que si se tratara de una especie con otras características porque se pueden perder alelos que no están en otros individuos o introducir alelos que disminuyan la adecuación, y que, al tener ciclos de vida tan largos y eventos escasos de reproducción, no puedan ser depurados. De igual forma, al comparar la baja variación genética reportada (Cibrián 2000), con los niveles de heterocigosidad esperada de otras orquídeas se pueden observar niveles similares (He=382 en *Laelia speciosa* y He=160-170 en *Orchis mascula*; Ávila-Díaz y Oyama 2007; Jacquemyn et al. 2009), lo que lleva a concluir que, la baja heterocigosidad, es una condición de la familia Orchidaceae debido a sus estrategias de polinización y de compatibilidad (Cozzolino y Widmer 2005).

18 Con rareza me refiero a la rareza cuantitativa y la del hábitat, que según Rabinowitz (1981) se refieren a especies con bajo número de poblaciones y poco frecuentes por habitar ambientes muy específicos (respectivamente).

Por otro lado, esta tesis aporta una opción para solucionar el conflicto de la identificación taxonómica y logra ampliar el conocimiento de la variación morfológica foliar, ya que la identificación taxonómica de algunas especies de vainilla ha sido por décadas conflictiva debido a la similitud morfológica de tallo y hojas (Dressler 1993; Soto 2009). En comparación con los métodos moleculares, que han dado buenos resultados para la identificación de especies de vainilla; por ejemplo, a través del uso de marcadores ITS (Soto 2009; Villanueva *et al.* 2017), los análisis morfo-geométricos pueden resultar más accesibles para algunos investigadores. Las hojas tradicionalmente se han usado para clasificar especies por su amplia variación (Marzocca 1985) aunque en algunas especies de vainilla parecía no haber variación de forma en las hojas, no había un estudio formal que lo demostrara. Con el CVA se clasificaron los individuos de acuerdo con la asignación previa al estudio morfométrico, a partir de diferencias significativas (Figura 6A); además, el MANOVA a partir del CVA fue significativo entre especies lo que indica que la clasificación taxonómica que se hizo previamente fue correcta y cada especie tiene una forma de hoja bien definida, a pesar de la variación que haya dentro de cada individuo. A partir de este estudio podremos clasificar otros ejemplares observando las formas que se describen en los vectores de deformación o incluyéndolas a la base de datos que se conformó, usándola como patrón de referencia. Como lo menciona Cope y colaboradores (2012), la digitalización y el procesamiento de imágenes usando morfometría puede ser útil para diseñar mejores bases de datos con mayor acceso para el que desea clasificar una especie.

En otro orden de ideas, diferenciar entre individuos silvestres y domesticados de *Vanilla planifolia* presenta alta dificultad si no se observa el sitio en el que se desarrollaron (selva o plantación, respectivamente). Los aspectos evolutivos de su domesticación y las implicaciones ecológicas, genéticas, morfológicas y fisiológicas son desconocidas. La poca diferenciación morfológica y genética es consecuencia de cómo se inició el cultivo y de las prácticas de manejo actuales, principalmente por la propagación por esquejes, aunque hay

que considerar que si bien no se lleva a cabo una selección por semilla se elige el esqueje a partir de su color, vigor y tamaño (Baltazar 2010).

El análisis de variables canónicas logra discriminar entre ambos grupos, esta diferencia en la forma de las hojas resultó ser significativa. Como se observa en los vectores de deformación (Fig. 7B), la modificación entre hojas silvestres y domesticadas apenas es perceptible incluso por este método. Por un lado, la baja diferenciación entre las hojas de ambos grupos puede deberse al momento en el que está el proceso de domesticación de vainilla, según Clement (1999) podríamos ubicarla como una especie semidomesticada, mientras que, si usamos los conceptos desarrollados específicamente para el manejo durante la domesticación en Mesoamérica por Casas *et al.* (2007), los vainillales se ubican tanto en la etapa de recolección de frutos como fomentar el crecimiento de los individuos que se quieren cultivar pero sin moverlos de su sitio original y manejados por *protección*, que se refiere a eliminar competidores y depredadores. De acuerdo a estos conceptos de manejo la baja diferencia morfológica puede ser ocasionada porque el manejo no es intensivo, los individuos silvestres colectados para establecer las plantaciones no son llevados muy lejos de su distribución natural y se favorece la diversificación porque hay contacto con los parientes silvestres, esto se demuestra en el análisis de variables canónicas (Fig. 7A) ya que no estamos observando que en el grupo de las plantas domesticadas haya reducción de la variación morfológica foliar. Otra de las razones de que haya poca diferencia entre domesticadas y silvestres es que se trata de una especie que es perenne y que se reproduce principalmente por esquejes dentro de los cultivos, por lo que podría implicar un mayor tiempo percibir diferencias, sin embargo, es susceptible a acumular mutaciones somáticas por lo que puede mantener cierta diversidad (Miller & Gross 2011).

Las diferencias que hay en la forma de las hojas pueden estar relacionada con la hidráulica (capacidad de regular el flujo de agua), la termoregulación de la hoja o la disponibilidad de luz, pues las condiciones entre la selva y plantaciones difieren en cantidad de agua, luz y

temperatura principalmente por la densidad de árboles (Castro 2008; Nicotra et al. 2011; Diez et al. 2016), de esta forma podríamos estar observando variación que responde a las condiciones ambientales. En este sentido, es necesario aclarar que una de las ventajas que representa analizar la forma de la hoja a través de morfometría geométrica, es que se disminuye la variación que puede ser ocasionada por las condiciones ambientales, porque se separa la conformación de la forma que está mayormente asociada a las condiciones genéticas, del tamaño que se asocia más con las variables ambientales (Jaramillo 2011; Vásquez & Liria 2012).

Partiendo únicamente de las diferencias que se hallaron en la forma de la hoja, no podemos hablar de un síndrome de domesticación ya que éste se compone de un conjunto de rasgos. Hasta ahora se cuentan con tres evidencias: la diferencia en la forma de la hoja, las genéticas (Soto 1999; Lubinsky et al. 2008) y la diferencia en el contenido de metabolitos secundarios del fruto (Herrera et al. 2012), de forma que los resultados de este estudio alientan a profundizar sobre el proceso de domesticación de *Vanilla planifolia*. Se propone que se analicen otros rasgos, ya que pueden variar o no, en función de las condiciones en las que se realiza la domesticación (Parker et al. 2010).

Es interesante señalar que no es la primera vez que se observa que las hojas de una especie domesticada cambien de forma. En el 2013, Uscanga describe las diferencias morfológicas en hojas de algodón, demostrando que dentro de las hojas cultivadas prevalece una forma de lóbulos más ensanchados y que tienen menor variación en comparación con las silvestres, un patrón diferente a lo que sucede con las hojas de vainilla domesticada que tienen amplia variación.

Aunque el muestreo es de tamaño reducido, se representaron regiones geográficas variadas demostrando que: A) las plantas domesticadas, incluyendo las que no se encuentran en la zona del Totonacapan, son disímiles morfológicamente y diferentes a las

silvestres; B) a pesar de las diferentes condiciones ambientales en las que se desarrolló cada individuo, el agrupamiento no está dado por la cercanía geográfica, quiero decir, que los individuos cultivados ubicados cercanos a los silvestres no son tan similares como al resto de los individuos cultivados, por ejemplo, la hojas que se encuentran entre ambos grupos en el CVA (Fig. 5A) corresponden a individuos provenientes de Oaxaca (silvestre) y Chiapas (domesticado). Además, haciendo referencia a la suposición de que se tratase de clones la distancia a la que fue colectado cada individuo es mayor a 50 km por lo que tomando las referencias de Soto (1999) podemos asegurar que en nuestro muestreo hay individuos diferentes.

Retomando la propuesta de redes de distribución y a pesar de la limitante que significa la falta de consulta de los productores y el sesgo en los posibles consumidores consultados, los modelos presentados (Figura 11), la experiencia con otras redes en las que los productores se coordinan y comparten conocimiento (Torres 2011; Gerritsen et al. 2015), y lo que se conoce de las condiciones actuales de los productores, sugieren que puede llegar a concretarse. Si se logra aumentar el terreno de cultivo (en el oeste de México) las ventas y las ganancias, aunado a involucrar a los consumidores al conocimiento, aprovechamiento y conservación de la vainilla, se incentivará el cultivo.

Aunque hasta el día de hoy algunos productores se organizan en el Sistema Producto Vainilla, los mismos productores reconocen que los beneficios que reciben son limitados (Ferral 2014; Torres 2015). Entonces, para el funcionamiento de nuestra propuesta de red debe de existir un objetivo común para todos los participantes bajo las condiciones que ellos mismos decidan. Los resultados se tendrán que evaluar a largo plazo, principalmente respecto al flujo de información entre productores para compartir prácticas de manejo que mantengan la sanidad en los vainillales.

Es necesario recalcar que, si el Estado mexicano pretende cumplir con la agenda del CDB, debe impulsar y conservar la producción de vainilla tradicional debido a que por sus características (manejo sin productos químicos y aprovechamiento de especies nativas; Castro 2008; Baltazar 2010) puede definirse como sustentable. Además, de acuerdo con las respuestas de la pregunta 8 de la encuesta aplicada, el 82% de los encuestados preferirían consumir vainilla producida de forma orgánica¹⁹.

Por último, hay que dejar claro que la investigación científica produce conocimiento útil para que los tomadores de decisiones elijan la mejor opción en cuanto a la conservación de una especie. De acuerdo con sistema político-económico en el que vivimos el Estado está capacitado y es su obligación mantener nuestro derecho a un ambiente sano (Artículo constitucional 25, 73, 122²⁰), derechos que van ligados tanto por los Derechos Humanos²¹ y al Convenio de Diversidad Biológica.

Por lo tanto, su papel es fundamental para que se lleve a la práctica una estrategia de conservación.

CONCLUSIONES

Vanilla planifolia es una especie de gran importancia para México por lo que ampliar el conocimiento general de ésta, tanto silvestre como cultivada, resulta relevante para apoyar a los tomadores de decisiones en la aplicación de políticas públicas con el fin de conservar

19 De acuerdo con la FAO, la agricultura orgánica es conocida como el método agrícola en el que no se utilizan fertilizantes ni plaguicidas sintéticos, manejando el sistema agrícola de una forma holística que promueve y mejora la salud del agrosistema, con inclusión de la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo. Consultado en <http://www.fao.org/docrep/004/y1669s/y1669s04.htm> el 19 de abril de 2018.

20 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos disponible y actualizada en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_150917.pdf

21 Derecho a un ambiente sano: *Toda persona tiene derecho a gozar de un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado para su desarrollo y bienestar; corresponde al Estado garantizar este derecho. Quien ocasione un daño o deterioro ambiental tendrá las responsabilidades que establezcan las leyes.* Derechos Humanos consultados en: http://www.cndh.org.mx/Cuales_son_derechos_humanos.

la vainilla silvestre y su hábitat, así como los procesos evolutivos que mantienen su diversidad genética.

La variación en la forma de la hoja cuantificada a través de morfometría geométrica es suficiente para discriminar entre especies de manera significativa. De igual forma, es útil para analizar las diferencias foliares relacionadas con el proceso de domesticación de *Vanilla planifolia*. Por un lado, se ha creado una base de referencia para identificar de manera más eficiente individuos que se colecten o que se encuentren en colecciones (vivas y herbario) y por el otro, se ha corroborado la diferencia entre individuos cultivados y silvestres.

Las redes de distribución, de acuerdo con contexto social y económico actual y considerando los resultados de los proyectos que se han desarrollado, son una buena alternativa para fortalecer y conservar el cultivo de vainilla mexicana manteniendo el derecho de decisión de los actores sobre los recursos naturales. Conservar el cultivo de vainilla en el marco del Convenio de Diversidad Biológica es un paso fundamental en la estrategia de conservación de *Vanilla planifolia*.

PERSPECTIVAS

De acuerdo con nuestros resultados se propone que los trabajos subsecuentes a este sean:

- Análisis de la variación genética en y entre individuos silvestres y domesticados de *Vanilla planifolia* a través de secuenciación masiva GBS.
- Análisis de la variación genética entre especies del género *Vanilla* a través de secuenciación masiva GBS.
- Diseñar experimentos de jardín común para documentar la plasticidad fenotípica en y entre plantas silvestres y plantas domesticadas.
- Realizar observaciones de visitantes florales y polinizadores en condiciones naturales.
- Realizar observaciones de dispersores en condiciones naturales.

- Diseñar un programa de difusión de la ciencia entorno a la vainilla natural y mexicana.
- Estudio de la microbiota del suelo en condiciones naturales y plantaciones.
- Realización de talleres participativos con los productores, académicos, consumidores y representantes de las secretarías estatales involucradas.
- Descripción detallada de la cadena productiva y la relación con el costo de los productos de vainilla natural mexicana.

REFERENCIAS

- Bookstein F. 1991. Morphometric tools for landmark data: geometry and biology. Cambridge: Cambridge University Press. 6-7 pp.
- Adame-García J, Rodríguez R, Iglesias L, Ramos J y Luna M. 2015a. Molecular identification and pathogenic variation of *Fusarium* species isolated from *Vanilla planifolia* in Papantla Mexico. Botanical Sciences 93(3):669-678
- Adams D, Rohlf F y Slice D. 2013. A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy 24(1):7-14.
- Alavez V y Wegier A. 2016. A conceptual framework for conservation and biosafety at Mesoamerican crop centers of origin and domestication. En: Lira R y Casas A (eds.). Ethnobotany of Mexico: Interactions of People and Plants in Mesoamerica. Springer, New York. 900 pp.
- Álvarez, C. 2012. Identificación y caracterización bioquímica, morfológica y molecular de microorganismos cultivables asociados a la rizósfera y al sustrato de plantas de vainilla. Tesis de Maestría en Ciencias- Geomorfología y Suelos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- ASERCA 2002. De nuestra cosecha. La vainilla en México, una tradición con alto potencial.
- Ávila-Díaz I y Oyama K. 2007. Conservation genetics of fan endemic and endangered epiphytic *Laelia speciose* (Orchidaceae). American Journal of Botany 94(2): 184-197.

- Azofeifa J, Paniagua A y García J. 2014. Importancia y desafíos de la conservación de *Vanilla sp.* en Costa Rica. *Agronomía mesoamericana* 25(1): 189-202.
- Baltazar P. 2010. Caracteres morfológicos de vainilla (*Vanilla planifolia* J.) utilizados por el agricultor en la selección de material reproductivo en cuatro municipios del Totonacapan, México. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Puebla, México.
- Barbero J. 2004. La educación ambiental como estrategia de conservación en el parque estatal "Sierra de Guadalupe ". Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional autónoma de México, Los Reyes Iztacala, Edo. De México, México.
- Barrera-Rodríguez A, Herrera-Cabrera B, Jaramillo-Villanueva J, Escobedo J y Bustamante A. 2009. Caracterización de los sistemas de producción de vainilla (*Vanilla planifolia* A.) Bajo naranjo y en malla sombra en el Totonacapan. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10(2):199-212.
- Bautista A, Parra F y Espinosa-García F. 2012. Efectos de la domesticación de plantas en la diversidad fitoquímica. En: Rojas J y Malo E (eds.). *Temas Selectos en Ecología Química de Insectos*. El Colegio de la Frontera Sur. México. 253-267 pp.
- Bayman P, Mosquera-Espinosa A y Porras-Alfaro A. Mycorrhizal relationships of *Vanilla* and prospects for biocontrol of root rots. 2011. En: Havkin, D. y Belanger, F (eds). *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Willey-Blackwell, USA. 266-280 pp.
- Bertolini V y Archila F. 2016. *Ponthieva nicolasii* (Orchidaceae), a new specie from Hidalgo, México. *Gayana Bot.* 73(2):462-466.
- Blancas J, Casas A, Moreno-Calles, A y Caballero J. 2016. Cultural motives of plant management and domestication. En: Lira R, Casas A y Blancas J (eds.) *Ethnobotany of Mexico. Interactions of people and plants in Mesoamerica*. Springer Nature. New York, USA. 233-256 pp.
- Brown T, Jones M, Powell W y Allaby R. 2009. The complex origins of domesticated crops in the fertile crescent. *Trends in Ecology and Evolution* 24(2): 103-109.
- Buckler IV E y Thornsberry J. 2001. Molecular diversity, structure and domestication of grasses. *Genetics Research* 77(3): 213-218.

- Cameron, Ki y Soto, M. 2003. Vanilloideae. In Pridgeon Am. Cribb, P, Chase, M, Rasmussen, F. (eds.) *Genera Orchidacearum*, vol. 3 Orchoideae Part. 2. Oxford University Press, Oxford 281-334 pp.
- Casas A, Otero A, Pérez E y Valiente A. 2007. *In situ* management and domestication of plants in Mesoamérica. *Annals of Botany* 100(1):1101-1115.
- Cassanova G. 2004. Las nuevas ciencias y las humanidades: de la academia a la política, Barcelona, Anthropos-UNAM-IIS.
- Castillo R y Engleman E. 1993. Caracterización de dos tipos de *Vanilla planifolia*. *Acta Botánica Mexicana* 25: 49-59.
- Castro G. 2008. Evaluación del cultivo y producción de vainilla en la zona de Papantla, Veracruz, México. Tesis de doctorado. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México.
- CDB 1992. Convenio de Diversidad Biológica. 1992. Río de Janeiro, Brasil.
- Challenger A y Soberón J. 2008. Los ecosistemas terrestres, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 87-108 pp.
- Childers N y Cibes H. 1948. *Vanilla* culture in Puerto Rico. Circular No. 28, Federal Experiment Station in Puerto Rico. United States Department of agricultural. Office of Experiment Stations.
- Cibrián A. 2000. Variación genética de *Vanilla planifolia* en México. Tesis de maestría. UNAM, México.
- Clement C. 1999. 1942 and the loss of Amazonian crop genetic resources. I. the relation between domestication and human population decline. *Economic Botany* 53(2): 188-202.
- Colunga-GM P. 1990. Recursos genéticos nativos disponibles en la península de Yucatán - importancia de su conservación. *Boletín de la Escuela de Ciencias Antropológicas de la Universidad Nacional Autónoma de Yucatán* 17(102): 3-32.
- CONABIO. 2015. Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del estado de Campeche. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Gobierno de Campeche (SMAAS). México.

- Cozzolino S y Widmer A. 2005. Orchid diversity: an evolutionary consequence of deception? *Trends in Ecology and Evolution* 20(9): 487-494.
- Cruse-Sanders J y Casas A. 2017. Impactos evolutivos de las actividades humanas sobre las plantas: manejo, domesticación y conservación in situ y ex situ. En: Casas A, Torres-Guevara J y Parra-Rondinel F (eds.) *Domesticación en el continente americano Vol 2*. UNAM/UNALM. 451-473.
- CTEEP Comité Técnico Estatal de Evaluación de Puebla. 2011. Estudio de Evaluación y diagnóstico de la cadena productiva de vainilla Puebla, Organismo Auxiliar del Fideicomiso Revocable de Inversión y Administración "Fondo Alianza para el Campo Poblano"
- Cubero J. 2013. Introducción a la mejora genética vegetal. 3° edición. Ediciones Mundi-Prensa, España. 17-19 pp.
- Damiron R. 2004. La vainilla y su cultivo. Veracruz Agrícola, Dirección General de Agricultura y Fitosanitaria.
- Darwin C. 1859. *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London
- Diez C, Moreno F y Gantiva E. 2016. Effects of light intensity on the morphology and CAM photosynthesis of *Vanilla planifolia* Andrews. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 70(1): 8023-8033.
- Doebley J, Gaut B y Smith B. 2006. The molecular genetics of crop domestication. *Cell* 127: 1309-1321.
- Dressler R. 1993. *Field Guide to the Orchids of Costa Rica and Panama*. Comstock Publishing Associates. Ithaca y Londres. 325-326 pp.
- Ecott T. 2004. *Vanilla: travels in search of the luscious substance*. Penguin Group. Londres, Inglaterra. 304 pp.
- Elorza P, López M, Hernández A, Olmedo G, Domínguez C y Maruri J. 2007. Efecto del tipo de tutor sobre el contenido de vainillina y clorofila en vainas de vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews) en Tuxpan, Veracruz, México. *Revista UDO Agrícola* 7(1): 228-236.

- Falk D y Holsinger K. 1991. Genetics and Conservation of rare plants. Center for plant conservation. Oxford University Press. 59-71 pp.
- Félix, J. 2007. El cultivo de Vainilla y sus principales plagas. Monografía para obtener el grado de Ingeniero Agrícola y ambiental. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México.
- Ferral M. 31 de enero de 2014. Papantla- Piden destitución de Crispín Pérez. El Heraldo de Veracruz. En: <http://elheraldodeveracruz.com.mx/estado/estatal/2004-papantla-piden-destitucion-de-crispin-perez.html>
- Fink W. 1990. Data Acquisition for morphometric analysis in systematic biology. En: Rohlf F y Bookstein F (eds.). Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop. Special Publication No. 2. The University of Michigan Museum of Zoology. 9-19 pp.
- Fontecilla A. 1861. Breve tratado sobre el cultivo y beneficio de la vainilla. México.
- Ford A. y Nigh R. 2015. The Maya Forest Garden: Eight millennia of sustainable cultivation of the tropical woodlands. UCSB.
- Fox J. 2005. The R Commander: a basic statistics graphical user interface to R. Journal of Statistical Software 14(9):1-12.
- Futuyma D. 2013. Evolution. Tercera edición. Stony Brook University, USA. 347-378 pp.
- Gallardo M. 2009. Diagnóstico y estrategia para la conservación a largo plazo de la Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala. Tesis para obtener el grado de maestra en Ciencias biológicas, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Gamboa-Gaitán, M. 2014. Vainillas colombianas y su microbiota. II. Diversidad, cultivo y microorganismos endófitos. Universitas Scieentiarium. 19(3):287-300.
- García, J. 2013. Exploración etnobotánica y alternativas de conservación de la vainilla (*Vanilla planifolia* J.) en la Sierra Nororiental de Puebla, México. Tesis de licenciatura, Universidad Intercultural del Estado de Puebla, Huehuetla, Puebla, México.
- Garnica R y Galvis S. 2014. análisis geográfico del turismo desde la perspectiva espacial de los equipamientos y sitios de interés turístico en Montería, una ciudad ribereña al norte de Colombia. Revista Geográfica de América Central 52(1):117-138

- Gasca J. 2014. Genética de la conservación del bisonte de la pradera (*Bison bison bison*) y del borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) en México. Tesis para obtener el grado de Doctor en ciencias. Instituto de ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Gätjens O y Montero W. 2012. Desarrollo de una nueva metodología de transformación genética no tradicional, como estrategia potencial para inducir resistencia a infecciones fúngicas en vainilla (*Vanilla planifolia*). Informe final de investigación. Instituto Tecnológico de Costa Rica sede San Carlos.
- Gepts P y Papa R. 2002. Evolution during domestication. Encyclopedia of life sciences. 1-7 pp.
- Gerritsem P, Morales J y Bernardo M. 2015. Actos de resistencia ya autonomía: hacia la construcción de sustentabilidad rural desde la localidad, en Jalisco, Occidente de México. En: Duran L, Figueroa F y Guzmán M (eds). La naturaleza en contexto. Hacia una ecología política mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, El Colegio de San Luis, A. C. México, 165-189 pp.
- Gibbs J. 2008. Monitoring for Adaptive Management in Conservation Biology. Lessons in Conservation 2(1): 5-18
- Gifford E y Foster A. 1989. Morphology and evolution of vascular plants. W.H. Freeman, New York, EUA. 267 pp.
- Gigant R, Bory S, Grisoni M y Pascale B. 2011. Biodiversity and evolution in the *Vanilla* genus. En: Grillo, O. y Venora, G. (eds.) The dynamical processes of biodiversity: case studies of evolution and spatial distribution. Rijeka: InTech: 1-26.
- Glowka L, Burhenne-Guilmin F, Synge H, McNeely J y Günding L. 1994. A guide to the convention on biological diversity. IUCN Environmental Law Centre y IUCN Biodiversity Programme. 15-16 pp.
- Gómez C. 2017. Orquídea silvestre: un cultivo con potencial económico. Conacyt agencia informativa. 29 de enero de 2017.

- Govindaraj M, Vetriventhan M y Srinivasan M. 2015. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives. *Genetic Research International* 2015(2015): 1-14
- Guerrero A. 2017. Producción de vainilla ha disminuido. *El Diario Martinense*. 15 de julio de 2017.
- Hágsater E, Soto M, Salazar G, Jiménez R, López M y Dressler R. 2015. Las orquídeas de México, Instituto Chinoín, México. 304 pp.
- Hernández M. 1997. Crecimiento y reproducción de *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) en Usila Oaxaca. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Hernández-Ruíz J, Herrera E, Delgado A, Salazar V, Bustamante A, Campos J y Ramírez J. 2015. Distribución potencial y características geográficas de poblaciones silvestres de *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) en Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical* 64(1):235-246.
- Herrera B, Salazar V, Delgado A, Campos J y Cervantes J. 2012. Use and conservation of *Vanilla planifolia* J. in the Totonacapan region, México. *European Journal of Environmental Sciences* 2(1):43-50.
- Humboldt A. 1984. Ensayo político sobre el reino de la Nueva España. 4ª ed., Porrúa, México.
- Iglésias S, Toulhoat L y Sellos D. 2010. Taxonomic confusion and market mislabeling of threatened skates important consequences for their conservation status. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 20: 319-333.
- INCA-SAGARPA. 2013. Convocatoria del Fondo Concursable para Acceder a los Apoyos del Componente Desarrollo Integral de Cadenas de Valor.
- Innan H y Kim Y. 2004. Pattern of polymorphism after strong artificial selection in a domestication event. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101(29): 10667-10672.
- Jacquemyn H, Brys R, Adriaens D, Honnay O y Roldán-Ruiz I. 2009. Effects of population size and forest management on genetic diversity and structure of the tuberous orchid *Orchis mascula*. *Conservation Genetics* 10: 161-168.

- Jaramillo N. 2011. Morfometría geométrica: principios teóricos y métodos de empleo. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Kalanowka M. 2014. The orchid flora of the colombian department of Valle del Cauca. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1):445-462.
- Klimes I y Lampasky D. 1996. *Vanilla* volatiles- A comprehensive analysis. *Int. flavors food Addit.* 272-276
- Klingenberg C. 2010. Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches. *Nature Review. Genetics.* 11(9):623-635.
- Kourí E. 2013. Un pueblo dividido. Comercio, propiedad y comunidad en Papantla, México. Trad. De Mario A. Zamudio Vega. Fondo de Cultura Económico, El Colegio de México. México. 454 pp.
- Kukkala A y Moilanen A. 2013. Core concepts of spatial prioritization in systematic conservation planning. *Biological Reviews* 88(1): 443-464.
- Leimu R, Vergeer P, Angeloni F y Joop N. 2010. Habitat fragmentation, climate change, and inbreeding in plants. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1195(1): 84-98.
- Longares A. 2006. Determinación espectrofotométrica de vainillina y *p*-hidroxibenzaldehído a partir de extracción de *Vanilla fragans* utilizando microondas focalizadas. Tesis de licenciatura en Ingeniería Química. Facultad de Química, Universidad Nacional autónoma de México, Ciudad de México, México
- Lubinsky P, Bory S, Hernández J, Kim S y Gómez A. 2008a. Origins and Dispersal of Cultivated Vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. (Orchidaceae)). *Economic Botany*, 62(2): 127-198.
- Maceda A. 2015. Distribución potencial, caracterización morfológica y conocimiento tradicional de *Vanilla planifolia* J. en la región de la huasteca hidalguense, México. Tesis de maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Puebla, México.
- Manel S, Schwartz M, Luikart G y Taberlet P. 2003. Landscape genetics: combining landscape ecology and population genetics. *Trends in Ecology and Evolution* 18(1):189-197.

- Marcus L. 1990. Traditional morphometrics. En: Rohlf F y Bookstein F (eds.). Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop. Special Publication No. 2. The University of Michigan Museum of Zoology. 77-122 pp.
- Marín A. 2016. Estado actual y estrategia de conservación de los perros llaneros de cola negra (*Cynomys ludovicianus*) en la Reserva de la Biosfera de Janos, Chihuahua, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Marzocca A. 1985. Nociones básicas de taxonomía vegetal. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
- Mauseth J. 1988. Plant anatomy. Addison Wesley/Benjamin Cummings, San Francisco, California. 158-165 pp.
- Meyer R y Purugganan M. 2013. Evolution of crop species: genetics of domestication and diversification. Nature Reviews Genetics 14: 840-852.
- Miller A y Gross B. 2011. From forest to field: perennial fruit crop domestication. American Journal of Botany 98(9): 1389-1414.
- Minoo, D., Babu, K., Ravindran, P. y Peter, K. 2006. Interspecific hybridization in *Vanilla* and molecular characterization of hybrids and selfed progenies using RAPD and AFLP markers. Scientia Horticulturae 108(1): 414-422
- Mitteroecker P y Gunz P. 2009. Advances in geometric morphometrics. Evolutionary Biology 36(2):335-247.
- Moritz C. 1999. Conservation units and translocations: strategies for conserving evolutionary processes. Hereditas 130(1):217-228.
- Moritz C. 2002. Strategies to protect biological diversity and the evolutionary processes that sustain it. Systematic Biology 51(2):238-254.
- Nicotra A, Atkin O, Bonser S, Davidson A, Finnegan E, Mathesius U, Poot P, Purugganan M, Richards C, Valladares F y van Kleunen M. 2010. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. Trends in Plant Science 15(1): 684-692.

- Noguera E y Cetzal W. 2014. Revisión e integración del conocimiento de las Orchidaceae de Tabasco, México. *Botanical Science* 92(4): 519-540.
- Nonaka I, Toyama R y Nagata A. 2000. A firm as a knowledge-creating entity: a new perspective on the theory of the firm. *Industrial and Corporate Change* 9(1):1-20
- Ocampo J, Arias J y Urrea R. 2015. Colecta e identificación de genotipos élite de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 9(1):9-23.
- Ordoñez N, Otero J. y Díez M. 2012. Hongos endófitos de orquídeas y su efecto sobre el crecimiento en *Vanilla planifolia* Andrews. *Acta Agronómica* 61(3):282-290.
- Oviedo R y González-Oliva. 2015. Lista nacional de plantas invasoras y potencialmente invasoras en la República de Cuba. *Bissea* 9 (2):1-88.
- Parcker I, López I, Petersen J, Anaya N, Cubilla-Rios L y Potter D. Domestication syndrome in caimito (*Chrysophyllum caimito* L.): fruit and seed characteristics. *Economic Botany* 64(2): 161-175.
- Pérez, Y. 2013. *Vanillas* en Cuba. *Orquideología* 30(1):5-16.
- Piñero D, Caballero J, Cabrera D, Canteros C, Casas A, Castañeda A, Castillo A, Cerritos R, Chassin O, Colunga P,... y ZúñigaG. 2008. La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. En: *Capital natural de México vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México 437-494 pp.
- Pírez P. 1995. Actoressociales y gestión de la ciudad. *Ciudades* 28(1): 1-12
- Pointeau, N. 2011. La transmisión de saberes: la producción de vainilla en la colonia francesa de san Rafael, Veracruz (1874-1891). *Jornada de los Jóvenes Americanistas*.
- Porter M. 2009. *Estrategia competitiva. Técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia*. Trigésima novena reimpresión. Grupo Editorial Patria.
- Rabinowitz D. 1981. Seven forms of rarity. En: Syngé H (ed). *The Biological aspect of Rare Plant Conservation*. Elsevier. 205-2017 pp.

- Ramírez A y Aránguiz F. 2015. Experiencia de adquisición de alimentos a la agricultura familiar en el programa de alimentación escolar de Brasil: factores determinantes para su diseño. *Investigación Agraria* 17(1):3-17.
- Ramos-Castellá A, Iglesias-Andreu L, Martínez-Castillo J, Ortíz-García M, Andueza-Noh R, Octavio-Aguilar P y Luna M. 2016. Evaluation of molecular variability in germplasm of *Vanilla planifolia*. *Plant Genetic Resources* 15(4):310-320.
- Retheesh S y Bhat I. 2011. Genetic transformation and regeneration of transgenic plants from protocorm-like bodies of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) using *Agrobacterium tumefaciens*. *Journal of Plant biochemistry and Biotechnology* 20(1):262-273.
- Rohlf F. 1971. Perspectives on the application of multivariate statistic to taxonomy. *Taxon* 20(1):85-90.
- Rohlf F. 2015. The tps series of software. *hystrix, the Italian Journal of Mammalogy* 26(1): 1-4.
- Rojas M, Morales C y Blanco M. 2016. Conservación de orquídeas en una reserva privada de - Palmares, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED* 8(2): 231-240.
- Rostgaard L. 2008. Natural hybridation between *Vanilla claviculata* (W.Wright) Sw. and *V. barbellata* Rchb.f. (Orchidacea): genetic, morphological, and pollination experimental data. *Botanical Journal of the Linnean society* 133(3): 285-302.
- Ruíz A. 1991. Cafeticultura y economía en una comunidad totonaca. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes: Instituto Nacional Indigenista. México. 203 pp.
- SAGARPA 2012. Agricultura familiar con potencial productivo en México.
- SAGARPA. 2011. Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur-sureste de México: trópico húmedo 2011. Paquete tecnológico vainilla (*Vanilla planifolia* Jackson). Establecimiento y mantenimiento.
- Salazar V. 2011. Estrategia e uso y conservación del germoplasma de *Vanilla planifolia* Jack en la región totonacapan Puebla-Veracruz. Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, Puebla, México.
- Salazar-Rojas V, Herrera-Cabrera B, Delgado- Alvarado A, Soto-Hernández M, Castillo-González F y Cobos-Peralta M. 2010. Chemotypical variation in *Vanilla planifolia* Jack.

(Orchidaceae) from the Puebla-Veracruz Totonacapan región. Genetic Resource Crop Evolution 59(1):875-887.

-Sánchez O, Medellín R, Aldama A, Goettsch B, Soberón J y Tambutti M. 2007. Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

-Santos C. y de Gortari R (coordinadoras). 2016. Las redes: herramientas para la competitividad de las empresas rurales en México. Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM; Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Juan Pablos Editor. 300 p.

-Schlüter, P., Soto, M. y Harris, S. 2007. Genetic variation in *Vanilla planifolia* (Orchidaceae). Economic Botany 61(4):328-336.

-SHCP. 2014. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica, Análisis Sectorial y Tecnologías de la Información. Panorama de la Vainilla.

-Sheets D. 2014. IMP8. Canisius College, Buffalo, USA.

-SIAP. 2015. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consultado el 17 de junio de 2017: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp

-Sinha A, Sharma U y Sharma N. 2007. A comprehensive review on vanilla flavor: extraction, isolation and quantification of vanillin and others constituents. International Journal of Food Sciences and Nutrition 59(4): 299-326.

-Sistema Producto Vainilla. 2011. Agregación de valor a la Vainilla planifolia.

-Slatkin M. Gene flow in natural population. 1985. Annual Review of Ecology and Systematics 16(1): 393-430.

-Slice D. 2007. Geometric Morphometrics. Annu. Rev. Antropol. 36: 261-281.

-Solís-Montero L, Flores-Palacios A y Cruz-Angón A. Shade-coffee plantation as refuges for tropical wild orchids in central Veracruz, Mexico. Conservation Biology 19(3):908-916.

- Sostaric T, Boyce M y Spickett E. 2000. Analysis of the volatile components in *Vanilla* extracts and flavorings by solid- phase microextraction and gas chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48(12): 5802-5807.
- Soto M y Dressler R. 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(3):285-354.
- Soto M. 2009. Recopilación y análisis de la información existente sobre las especies mexicanas del género *Vanilla*. Instituto de Ecología-CONABIO. México.
- Soto M. 1999. Filogeografía y recursos genéticos de las vainillas de México. Instituto Chinoín AC. Informe final SNIB- CONABIO proyecto No. J101. México.
- Soto M. y Cribb P. 2010. A new infrageneric classification and synopsis of the genus *Vanilla* Plum. Ex Mill. (Orchidaceae: Vanillinae). *Lankesteriana* 9(3): 355-398.
- Taylor B y Dizon E. 1999. First policy the science: why a management unit based solely on genetic criteria cannot work. *Molecular Ecology* 8(1): S11-S16.
- Torres F. 2011. el abasto de alimentos en México hacia una transición económica y territorial. *Revista Problemas del Desarrollo* 166 (42): 63-84
- Uscanga A. 2013. Variación foliar del algodón (*Gossypium hirsutum*) silvestre y cultivado en México. Tesis para obtener el título de Bióloga, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Vásquez M y Liria J. 2012. Morfometría geométrica alar para la identificación de *Chrysomya albiceps* y *C. megacephala* (Diptera: Calliphoridae) de Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 60(3): 1249-1258.
- Vega M, Hernández M, Herrera-Cabrera B.E. y Wegier A. 2017. *Vanilla planifolia*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T103090930A103090933. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T103090930A103090933.en>. Downloaded on 08 January 2018

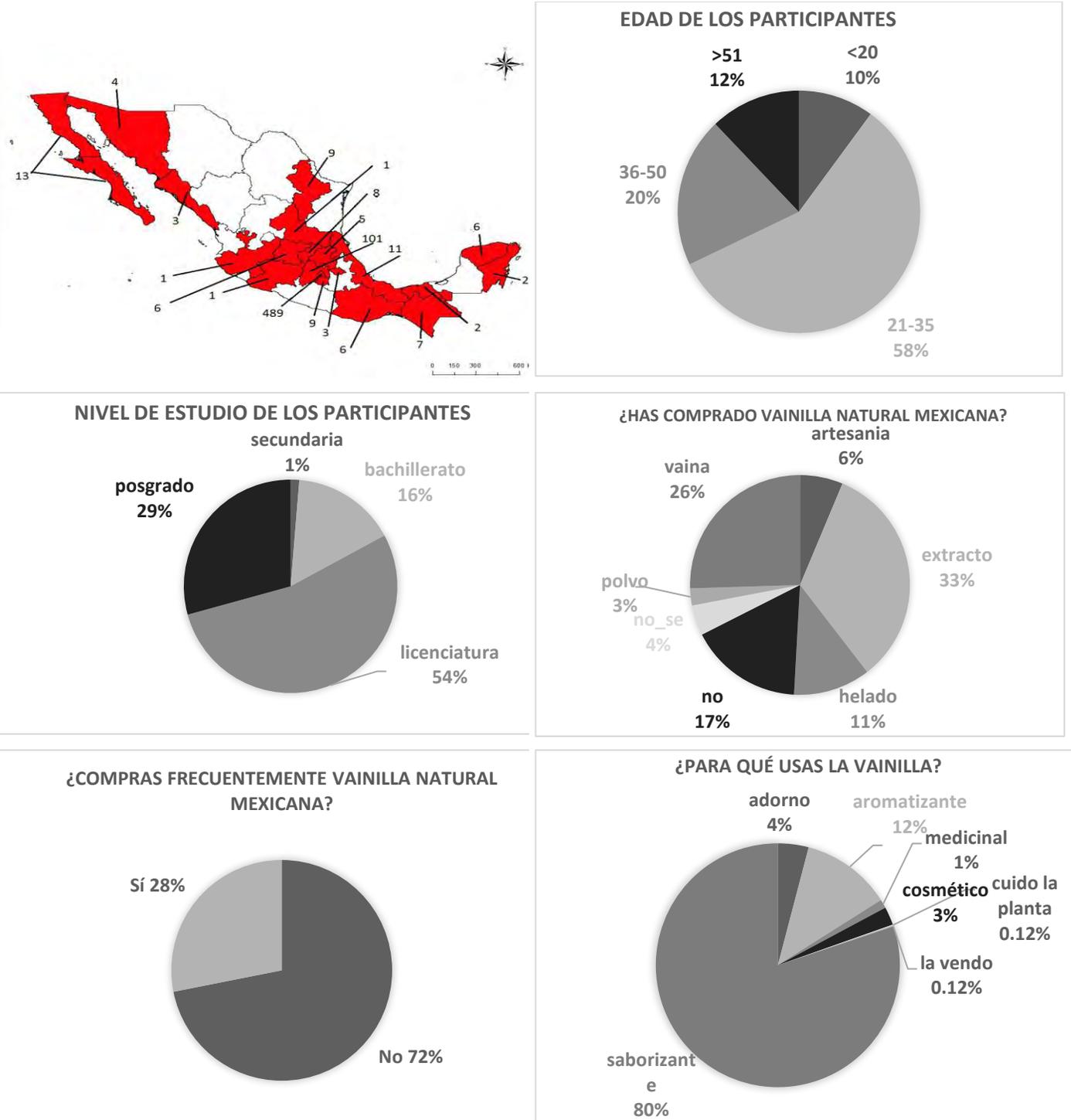
- Verma P, Chakrabarty D, Narayan S, Misha D, Singh P, Sawant S y Tuli R. 2009. The extent of genetic diversity among *Vanilla* species: comparative results for RAPD and ISSR. *Industrial crops and products* 29:581-589.
- Villanueva S, Hernández M, Fernández G, Dorantes A, Dzib G y Martínez J. 2017. Wild *Vanilla planifolia* and its relatives in the Mexican Yucantan Peninsula: Systematic analyses with ISSR and ITS. *Botanical Sciences* 95(2): 1-19.
- Wegier A, Alavez V, Jardón Lev y Petrone S. 2012. Prueba superada: un marco conceptual para la conservación y bioseguridad en los centros de origen y domesticación mexicanos. *Oikos* 5(1):23-28
- Zeldritch M, Swiderski D, Sheets D y Fink W. 2004. Simple size and shape variables: Bookstein shape coordinates. En Zeldritch M, Swiderski D, Sheets D y Fink W (coord). *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. Elsevier Academic Press, New York and London, 51-72 pp.
- Zohary D. 2004. Unconscious selection and the evolution of domesticated plants. *Economic Botany* 58(1):5-10.

ANEXO 1. Encuesta aplicada.

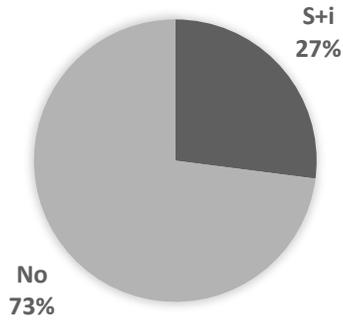
Esta encuesta forma parte del proyecto *Genética de la conservación de Vanilla planifolia* desarrollado en el laboratorio de Genética de la conservación del Jardín Botánico del Instituto de Biología, UNAM. El objetivo es conocer qué tanto sabes sobre la vainilla natural mexicana. Si quieres involucrarte más en el proyecto puedes escribirnos a la página de Facebook Conserva más.

<p>1.- ¿En qué ciudad vives?</p>	<p>6.- ¿Para qué la usas?</p> <p>Aromatizante Saborizante Cosmético Adorno Medicinal Otro</p>
<p>2.- ¿Qué edad tienes?</p> <p>Menor de 20 21 - 35 36 - 50 Más de 51</p>	<p>7.- ¿Revisas la cantidad de vainillina que contiene la vainilla líquida?</p> <p>Sí No ¿Por qué?</p>
<p>3.- ¿Cuál es tu nivel de estudios?</p> <p>Secundaria Preparatoria Licenciatura Posgrado</p>	<p>8.- ¿Compraría vainilla natural producida en cualquier estado de la república?</p> <p>Sí No ¿Por qué?</p>
<p>4.- ¿Has comprado vainilla NATURAL mexicana?</p> <p>No No sé Vaina Polvo Extracto Artesanía Helado</p>	<p>9.- ¿Sabes dónde se puede comprar la vainilla natural?</p> <p>No Tiendas naturistas Súper mercado Mercado o tianguis local Tienda orgánica Otro _____</p>
<p>5.- ¿Compras FRECUENTEMENTE vainilla natural mexicana?</p> <p>Sí No Explica por qué</p>	<p>10. ¿Preferirías comprar vainilla natural orgánica?</p> <p>Sí No ¿Por qué?</p>

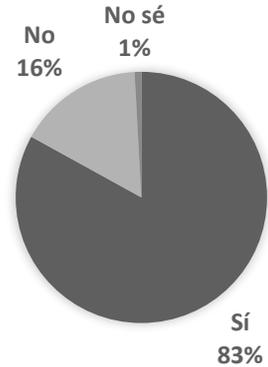
Anexo 2 Gráficas correspondientes a los resultados de la encuesta



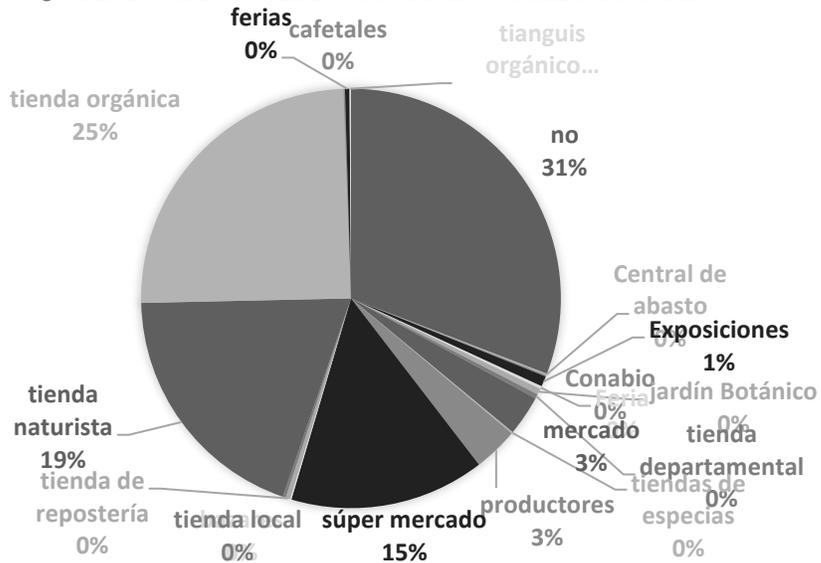
¿REVISAS LA CANTIDAD DE VAINILLINA QUE CONTIENE LA VAINILLA LÍQUIDA?



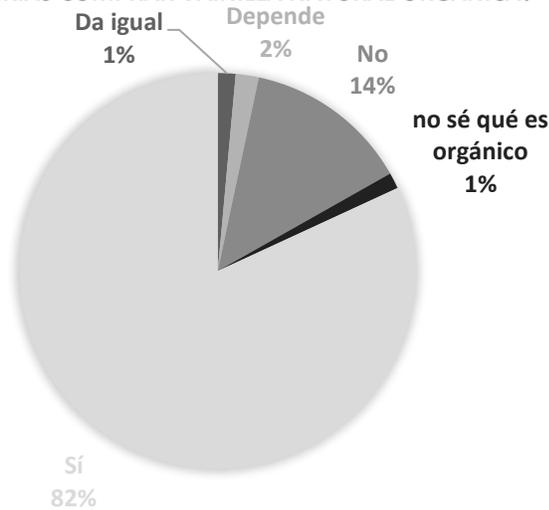
¿COMPRARÍAS VAINILLA NATURAL PRODUCIDA EN CUALQUIER ESTADO DE LA REPÚBLICA?



¿SABES DÓNDE SE PUEDE COMPRAR LA VAINILLA NATURAL?



¿PREFERIRÍAS COMPRAR VAINILLA NATURAL ORGÁNICA?



ANEXO 3



The IUCN Red List of Threatened Species™ 2017-3 [My Downloads](#) | [FAQ](#) | [Contact](#) | [Terms of use](#) | [IUCN.org](#)

[About](#) | [Initiatives](#) | [News](#) | [Photos](#) | [Partners](#) | [Sponsors](#) | [Resources](#) | [Take Action](#)

Enter Red List search term(s) [Discover more](#)

[DONATE NOW!](#)

[Home](#) » [Vanilla planifolia](#)



Vanilla planifolia

Scope: Global
Language: English



- [Summary](#)
- [Classification Schemes](#)
- [Images & External Links](#)
- [Bibliography](#)
- [Full Account](#)

Taxonomy [\[top\]](#)

Kingdom	Phylum	Class	Order	Family
Plantae	Tracheophyta	Liliopsida	Orchidales	Orchidaceae

Scientific Name:	<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews
Common Name(s):	Spanish – Vanilla Mansa, Vanilla, Vanilla Colibri
Taxonomic Notes:	In its wild form, <i>Vanilla planifolia</i> Andrews is the primary wild relative of vanilla, <i>V. planifolia</i> and Tahitian vanilla, <i>V. tahitensis</i> J.W. Moore (USDA, ARS, GRIN 2017)

- [Taxonomy](#)
- [Assessment Information](#)
- [Geographic Range](#)
- [Population](#)
- [Habitat and Ecology](#)
- [Use and Trade](#)
- [Threats](#)
- [Conservation Actions](#)

[Translate page into:](#)

Assessment Information [\[top\]](#)

Red List Category & Criteria:	Endangered B2ab(iii,v) ver 3.1
Year Published:	2017
Date Assessed:	2017-02-16
Assessor(s):	Vega, M., Hernández, M., Herrera-Cabrera, B.E. & Wegier, A.
Reviewer(s):	Kell, S.P.
Facilitator/Compiler(s):	Superina, M., Ruiz González, S., Flores, D.
Justification:	<i>Vanilla planifolia</i> has a relatively wide range, but a narrow area of occupancy (AOO) of around 80 km ² . Its population is highly fragmented. The habitat quality and extent are being continuously reduced by land use change, especially for agriculture and cattle grazing. Extraction for scientific collections and for research purposes due to its potential to be used for genetic improvement of <i>V. planifolia</i> are its main threat. Trade at the local, national, and international level exists, as it is used for food, but also to perfume creams and conditioners, as well as to produce handicrafts, although the latter seems to be restricted to subsistence use. These impacts have led to a continuing decline in the number of mature individuals and a population decline that warrants its listing as Endangered under criterion B2ab(iii,v).

Assessment Information [\[top\]](#)

Red List Category & Criteria:	Endangered B2ab(iii,v) ver 3.1
Year Published:	2017
Date Assessed:	2017-02-16
Assessor(s):	Vega, M., Hernández, M., Herrera-Cabrera, B.E. & Wegier, A.
Reviewer(s):	Kell, S.P.
Facilitator/Compiler(s):	Superina, M., Ruiz González, S., Flores, D.
Justification:	<p><i>Vanilla planifolia</i> has a relatively wide range, but a narrow area of occupancy (AOO) of around 80 km². Its population is highly fragmented. The habitat quality and extent are being continuously reduced by land use change, especially for agriculture and cattle grazing. Extraction for scientific collections and for research purposes due to its potential to be used for genetic improvement of <i>V. planifolia</i> are its main threat. Trade at the local, national, and international level exists, as it is used for food, but also to perfume creams and conditioners, as well as to produce handicrafts, although the latter seems to be restricted to subsistence use. These impacts have led to a continuing decline in the number of mature individuals and a population decline that warrants its listing as Endangered under criterion B2ab(iii,v).</p>

Geographic Range [\[top\]](#)

Range Description:	<p><i>Vanilla planifolia</i> is native to Mexico, where it can be found in the states of Puebla, Oaxaca, Chiapas, Quintana Roo. It is also native to Belize. It occurs at altitudes of 150 to 900 m asl, rarely to 1300 m asl.</p> <p>It is unknown if subpopulations in other countries are native or escaped from cultivation. For example, in Panama it is known mostly from Barro Colorado Island and San Blas Province, perhaps an indication that it has been introduced there. The species seems to be naturalized from cultivated populations in Florida (cf. Luer, 1972) and in Jamaica (Fawcett and Rendle 1910), two areas well botanized by experienced collectors. Foldats (1969) indicated that the species is common in Venezuela, but did not cite records—neither did Dursterville and Garay (1959–76) include it in their works on Venezuelan orchids. South American wild specimens previously identified as <i>V. planifolia</i> and others from elsewhere outside Central America have proven to be mis-identifications. On the other hand, there are some collections from Ecuador that match closely the Central American cultivated material. It is doubtful that <i>V. planifolia</i> is native in regions outside of Mesoamerica. Supposedly, wild specimens of <i>V. planifolia</i> from Rio Palenque Centre, Ecuador, have proven to be <i>V. hartii</i>.</p> <p>The original distribution in Mexico is incomplete. There are several old collections from Yucatán from the xerophytic thorn scrub of the northern part of the peninsula but it is suspected that they represent escaped, old relics from cultivated plants, since this habitat is very different from the moister forests where it is wild at present (Soto-Arenas 2009, Soto-Arenas and Dressler 2010).</p>
Countries occurrence:	<p>Native: Belize; Mexico (Chiapas, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo)</p>
Additional data:	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Estimated area of occupancy (AOO) - km2: 80 ◆ Lower elevation limit (metres): 150 ◆ Upper elevation limit (metres): 900
Range Map:	Click here to open the map viewer and explore range.

Population [top]

Population:	There are very few and scattered occurrences of this species known at present—the largest subpopulation in northern Oaxaca has been completely removed as a source of cuttings to establish new plantations. The population trend is decreasing, and there is a continuing decline in mature individuals. Furthermore, the population is severely fragmented.
Current Population Trend:	↓ Decreasing
Additional data:	♦ Continuing decline of mature individuals: Yes ♦ Population severely fragmented: Yes

Habitat and Ecology [top]

Habitat and Ecology:	This species can be found in subtropical/tropical moist lowland forest. It seems to prefer moist forest, seasonally dry in spring, and favours calcareous terrain. It is absent in volcanic areas and in the wet tropical rainforests of Mexico. In moister areas it can be found in secondary, mature forests. It flowers mainly in April to May, towards the end of the dry season.
Systems:	Terrestrial
Continuing decline in area, extent and/or quality of habitat:	Yes

Use and Trade [top]

Use and Trade:	It is locally used and commercialized at the local, national and international level for food. In Oaxaca it is used to perfume creams and conditioners. Also, it is sometimes used to produce handicrafts. It is the primary wild relative of, and potential gene donor to vanilla and tahitian vanilla (USDA, ARS, GRIN 2017).
----------------	---

Threats [top]

Major Threat(s):	This species is mainly threatened by habitat reduction and unregulated exploitation for scientific collections and research. Furthermore, wild individuals are extracted to be planted in existing vanilla plantations and for hybridization trials with cultivated individuals.
------------------	--

Conservation Actions [top]

Conservation Actions:	This species occurs in the Biosphere Reserves El Ocote and Montes Azules. However the species is not adequately protected and there are no active <i>in situ</i> conservation measures in place. It is conserved <i>ex situ</i> , with the largest collections outside of Mexico, in Madagascar and La Réunion. In Mexico it is protected by the national legislation NORM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010), but enforcement needs to be improved. Like all orchids, it is included in CITES Appendix II.
-----------------------	--

Citation: Vega, M., Hernández, M., Herrera-Cabrera, B.E. & Wegier, A. 2017. *Vanilla planifolia*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T103090930A103090933. Downloaded on 04 December 2017.

Disclaimer: To make use of this information, please check the <Terms of Use>.

Feedback: If you see any errors or have any questions or suggestions on what is shown on this page, please provide us with [feedback](#) so that we can correct or extend the information provided



ISSN 2307-8235

[Home](#) | [Contact](#) | [FAQ](#) | [Feedback](#) | [Site Map](#) | [Donate Now](#) | [Privacy & Security](#) | [Terms of Use](#)

© International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.



ANEXO 4 Evaluación del riesgo de extinción de *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrew



Responsables de la propuesta: Biól. Melania Vega, Biól. Valeria Alavez, Biól. Valeria

Vazquez-Barrios y Dra. Ana Wegier

Laboratorio de Genética de la conservación, Jardín botánico del Instituto de biología de la
Universidad Nacional Autónoma de México.

Tercer circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 03200, Ciudad de México.

Laboratorio 56228222 ext. 46880 mel.vega15@gmail.com

***Vanilla planifolia* Jacks.** in Andrews, *Bot. Repos.* 8: t. 538 (1808)

Clasificación taxonómica:

Reino: Plantae

Subreino: Viridiplantae

Infrareino: Streptophyta

Superdivisión: Embryophyta

División: Tracheophyta

Subdivisión: Spermatophytina

Clase: Equisetopsida

Subclase: Magnoliidae

Superorden: Liliales

Orden: Asparagales

Familia: Orchidaceae

Género: *Vanilla*

Especie: *Vanilla planifolia*

Sinónimos:

- *Epidendrum rubrum* Lam.
- *Myrobroma fragrans* Salisb.
- *Notylia planifolia* (Andrews) Conz.
- *Notylia sativa* (Schiede) Conz.
- *Notylia sylvestris* (Schiede) Conz.
- *Vanilla aromatica* Willd
- *Vanilla bampsiana* Geerinck.
- *Vanilla domestica* (L.) Druce.
- *Vanilla duckei* Huber.
- *Vanilla fragrans* Ames.
- *Vanilla majajensis* Blanco.
- *Vanilla planifolia* var. *Angusta* Constantin y Bois ex. Ch. Henry

- *Vanilla rubra* (Lam.) Urb.
- *Vanilla sativa* Schiede.
- *Vanilla sylvestris* Schiede.
- *Vanilla viridiflora* Blume.

Nombres comunes:

- Caxixánath (Totonaco, Veracruz, México)
- Juju (Zoque, Tabasco, México)
- Juuyu (Zoque, Oaxaca, México)
- Tlilxóchitl (Náhuatl, México)
- Vainilla colibrí (español, Oaxaca, México)
- Vainilla (Español, Veracruz, México)
- Vainilla mansa (español, Veracruz, México)
- Vainilla (español, Santa Cruz, Bolivia)
- Vanilla (Ingles)
- Vanille (Francés)

Motivo de la propuesta

La evaluación de *Vanilla planifolia* por medio del MER la sitúa en la categoría en peligro de extinción con puntaje de 12m, lo cual implica un cambio de ubicación en la NOM-059-SEMARNAT-2010. El motivo de este análisis es para mostrar el estado actual de esta importante especie en su centro de origen y diversidad genética. Así mismo por la necesidad de crear estrategias que permitan conocer y proponer planes de manejo para la conservación de sus poblaciones silvestres, ya que el valor cultural, económico y biológico que representa ha sido poco estudiado.

MER

Criterio A. Amplitud de la distribución del Taxón en México

Descripción de la distribución

La distribución natural de *Vanilla planifolia* que se reporta para México con base en colectas y registros recientes se encuentra en los estados de Hidalgo, San Luis Potosí, Puebla, Guerrero (Maceda 2015), Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco, y Yucatán (Colunga-GM 1990;

Cibrián 2000; Soto y Cribb 2010; Villanueva et al. 2017; Vega en preparación). Sin embargo, la distribución natural de la especie no está restringida a México; en Guatemala, Colombia y Costa Rica existen registros de individuos silvestres (Álvarez 2012; Kolanowska 2014; Gamboa-Gaitán 2014; Azofeifa et al. 2014).

Método de construcción del mapa y evaluación del tamaño relativo de la distribución

Con los datos obtenidos de registros de herbarios, colectas del año 2016 y las 19 variables climáticas obtenidas de la base de WORLDCLIM (<http://www.worldclim.org/bioclimate>) se construyó el mapa de nicho ecológico de *Vanilla planifolia*. Es importante mencionar que, las elecciones de los registros de los herbarios se hicieron bajo los criterios de que los datos de geoposición fueran precisos, que las plantas fueran ejemplares de plantas silvestres y que la identificación estuviera hecha por expertos. Posterior a ello se ocupó el programa de predicción *MaxEnt* versión 3.3.3. y el programa de Sistema de Información Geográfica *ArcGIS*. El primero fue elegido por que determina la relación entre las variables climáticas y los registros de la especie (Guisan y Thuiller 2005). El emplear este método que integra a las variables y los registros que ya se tienen de la especie es importante en el caso de esta especie de vainilla, ya que los registros de son escasos, por lo difícil que es acceder a las localidades y por la inseguridad que existe en algunas de estas, entonces al conocer la distribución potencial con base en los puntos de registro, permite planear nuevas exploraciones para el estudio de la especie al tener potenciadas las áreas posibles de encuentro, y con ello generar mejores estrategias de conservación.

El área de distribución potencial de este taxón, basada en las variables ambientales y en la base de datos de los registros de herbarios es de aproximadamente 490,047.25 Km². Por lo tanto, **las cifras representan 25% del territorio nacional, por lo cual se le asignó a la categoría de distribución medianamente restringida en México, con 2 puntos en el criterio A del MER.**

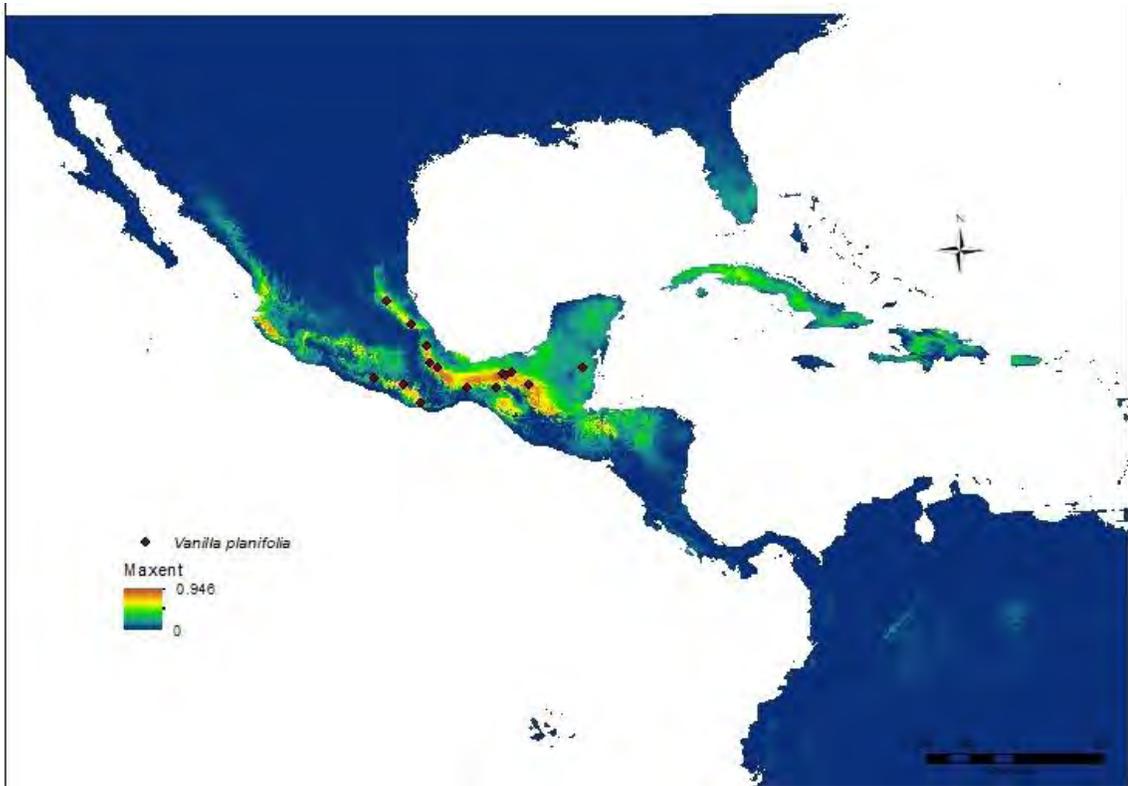


Figura 1. Mapa de nicho ecológico de *Vanilla planifolia*.

Criterio B. Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón

Antecedentes (tipo de hábitat que la especie ocupa)

Vanilla planifolia se encuentra con mayor frecuencia en las orillas de ríos y arroyos de la selva alta perennifolia, selva inundable y selva mediana subperennifolia (Gómez 2012; Hágsater et al. 2015), son sitios que poseen una diversa y abundante vegetación que conserva su follaje todo el año. Se caracterizan por poseer árboles con hojas grandes y duras, con alturas que va de los 15 a más 30 metros. Principalmente este tipo de ecosistemas se distribuyen en climas de tipo A, que corresponden a los climas tropicales. La temperatura promedio anual siempre es mayor a los 18° C, siendo 27° C la media. Presentan lluvias abundantes todo el año. La precipitación promedio anual es 2,000 mm. Por su parte, el suelo es poco profundo, está compuesto principalmente de rocas calizas que forman *karst*, grietas que permiten acumular materia orgánica y que el agua de filtre al subsuelo.

La vegetación dominante de estos ecosistemas son árboles y palmas, que presentan una gran altura (> 30 m), y algunas de las especies más conocidas son caoba (*Swietenia macrophylla*), ceiba (*Ceiba*

pentandra), cedro rojo (*Cedrella odorata*), flor de corazón (*Talauma mexicana*), guapaque (*Dialium guianense*), jobo (*Spondias mombin*), molinillo (*Quararibea funebris*), palo de aguacate (*Nectandra sinuata*), ramón (*Brosimum alicastrum*), sombrerete (*Terminalia amazonia*), zapote cabello (*Licania platypus*) y zapote (*Manilkara zapota*), el zopo (*Guatteria anómala*), palo mulato (*Bursera simaruba*), matapalo (*Ficus spp.*), cacao (*Theobroma cacao*), guanábana (*Annona muricata*), rosita de cacao (*Quararibea funebris*) y palo de hule (*Castilla elastica*). En los límites de la selva y las orillas de caminos, crecen el chancarro (*Cecropia obtusifolia*), el corcho (*Ochroma pyramidale*), el jonote (*Heliocarpus appendiculatus*) y mamey zapote (*Pouteria sapota*). Sobre estos árboles se establecen numerosas especies de orquídeas helechos, bromelias, musgos y líquenes y en las últimas tres es donde se establece para su crecimiento *Vanilla planifolia* (CONABIO 2017).

Análisis diagnóstico del estado actual del hábitat (Incluir aquí si existiese, el riesgo de factores ambientales estocásticos y drásticos, como sequías prolongadas o huracanes)

Actualmente el hábitat presenta degradación principalmente por actividades humanas como el cambio de uso de suelo y la deforestación. Sin embargo, lo que se reporta como una de las principales amenazas para las selvas tropicales húmedas es el calentamiento global, lo que se ve reflejado en la pérdida de humedad y el conocimiento sobre los efectos adversos que se tiene hasta el momento solo se ve reflejado en grupos de organismos como los anfibios.

Evaluación del estado actual del hábitat con respecto a las necesidades naturales del taxón.

El hábitat ocupado por *Vanilla planifolia* ha sido y sigue siendo destruido, por otro lado, los remanentes de esta vegetación se muestran degradados para los requerimientos de humedad, luminosidad y establecimiento de la especie. El establecimiento de esta orquídea hemiepífita trepadora ocurre en comunidades originales o en etapas seriales avanzadas de la vegetación secundaria de la selva alta, mediana y perennifolia y el manejo que se ha tenido actualmente para la restauración de estos ecosistemas no han permitido que la vegetación se regenere hasta llegar a etapas avanzadas de la sucesión. Por ello, puede suponerse que un factor de vulnerabilidad de esta planta es por su preferencia por hábitats conservados (Soto 2009).

Además, la extracción legal e ilegal de la especie para uso comercial o bien de investigación, también le genera vulnerabilidad a esta especie. Por todo lo anterior, **se consideró que se le puede asignar un valor de tres puntos en el criterio B del MER (hábitat hostil o muy limitado).**

Criterio C. Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón

Antecedentes (historia de vida de la especie)

Vanilla planifolia es una especie de orquídea hemiepífita trepadora, que llega a trepar a una altura mayor de 18 metros de altura. Las flores son localizadas entre los 9 y 15 metros de la planta, lo cual hablaría de que la madures sexual de la planta se da después de cierto crecimiento. La expansión vegetativa puede ser por medio de genets y ramets, y este rasgo es difícil de dilucidar (Schlüter et al. 2007).

El número poblacional es desconocido, y se considera que la densidad de individuos varía dependiendo la región en donde se estudie; en Chimalapa, Oax se reporta un individuo cada 2 a 10 km², en San Agustín, Oax uno en intervalo de 1 a 4 km² (Soto 1999) y en Yucatán de dos a 10 individuos por km² (Villanueva et al. 2017). Con lo anterior se sugiere que la tasa de reproducción sexual es baja (Schlüter et al., 2007).

Las interacciones de esta especie registran que la polinización se lleva a cabo por las abejas verdes de las orquídeas del género *Euglossa*, en específico la especie *E. viridissima*, la cual se ha reportado que actúa como un dispersor de polen en largas distancias (Janzen 1981; Roubik y Ackerman 1987), sin embargo, en la Sierra Noroeste de Puebla y en Jicaltepec, Veracruz mencionan que la polinización la realizan las abejas meliponas (Pointeau 2011; García 2013). También se registra que existe una asociación con hongos, quienes facilitan la absorción de nutrientes y evitan que la planta enferme (Ordoñez et al. 2012; Álvarez 2012).

Los datos que se tienen en cuanto a diversidad genética para la especie con base en un estudio en donde se compararon a plantas silvestres y domesticadas se reporta que las plantas silvestres presentan mayor diversidad genética que las plantas cultivadas, resultando en una diferencia entre estas.

Por las características biológicas de la especie anteriormente descritas, el estudio de su biología se ha realizado a partir plantas cultivadas (principalmente en Papantla, Ver.), decisión que se traduce en un sesgo en la información.

Análisis diagnóstico del estado actual de la especie y descripción de cómo se obtuvo dicha diagnosis.

No se cuenta con la información para hacer un análisis del estado actual de la especie, puesto que los trabajos que se han realizado en años recientes, no se han enfocado en toda el área de distribución y como ya se mencionó la mayoría de los estudios se han realizado en plantas domesticadas.

Sin embargo, las poblaciones de plantas silvestres que se reportan para los estados de Tabasco, Chiapas, Veracruz y Oaxaca muestran una densidad poblacional baja (1 ind/3 km²), mientras que para Yucatán la densidad poblacional es alta (2-10 ind/km²) (Soto, 1999; Salazar, 2011; Villanueva et al.,

2017). La principal amenaza que se observa es la deforestación y en el caso particular de Veracruz es la implementación de pozos petroleros y en Yucatán la extracción ilegal de individuos para la implementación de plantaciones.

Evaluación de qué factores lo hacen vulnerable

La vulnerabilidad de *Vanilla planifolia* se representa en tres niveles: a) ecosistémica, en donde el cambio climático y la especificidad de su hábitat; b) a nivel de comunidad se ve amenazada por la modificación de sus interacciones, principalmente con sus polinizadores y/o dispersores, con la microbiota asociada al suelo y por la pérdida de las especies donde se establece, y por último c) a nivel de población, la fragmentación de su hábitat repercute en el aislamiento de los individuos que a nivel genético se ve reflejado en menor flujo génico y por consiguiente pérdida de variabilidad genética. **Por lo anterior, se clasificó con tres puntos en el criterio C del MER (vulnerabilidad alta).**

Criterio D. Impacto de la actividad humana sobre el taxón

Factores de riesgo reales y potenciales con la importancia relativa de cada uno de ellos

Vanilla planifolia es una especie importante económicamente por su valioso fruto en el mercado nacional e internacional. Contrario a lo que pudiera pensarse sobre el fin de realizar la extracción ilegal de los individuos silvestres con fines de producción, los saqueos se dan por los coleccionistas y por investigadores de otros países (comunicación personal con comunidades y revisión en páginas de internet de coleccionistas).

Actualmente la existencia de zonas altamente productoras de vainilla también puede verse como un riesgo para la conservación de la especie, porque puede existir flujo génico entre los individuos cultivados y silvestres, considerando que los individuos cultivados son más homogéneos podría verse alterada la variación genética de los silvestres. Es importante resaltar que ya se han desarrollado transgénicos de la especie en países que incluyen la distribución natural de la especie, por lo que hay que considerar el posible flujo génico en dado caso de que llegaran al centro de origen y diversidad genética (México). Está demostrado en otros cultivos (banana y papa, por ejemplo) que la pérdida de variación genética en los parientes silvestres puede poner en riesgo el cultivo tanto nacional como internacional, el conservar a las poblaciones silvestres de esta especie es fundamental, ya que el proceso de domesticación que tiene la especie es continuo, y poder hacer uso del material genético resguardado de forma silvestre proveerá mejoras para el desarrollo de nuevas variedades y la selección de caracteres que sean ventajosos para la especie, ya que, seguirá con un proceso de evolución natural. Asimismo, el manejo que se da a los cultivares es de suma importancia para la conservación del material genético que existe en las plantaciones, ya que del manejo que se dé dependerá la ganancia neta que genere este cultivo y se ha visto que cuando se

lleva a cabo un mal manejo los productores abandonan los vainillares con lo que se refleja una pérdida del material genético contenido en esas plantas.

Finalmente, la pérdida y fragmentación del hábitat en donde se distribuye de forma silvestre la especie es un factor de riesgo real. Esto principalmente es por el cambio de uso de suelo que se le ha dado a los terrenos, es decir por la implementación de pozos petroleros, potreros o inclusive centros turísticos. Así mismo, como ya se mencionó en párrafos anteriores el establecimiento de la especie se da en selvas maduras, por lo que el proceso es tardado aún en donde ya existe un manejo de restauración ecológica.

Análisis pronóstico de la especie y evaluación del impacto

Considerando la importancia biológica, económica (nacional e internacional) y social que representa *V. planifolia* y tomando en cuenta los factores que la hacen vulnerable (extracción ilegal, fragmentación del hábitat y cambio climático) provocando que su existencia en vida silvestre se vea reducida, **se asignó la categoría de alto impacto (4 puntos) de la actividad humana sobre el taxón del criterio D del MER.**

Valor asignado total del MER (suma de los valores de los criterios A+B+C+D)

A = 2, B = 3, C = 3 y D = 4. Total = 12. De acuerdo con el sistema de puntuación del MER, *Vanilla planifolia* se sitúa en la categoría **en peligro de extinción con un puntaje de 12**, lo cual es consiente con la Red List (Vega et al., 2017), sin embargo, en la NOM-059-SEMARNAT-2001 se tendría que cambiar del anexo II al I.

Relevancia de la especie

México es centro de origen, centro de domesticación y centro de diversidad genética de *Vanilla planifolia*. Dentro del género *Vanilla* es la especie con mayor importancia comercial debido a lo fragante de sus frutos (Gigant et al. 2011; Cibrián 2000; Schlüter et al. 2007; Felix 2007; Lubinsky et al. 2008a). En México la distribución de las poblaciones silvestres se centra en las selvas húmedas de los estados Veracruz, Puebla, Tabasco, Oaxaca, Yucatán, sin embargo, el conocimiento es escaso, por otro lado, las zonas productoras de esta planta se encuentran en Veracruz y Puebla, siendo la principal ciudad productora Papantla.

Además, *Vanilla planifolia* representa un recurso cultural para el país, la selección de los frutos y su uso se da desde épocas prehispánicas, en donde principalmente era usado para dar un toque especial al chocolate, además tenía cierta relevancia en el sistema de tributación y repercusión en los asuntos políticos (Damiron 2004). En la colonia fue cuando su consumo se expande al nuevo mundo, generando una alta demanda de plantas para el establecimiento en Europa (Kourí 2013). Actualmente el principal uso que se le da está relacionado con la gastronomía para realzar el sabor y aroma de alimentos y bebidas, sin embargo, también es empleada como medicamento alternativo y como material para artesanías (Sinha 2007).

Propuestas de medidas de seguimiento (recomendaciones para la conservación de la especie)

Las poblaciones silvestres conforman un valioso recurso genético para el país, irrecuperable en caso de pérdida. Lo mismo sucede respecto a la variación de los individuos cultivados en comparación con los cultivados en otros países, la variación conservada en las plantaciones se puede explicar al indagar en el proceso histórico que ha llevado el cultivo de la vainilla, comprendiendo así que la variación es impulsada por la misma diversidad de características culturales de cada región en donde ha sido y es cultivada poniendo énfasis en las prácticas de colectas de frutos y la movilidad de esquejes que puede favorecer a las plantaciones reduciendo el nivel de homogeneidad.

Para mantener la variación genética de la especie es importante que se realicen programas que tengan una continuidad integrando el conocimiento cultural y científico de manejo *in situ*. Para el primero, es necesario hacer nuevas exploraciones en las áreas en donde se potencializa la presencia de la vainilla y generar investigación profunda sobre la biología, ecología, genética y amenaza. Para lo anterior se propone incluir a las comunidades en donde esta orquídea se distribuye, para generar acciones participativas con capacitación para un aprovechamiento sustentable, así como generar retroalimentación entre la comunidad y los especialistas.

Para sobre llevar el número bajo que existe en las poblaciones, por la misma biología de la especie, se propone que se sigan técnicas de manejo como las que llevan a cabo en los cultivares como es la polinización manual de los organismos y con ello aumentar la variabilidad. En cuanto a la protección del área natural de la especie, se observa que son pocas las áreas protegidas las que entran dentro de la distribución potencial que se propone en este trabajo, sin embargo, como sabemos la protección legal de estas áreas no siempre es la adecuada por el cómo muchas veces los planes de manejo de estas áreas están enfocados a diferentes intereses, por lo mismo nosotros no proponemos una ampliación de área de las zonas protegidas. Pero lo que sí proponemos, y como ya se ha mencionado en líneas anteriores es conocer la organización interna de las comunidades en donde se localizan estas plantas, puesto que a la fecha se observa en la Sierra de Tabasco y Puebla han logrado llevar a cabo un aprovechamiento sustentable de la especie.

Por otro lado, es indispensable que se genere un plan de manejo, también, para los bancos de germoplasma ya existentes y al mismo tiempo regularlos ya que contienen un buen muestreo y los

muestreos de poblaciones silvestres deben reducirse al mínimo para evitar el impacto que podría representar.

Referencias

1. Álvarez, C. 2012. Identificación y caracterización bioquímica, morfológica y molecular de microorganismos cultivables asociados a la rizósfera y al sustrato de plantas de vainilla. Tesis de Maestría en Ciencias- Geomorfología y Suelos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
2. Azofeifa J, Paniagua A & García J. 2014. Importancia y desafíos de la conservación de *Vanilla sp.* en Costa Rica. *Agronomía mesoamericana* 25(1): 189-202.
3. Cibrián A. 2000. Variación genética de *Vanilla planifolia* en México. Tesis de maestría. UNAM, México.
4. Colunga-GM, P. 1990. Recursos genéticos nativos disponibles en la península de Yucatán - importancia de su conservación. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
5. CONABIO. 2017. Selvas húmedas. (Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/selvaHumeda.html>).
6. Damiron, R. 2004. La vainilla y su cultivo. Veracruz Agrícola, Dirección General de Agricultura y Fitosanitaria.
7. Félix, J. 2007. El cultivo de Vainilla y sus principales plagas. Monografía para obtener el grado de Ingeniero Agrícola y ambiental. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México.
8. Gamboa-Gaitán, M. 2014. Vainillas colombianas y su microbiota. II. Diversidad, cultivo y microorganismos endófitos. *Univ. Sci.* 19(3):287-300.
9. García, J. 2013. Exploración etnobotánica y alternativas de conservación de la vainilla (*Vanilla planifolia* J.) en la Sierra Nororiental de Puebla, México. Tesis de licenciatura, Universidad Intercultural del Estado de Puebla, Huehuetla, Puebla, México.
10. Gigant, R., Bory, S., Grisoni, M. y Pascale, B. 2011. Biodiversity and evolution in the *Vanilla* Genus. En: Grillo, O. y Venora, G. (eds.) *The dynamical processes of biodiversity: case studies of evolution and spatial distribution*. Rijeka: InTech: 1-26
11. Gómez, N. 2012. Respuestas de *Vanilla planifolia* Jacks. ante variaciones microambientales bajo arreglos agroforestales en un bosque seco tropical. Tesis de maestría en Bosques y Conservación Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
12. Guisan, A., y Zimmermann, N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, 135(2), 147-186.
13. Hágsater, E., Soto, M., Salazar, G., Jiménez, R., López, M. y Dressler, R. 2015. Las orquídeas de México, Instituto Chinoín, México, 304pp.
14. Kolanowska, M. 2014. The orchid flora of the Colombian Department of Valle del Cauca. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:445-462.
15. Kourí E. 2013. Un pueblo dividido. Comercio, propiedad y comunidad en Papantla, México. Trad. De Mario A. Zamudio Vega. Fondo de Cultura Económico, El Colegio de México. México. 454 pp.
16. Lubinsky P, Bory S, Hernández J, Kim S & Gómez A. 2008a. Origins and Dispersal of Cultivated Vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. (Orchidaceae)). *Economic Botany*, 62(2): 127-198.

17. Maceda A. 2015. Distribución potencial, caracterización morfológica y conocimiento tradicional de *Vanilla planifolia* J. en la región de la huasteca hidalguense, México. Tesis de maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Puebla, México.
18. Ordoñez N, Otero J. y Díez M. 2012. Hongos endófitos de orquídeas y su efecto sobre el crecimiento en *Vanilla planifolia* Andrews. *Acta Agronómica* 61(3):282-290
19. 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 Ver-sion 3.3.3.
20. PlantList. 2007.
21. (Disponible en: <http://www.theplantlist.org/tpl1.1/search?q=vanilla+planifolia>)
22. Pointeau, N. 2011. La transmisión de saberes: la producción de vainilla en la colonia francesa de San Rafael, Veracruz (1874-1891). En la Jornada de los Jovenes Americanistas 2011.
23. Salazar, V. 2011. Estrategia de uso y conservación del germoplasma de *Vanilla planifolia* Jack en la región Totonacapan Puebla-Veracruz. Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados, Puebla, México.
24. Schlüter, P. M., Arenas, M. A. S., & Harris, S. A. (2007). Genetic variation in *Vanilla planifolia* (Orchidaceae). *Economic botany*, 61(4), 328-336.
25. Sinha A, Sharma U & Sharma N. 2007. A comprehensive review on vanilla flavor: extraction, isolation and quantification of vanillin and others constituents. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 59(4): 299-326. <http://dx.doi.org/10.1080/09687630701539350>
26. Soto, M. 1999. Filogeografía y recursos genéticos de las vainillas de México. Instituto Chinoín AC. Informe final SNIB- CONABIO proyecto No. J101. México, D. F.
27. Soto, M. 2009. Recopilación y análisis de la información existente sobre las especies mexicanas del género *Vanilla*. Instituto de Ecología-CONABIO. México, D.F.
28. Soto, M. y Cribb, P. 2010. A new infrageneric classification and synopsis of the genus *Vanilla* Plum. Ex Mill. (Orchidaceae: Vanillinae). *Lankesteriana* 9(3): 355-398.
29. Tropicos. 2017. (Disponible: <http://www.tropicos.org/Name/23501046>)
30. Villanueva S, Hernández M, Fernández G, Dorantes A, Dzib G & Martínez J. 2017. Wild *Vanilla planifolia* and its relatives in the Mexican Yucantan Peninsula: Systematic analyses with ISSR and ITS. *Botanical Sciences* 95(2): 1-19.
31. WorldClim-Global Climate Data. 2017. Bioclimatic variables.