

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

PROYECTO REALIZADO CON APOYO DE:

LABORATORIO DE CIENCIAS AMBIENTALES, UAMZH

HERBARIO ISIDRO PALACIOS, IIZD

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

**CON FINANCIAMIENTO DE SAGARPA-CONACYT, Fondo de Apoyo a la Investigación de la
UASLP**

A TRAVÉS DE LOS PROYECTOS:

Caracterización y priorización de sitios para la restauración de suelos basada en Sistemas de Información Geográfica en la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa (C19-FAI-05-77.77).

Estrategias de investigación aplicada para el fortalecimiento, innovación y competitividad de la producción de vainilla en México (Fondos sectoriales SAGARPA-CONACYT-2012-04-190442).

AGRADEZCO A CONACyT EL OTORGAMIENTO DE LA BECA-TESIS

Becario No. 277503

RESUMEN

La vainilla (*Vanilla planifolia*), es una orquídea cuyo fruto es altamente valorado en el mercado nacional e internacional. Su centro de origen y distribución es México y parte de Centro América. En nuestro país, ha sido intensamente aprovechada desde la época precolombina, por lo que su extracción desmedida, así como la reducción de la variabilidad genética y la fragmentación de su hábitat, han provocado la disminución de las poblaciones naturales. Actualmente se encuentra citada en la Norma Oficial Mexicana 059 (NOM-059-SEMARNAT-2010), bajo la categoría de Protección Especial.

La producción de vainilla ha generado expectativas económicas, pues su alto valor en el mercado incentiva el establecimiento del cultivo, y se espera que genere ingresos que incidan en la calidad de vida de los productores locales. En la última década, se han canalizado diversos esfuerzos para incrementar la superficie sembrada y la productividad del cultivo. Las instituciones gubernamentales han destinado recursos económicos a la adquisición de material vegetativo y el establecimiento de nuevas plantaciones, así como a la capacitación y asistencia técnica. Por su parte, las instituciones de investigación, han dirigido sus esfuerzos en satisfacer las demandas del agro, particularmente en áreas como la reproducción de la especie, la caída del fruto, el bajo rendimiento y la conservación.

En San Luis Potosí, desde el año 2002 se han aprobado diversos proyectos dirigidos al establecimiento de sistemas de producción, y al acompañamiento técnico productivo y empresarial. En la Huasteca potosina, la vainilla se cultiva en trece municipios de la región centro-sur, bajo tres principales sistemas de producción: la casa malla sombra, la asociación con cítricos y los sistemas agroforestales tradicionales.

Las políticas agrícolas han incentivado el desarrollo de sistemas de producción simplificados como la casa malla sombra y los monocultivos, proyectando una alta productividad en pequeñas superficies, pero cuyos resultados no han sido los esperados. Aunado a lo anterior, los costos son poco accesibles para pequeños productores. Son además sistemas vulnerables desde el enfoque socioambiental; susceptibles a los fenómenos meteorológicos y a la presencia de plagas o enfermedades, con escasos reservorios de biodiversidad, de manera que impacta en la seguridad y la soberanía alimentaria, ya que entonces el productor depende del ingreso que le provea la cosecha de una sola especie, para satisfacer sus bienes y servicios.

En contraste con los sistemas simplificados, existen también sistemas de producción tradicionales, como el sistema agroforestal. Los sistemas agroforestales tradicionales (SAT) guardan semejanza con un ecosistema natural, porque son altamente biodiversos y el manejo es mínimo, por lo que son considerados de bajo impacto. Son además valorados por los conocimientos bioculturales entorno a ellos. Establecer vainilla en estos sistemas, implica un menor costo y menor riesgo de plagas y daños naturales. Entre sus fortalezas también se encuentra el contar con individuos silvestres o "asilvestrados" de vainilla que, bajo un apropiado manejo, pueden ser plantas apropiadas para el cultivo.

El rendimiento entre los diferentes sistemas de producción sigue siendo escaso y muy semejante, de manera que se observan muchas más ventajas en un sistema de producción tradicional, económico, resiliente y menos vulnerable, que además ha permanecido por siglos en la región.

En la región, se requiere incrementar las superficies y la densidad de siembra con planta saludable y adaptada a la región. Considerando las bondades del sistema

tradicional, éste ha sido seleccionado como objeto de estudio y se pretende satisfacer las siguientes interrogantes:

- ¿cuál es el potencial para la conservación de la vainilla local?
- ¿de qué manera influyen los factores sociopolíticos-económicos-culturales en el gradiente de producción de vainilla en el sistema tradicional?
- ¿qué implicaciones tendría la micropropagación de vainilla con sustratos orgánicos para satisfacer la demanda de material vegetativo?

Los objetivos de la investigación fueron identificar la distribución actual y potencial de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. y diseñar acciones para su conservación; caracterizar los sistemas agroforestales donde se produce la vainilla, para tipificarlos con base en sus particularidades de manejo y establecer un protocolo de regeneración in vitro de *V. planifolia* a través del uso de extractos naturales en la Huasteca Potosina.

Para ello, se realizaron consultas en herbarios, recorridos de campo, entrevistas con los productores de vainilla y talleres participativos con habitantes locales. Se llevó a cabo un análisis espacial basado en sistemas de información geográfica, para conocer las características ambientales de los sitios con presencia de la especie y se modelizó su distribución potencial. Asimismo, se analizaron 355 casos, obteniéndose 135 variables agronómicas y de características del productor. La información se complementó con un análisis espacial basado en un SIG para definir patrón espacial de distribución de dichos sistemas. Para la tipología se aplicó el análisis de conglomerado en dos fases. Finalmente, se cultivaron semillas estériles en medio sin reguladores de crecimiento vegetal para obtener protocormos como explantes. Una vez formados los protocormos, estos se sembraron en los medios de cultivo suplementados con los extractos orgánicos de piña, plátano y agua de coco y un medio control, el cual no contenía la adición de ningún extracto.

En la Huasteca Potosina, se ubicaron 28 sitios con presencia del taxón bajo estudio, la mayoría en sistemas agroforestales tradicionales y, menor proporción, en los relictos de selva mediana que aún persisten en la región, anclados a los tutores que les proveen el soporte necesario. Su distribución potencial se estimó en 85.5 km². El germoplasma sin procesos de domesticación y adaptado a las condiciones ambientales que se identificó, tiene posibilidades de ser conservado. Los poseedores de este recurso genético, consideran que una Unidad de Manejo de la Vida Silvestre sería la forma más adecuada para lograr su conservación in situ. En la región existen tres grupos de productores, que se diferencian por la cantidad de actividades realizadas para la producción de vainilla, el número de tutores empleados y la pertenencia a un grupo étnico. Los sistemas de la etnia Tének presentan menos modificaciones comparados con los sistemas nahuas. Éstos últimos, incluso comienzan a especializarse en el manejo de especies comerciales, pero aún conservan algunos rasgos de los sistemas originales. Los tratamientos de germinación mostraron que el mejor tratamiento fue el medio con extracto de piña, en donde se observó la formación de 5.7 ± 3.5 brotes de 36.9 ± 7.3 mm de altura, y la formación de 2.2 ± 0.5 yemas por brote. Además, se logró la formación de 13.0 ± 1.1 raíces por brote con la adición de 0.5 mg L^{-1} de AIA y la preaclimatación de las plantas in vitro.

Palabras clave: Vanilla planifolia; conservación; sistemas agroforestales tradicionales; micropropagación vegetal.

SUMMARY

Vanilla (*Vanilla planifolia*), is an orchid whose fruit is highly valued in the national and international market. Its center of origin and distribution is Mexico and part of Central America. In our country, it has been intensely exploited since the pre-Columbian era, so its excessive extraction, as well as the reduction of genetic variability, and the fragmentation of its habitat, have caused the decrease of natural populations. It is currently cited in Official Mexican Standard 059 (NOM-059-SEMARNAT-2010), in the category of Subject to Special Protection.

Vanilla production has generated economic expectations, since its high market value encourages the establishment of the crop, and it is expected to generate income that improves the quality of life of local producers. In the last decade, various efforts have been channeled to increase the planted area and crop productivity. Government institutions have allocated financial resources to the acquisition of vegetative material and the establishment of new plantations, as well as to training and technical assistance. For their part, research institutions have directed their efforts to meet the demands of agriculture, such as the reproduction of the species, the fall of the fruit, the low yield and conservation.

In San Luis Potosí, since 2002 several projects have been approved aimed at the establishment of production systems, and technical and productive technical support. In the Huasteca potosina, vanilla is grown in thirteen municipalities in the central-south region, under three main production systems: the shadow mesh house, the association with citrus fruits and traditional agroforestry systems.

Agricultural policies have encouraged the development of simplified production systems such as the shadow mesh house and monocultures, projecting high productivity in small areas, but whose results have not been as expected. In addition to the above, the costs are not very accessible for small producers. They are also

vulnerable systems from the socio-environmental approach; susceptible to meteorological phenomena and the presence of pests or diseases, reduce biodiversity reservoirs and ecosystem services, so that impacts on food security and sovereignty, since then the producer depends on the income provided by the crop to satisfy Your goods and services.

In contrast to simplified systems, there are also traditional production systems, such as the agroforestry system. Traditional agroforestry systems (SAT) are similar to a natural ecosystem, because they are highly biodiverse and management is minimal, so they are considered low impact. They are also valued for the biocultural knowledge around them. To establish vanilla in these systems, implies a lower cost and less risk of plagues and natural damages. Among its strengths is also having wild or "feral" vanilla individuals that, under proper management, can be appropriate plants for cultivation.

The yield between the different production systems remains scarce and very similar, so that many more advantages are observed in a traditional, economic, resilient and less vulnerable production system, which has also remained for centuries in the region.

In the region, it is necessary to increase the areas and planting density with a healthy plant adapted to the region. Considering the benefits of the traditional system, it has been selected as an object of study and is intended to satisfy the following questions:

- What is the potential for the conservation of local vanilla?
- How do sociopolitical-economic-cultural factors influence the gradient of vanilla production in the traditional system?
- What implications would vanilla micropropagation with organic substrates have to meet the demand for vegetative material?

The objectives of the investigation were to identify the current and potential distribution from *Vanilla planifolia* Jacks. former Andrews., design actions for its conservation, characterize the agroforestry systems where vanilla is produced, to typify them based on its management characteristics and establish a protocol for in vitro regeneration of *V. planifolia* through the use of natural extracts in the Huasteca Potosina.

To do this, consultations were conducted in herbariums, field trips, interviews with vanilla producers and participatory workshops with local inhabitants. It took carry out a spatial analysis based on geographic information systems, to know the environmental characteristics of the sites with the presence of the species and He modeled his potential distribution. Likewise, 355 cases were analyzed, obtaining 135 agronomic variables and characteristics of the producer. The information was complemented with a spatial analysis based on a GIS to define the spatial pattern of distribution of these systems. For the typology, the two-stage cluster analysis was applied. Finally, sterile seeds were grown in medium without plant growth regulators to obtain protoorms as explants. Once the protoorms were formed, they were sown in the culture media supplemented with the organic extracts of pineapple, banana and coconut water and a control medium, which did not contain the addition of any extract.

In Huasteca Potosina, 28 sites were located with the presence of the taxon under study, the majority in traditional agroforestry systems and, to a lesser extent, in the relics of medium forest that still persist in the region, anchored to the tutors who. They provide the necessary support. Its potential distribution was estimated at 85.5 km². The Germplasm without domestication processes and adapted to the environmental conditions that were identified, has the possibility of being conserved. The holders of this genetic resource, they consider a Wildlife Management Unit

It would be the most appropriate way to achieve its conservation in situ. In the region there are three groups of producers, which are differentiated by the amount of activities carried out for the production of vanilla, the number of tutors employed and belonging to an ethnic group. The systems of the Tének ethnic group present less modifications compared to the Nahua systems. The latter even begin to specialize in the management of commercial species, but still retain some features of the original systems. Germination treatments showed that the best treatment was the medium with pineapple extract, where the formation of 5.7 ± 3.5 shoots of 36.9 ± 7.3 mm in height was observed, and the formation of 2.2 ± 0.5 buds per bud. In addition, the formation of $13.0 \pm$ was achieved 1.1 roots per outbreak with the addition of 0.5 mg L^{-1} of AIA and pre-acclimatization of in vitro plants.

Keywords: *Vanilla planifolia*; conservation; traditional agroforestry systems; vegetable micropropagation.

INTRODUCCIÓN

En San Luis Potosí, la vainilla (*Vanilla spp.*) se promueve como cultivo no tradicional desde el año 2002 (GESLP, 2014). La región productora comprende trece municipios indígenas de la huasteca centro sur. Actualmente existen tres principales sistemas de producción de vainilla: i) en asociación con cítricos; ii) en casas malla sombra; y iii) sistemas agroforestales tradicionales denominados te'lom en idioma Tenek (Alcorn, 1983) o cuayo en idioma Náhuatl (Trinidad, 2014).

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos por aumentar el volumen de producción de la vainilla, aun se presentan rendimientos menores a una tonelada por hectárea en los tres sistemas de producción. Esta situación se suma a la escasa implementación de prácticas de manejo de la especie, el desconocimiento de la variabilidad genética de las poblaciones silvestres, así como los factores climáticos adversos (Hernández, 2010; Barrera et al., 2011).

Por otra parte, la Huasteca Potosina presenta bajos rendimientos en sistemas de monocultivo, la pérdida acelerada del potencial biológico del suelo, la dependencia de los productores a una sola especie, la vulnerabilidad del agroecosistema a los factores ambientales adversos y la pérdida del bagaje biocultural (Reyes et al., 2006; Miranda et al., 2013).

La creciente demanda en el mercado nacional e internacional, así como el precio del producto final (deshidratado), han propiciado que la vainilla se posicione como una especie de interés dentro de las políticas públicas y los proyectos de investigación a nivel nacional. Muestra de ello son los apoyos gubernamentales que se otorgaron a diferentes organizaciones; con el fin de establecer proyectos de producción de vainilla en la región, se financiaron por lo menos 154 casas malla sombra, módulos de lombricomposta, un centro de beneficiado e industrialización, así como el

acompañamiento técnico con fines de capacitación productiva y empresarial. Todo lo anterior con una inversión mayor a los \$8,000,000.00 (PRSPVESLP,2012).

En contraste con las inversiones realizadas en años anteriores, la productividad de la vainilla no presentó cambios notables, pues entre 2014 y 2018 la superficie paso de 25 a 24 ha y el rendimiento de 0.51 a 0.39 toneladas por ha (SIAP, 2019). La inversión tampoco se ha visto diferenciada por los distintos sistemas de producción, pues al 2014, no había diferencia significativa entre los tres principales sistemas implementados en la región (Trinidad, 2014).

La baja productividad de los sistemas de producción se atribuye actualmente a la escasa superficie sembrada y a la falta de transferencia de tecnología para impulsar el desarrollo del sector (Santillán y colaboradores, 2018).

Al comparar los tres sistemas de producción en 2014 (Trinidad, 2014), se observa que, además de que no hay diferencia entre la producción de los tres sistemas, la casa malla sombra genera mayor vulnerabilidad para el productor, debido a que requiere mayor cantidad de inversión inicial y de mantenimiento, se reduce la seguridad alimentaria al no tener diversidad de especies en su parcela y además sus ingresos dependerán de la producción de temporal de una sola especie.

Las poblaciones de vainilla en sistemas agroforestales se encuentran adaptadas a las fluctuaciones y cambios drásticos en el tiempo de la región, forman parte de agrobiodiversidad favorecida por los campesinos. Sin lugar a dudas la vainilla asociada a las especies que los Náhuatl y Tenek suelen tolerar en sus agroecosistemas es una riqueza biológica y cultural que merece ser conservada, y requiere de prontas estrategias para su manejo y conservación a futuro.

Como una alternativa al modelo convencional, la agroecología busca conocer y reconocer los conocimientos y formas de cultivo tradicionales con el fin de proponer mejoras, y aumentar la producción a pequeña escala. Este concepto se basa en la diversificación de especies de cultivo y el análisis multidisciplinario de los factores que intervienen en la producción agrícola, es decir los factores agronómicos, ecológicos y socioeconómicos, de tal manera que se reduzca la pobreza y se mejore la seguridad y la soberanía alimentaria.

Dado que la vainilla forma parte de un sistema complejo, se requieren estrategias acordes con las condiciones socioeconómicas y ambientales que permitan manejar adecuadamente las plantaciones de la región, creando con esto un modelo flexible que logre armonizar conocimientos tradicionales con innovación para el desarrollo de la especie, permitiendo así la conservación de la agrobiodiversidad incluyendo la vainilla, y el desarrollo de la capacidad de autogestión de los campesinos.

JUSTIFICACIÓN

La Huasteca Potosina presenta una pérdida acelerada de grandes superficies de selva, proceso derivado de la constante transformación de suelos a agricultura convencional. Ante los bajos rendimientos y el aumento de las necesidades de alimento, los habitantes se ven obligados a desmontar más superficies. Este problema radica en que las condiciones socioeconómicas, ambientales y culturales de la región no son aptas para una agricultura convencional intensiva, como la que prevalece en el país desde hace más de medio siglo.

La vainilla con un manejo tradicional, forma parte de interacciones complejas tanto en un entorno ambiental como socioeconómico y cultural; por ello, y buscando compaginar todos los aspectos que convergen en los socio-ambientes de la Huasteca Potosina, es necesario reconocer el manejo tradicional indígena de los sistemas agroforestales tradicionales y ubicar las principales debilidades en el manejo de la vainilla con el fin de proponer innovaciones que permitan mejorar su producción.

Los sistemas agroforestales tradicionales representan para esta región una fuente de aprovisionamiento de alimento, y otros materiales básicos en la vida cotidiana de las comunidades, además de una fuente de ingreso para las familias. Los esfuerzos por mejorar sus características han sido bastante amplios, pero con pocos resultados.

Desde el enfoque de la agroecología, este modelo debe diseñarse de la mano de la comunidad, con una dinámica que permita incorporar conocimientos tradicionales, así como las principales innovaciones en cuanto al manejo de la especie, buscando generar un modelo propio de la comunidad, capaz de ser adoptado y adaptado por otros habitantes de acuerdo a sus necesidades y capaz de persistir en el tiempo como lo han hecho los sistemas con los que ahora cuentan.

OBJETIVOS

General

Analizar la distribución actual de la vainilla silvestre (*Vanilla planifolia*), proponer acciones para su conservación y reconocer los saberes tradiciones asociados a su cultivo en los sistemas agroforestales tradicionales, así como establecer un protocolo de regeneración in vitro de *V. planifolia* a través del uso de extractos orgánicos naturales que permitan fortalecer los sistemas de producción en la Huasteca Potosina.

Específicos

- Definir la distribución actual y potencial de *Vanilla planifolia* en la Huasteca Potosina
- y diseñar acciones para su conservación.
- Caracterizar los sistemas agroforestales donde se produce la vainilla, para tipificarlos con base en sus particularidades de manejo y reconocer los saberes tradicionales relacionados con el manejo del cultivo en los sistemas agroforestales de la región.
- Generar un protocolo de regeneración in vitro de *V. planifolia* a través del uso de extractos orgánicos naturales de piña, extracto de plátano y agua de coco.

ANTECEDENTES

Modelos de producción agrícola

La agricultura se trata de un conjunto de acciones que manipulan y transforman los recursos naturales y la energía presentes en un ambiente con el fin de producir y reproducir flora y fauna para satisfacer las necesidades humanas (Hernández X, 1988; Sáez, 2010); en ese momento dicho ambiente se transforma en un agroecosistema. El cultivo del campo es una actividad tan antigua como el proceso mismo de sedentarización del hombre hace unos 10,000 años atrás; los grupos nómadas aprendieron a aprovechar el suelo y los recursos naturales, produciendo grandes cantidades de alimento.

Los sistemas de cultivo evolucionaron en diferentes contextos y áreas geográficas (Altieri y Toledo, 2011), de manera que el modo o la forma en que se organizaba la agricultura como actividad económica en una sociedad (forma de producir, organizarse y distribuir la producción), es decir el modelo de producción agrícola (Jouve, 1988), se basaba en conocimientos locales y variaba de una región a otra.

Después de la revolución industrial, el uso de combustibles fósiles, la mecanización de diversas actividades antes realizadas por el hombre y los procesos de producción en masa que se presentaban en la industria impactaron de gran manera las formas de producir de alimentos.

Esto provocó en el siglo XX la homogenización de la producción a nivel mundial, convirtiéndose en un modelo de producción agrícola masivo, especializado, intensivo y con baja mano de obra por la sustitución y uso de maquinaria, pero con un aumento en el gasto energético basado en el uso de insumos externos provenientes de combustibles, este movimiento fue conocido como revolución verde (Pichardo, 2006).

De acuerdo con las clasificaciones de Sáez Domingo (2010) y EHNE et al (2007), pueden distinguirse diferentes modelos de producción:

La agricultura tradicional: se basa en prácticas locales transmitidas de generación en generación, uso de recursos locales, capacidad de sostenimiento a nivel familiar con escasos excedentes para comercialización, genera menor presión ecológica, en muchas ocasiones suele depender de los ciclos de lluvia. En esta clasificación no existe un modelo exclusivo como tal, ya que, a nivel local, cada grupo de agricultores ha desarrollado sus propias tecnologías de acuerdo al entorno, por lo que se puede decir que existen diferentes modelos de producción tradicional a escala local. Los modelos tradicionales se caracterizan por su peculiar forma de difusión de conocimientos y la mínima cantidad y calidad de energía usada en el agroecosistema, ya que existe un conocimiento popular asociado a las formas de producir, su visión incluye aspectos físicos y metafísicos.

La agricultura convencional (industrial): se caracteriza por la adquisición de insumos externos necesarios para mantener un alto nivel de producción con alto gasto de energía, se trata de monocultivos intensivos, utiliza suministros de agua, alto uso de tecnologías, semillas mejoradas, generalmente requiere de altas inversiones de capital; se caracteriza por su cosmovisión materialista (Hernández X, 1988). Busca entender el "todo" separando cada una de sus partes, es decir de forma atomista y reduccionista, con un lenguaje científico y cuantitativo (Hecht, 1995; Restrepo et al., 2000; Gutiérrez et al., 2008; Morales, 2013; González, 2011)

La agricultura alternativa: diversos autores manifiestan una crisis rural global derivada del modelo convencional, y es que los pequeños agricultores no tienen herramientas para competir con los grandes monopolios y la brecha cada vez es mayor. Como se ha discutido en diversos textos (Altieri, 2007; Restrepo, 2000; Altieri y Toledo, 2011), el problema alimentario a nivel mundial no tiene que ver con la

producción de alimentos, si no con las políticas actuales que promueven la mercantilización de la naturaleza con fines económicos, dejando desvalidos a los millones de habitantes que carecen de flujo de efectivo para adquirir alimentos.

Ante la crisis agrícola global, se requieren alternativas de producción que permitan conservar y mantener los recursos naturales, la cultura y que permitan mejorar la situación alimentaria actual. En ese sentido, como contraparte a la agricultura convencional, han surgido diversas propuestas que descartan el uso de productos químicos y organismos genéticamente modificados, utilizan el conocimiento local y se enfocan a productores de subsistencia. Algunos ejemplos de estos modelos alternativos son la agricultura orgánica, biodinámica, agroecología, permacultura o la agricultura de bajos insumos, cada una parte de diferentes teorías o planteamientos, pero finalmente todas buscan ser modelos más inclusivos para los productores y con menos impacto para la naturaleza.

Agricultura tradicional en México

Cada cultura en diferente espacio y tiempo aprendió a aprovechar sus recursos locales como estrategias de adaptación y resiliencia ante los factores adversos de cada región (FAO, 2013). México es un país mega diverso (el 10% de toda la diversidad biológica del planeta) y mega cultural (con 68 agrupaciones lingüísticas y 364 variantes que debieran llamarse lenguas, de acuerdo al Instituto Nacional de Lenguas Indígenas). Por su riqueza natural, México es considerado un país con gran biodiversidad, esa variabilidad de paisajes, tipos de suelo y vegetación, y la presencia del hombre ha dado como resultado una gran riqueza biocultural (Toledo, 2015).

La combinación humano-naturaleza ha dado como resultado la generación de diversos ecosistemas y agroecosistemas, así como el uso de los recursos naturales.

Actualmente se cuenta con más de 100 especies de plantas domesticadas, principalmente alimenticias, y una herbolaria compuesta por al menos cuatro mil especies. Uno de los primeros trabajos para establecer categorías para la ubicación de los sistemas agrícolas tradicionales de México fue Hernández Xolocotzi en su publicación "agroecosistemas de México" (Hernández X, 1977). Moreno y colaboradores (2014) cuentan con una recopilación actual de aquellos trabajos en sistemas tradicionales de México. En este trabajo se han identificado 27 grupos culturales, de los cuales 25 son pueblos originarios, sobresalen 12 grupos culturales, encabezados por los mayas yucatecos y seguidos por los nahuas, chontales y mestizos, así como 20 nombres de sistemas tradicionales documentados en México. Estos sistemas se encuentran presentes en condiciones ambientales muy diversas, desde zonas tropicales hasta desérticas.

Clasificación Sistema Región

Clasificación	Sistema	Región
Sistema de descanso largo	Kool	Península de Yucatán
Roza-tumba-quema	Tlacolol	Montaña de Guerrero y Costa de Michoacán
	Mawechi	Sierra raramuri
	Coamil	Costa de Jalisco
Agrobosques	Kuojtakiloyan	Sierra norte de Puebla
	Cacaotal	Soconusco
	Te'lom	Huasteca Potosina (Alcorn, 1983)
	Piñal	Costa de Jalisco y Colima
Sistemas de humedales	Chinanpa	Xochimilco y milpa alta, D.F.

	Calal	Suroeste de Tlaxcala
Sistemas de zonas áridas y semiáridas	Milpa chichipera	Valle de Tehuacán
	Huamil	Guanajuato
	Tajos	Sierra de Xichu, Guanajuato
	Oasis	Baja California Sur
	Milpa – mezquital	Valle de Tehuacán
Terrazas y semiterrazas	Metepantle	Valle Poblano Tlaxcalteca
Huertos	Ekuaro	Cuenca del lago de Pátzcuaro y meseta purhépecha
	Patio	Oaxaca
	Huerto/solar	Valle de Tehuacán
	Lote	Estado de México

Tomado de Moreno et al. (2014).

Esta riqueza biocultural forma parte del patrimonio de nuestro país y deben establecerse estrategias para su conservación.

Agroecología como modelo de producción sostenible

Los sistemas sociales y de producción agrícola han co-evolucionado juntos desde la antigüedad; desde el punto de vista de Edgar Morín (Rolando, 1993), los problemas no se presentan en disciplinas aisladas, por lo tanto, deben estudiarse y analizarse partiendo de la interdisciplina. El concepto de agroecología surge en los años 70's, aunque de acuerdo con Hecht (1998) y Restrepo et al. (2000), la práctica es tan antigua como el origen mismo de la agricultura. En sus inicios se planteaba como una agricultura ecológica, pero a lo largo del tiempo se han incorporado nuevas variables al concepto de agroecología, como la inclusión del ambiente, la fisiología, la ecología y la socioeconomía en el desarrollo de un cultivo (Klages, 1942; Papadakis, 1938; Tischler; 1965), con la intención de entender las interacciones entre

procesos agronómicos, económicos y sociales.

Se fundamenta en la teoría de sistemas con el fin de entender todos los elementos interactuando conjuntamente y con una dinámica de entradas y salidas de energía (González, 2011). Uno de los principales constituyentes del paradigma agroecológico es el concepto de complejidad, es decir resultado del número y calidad de las interrelaciones de los componentes de un sistema. Este concepto reintroduce lo local y lo singular en la explicación de los fenómenos. La agroecología busca conjuntar distintas miradas de un sistema complejo (González, 2011).

Para separar el modelo convencional del modelo agroecológico, Toledo (1998) propone un conjunto de atributos para diferenciar los modos de apropiación de la naturaleza: (1) el tipo de energía utilizada durante la producción, (2) la escala de las actividades productivas, (3) el grado de autosuficiencia de la unidad productiva rural, (4) su nivel de fuerza de trabajo, (5) el grado de diversidad (eco-geográfica, productiva, biológica, genética) mantenida durante la producción, (6) su nivel de productividad ecológica o energética, (7) su nivel de productividad del trabajo, (8) el tipo de conocimientos empleados durante la apropiación/producción y (9) la visión del mundo (natural y social) que prevalece como causa de la racionalidad productiva. La agroecología está aportando las bases científicas, metodológicas y técnicas para una nueva "revolución agraria" a escala mundial (Altieri y Toledo, 2011). Los sistemas de producción fundados en principios agroecológicos son biodiversos, resilientes, eficientes energéticamente, socialmente justos, presentan un modelo de organización social basado en la sostenibilidad y constituyen la base de una estrategia energética y productiva fuertemente vinculada a la soberanía alimentaria (Altieri 1995, Gliessman 1998).

Conocimientos tradicionales

Las prácticas tradicionales o ancestrales se refieren a los conocimientos y prácticas desarrolladas por las comunidades locales a través del tiempo para comprender y manejar sus propios ambientes locales. Se trata de un conocimiento práctico y no codificado, creado por la observación directa a través de generaciones como una forma de incrementar la resiliencia de su entorno natural y de sus comunidades (FAO, 2013).

El estudio de la relación entre los recursos naturales con su ámbito local busca entender la adaptación al ambiente a través de los medios de producción (capital físico), considerando tres elementos: las plantas de cultivo, el ambiente y los agricultores (González, 2014).

Reconocer las prácticas autóctonas implica el rescate y revalorización de las tecnologías apropiadas para una región, la capacidad de creación, control, y dominio de los medios técnicos (Restrepo et al., 2000).

El conjunto de prácticas de manejo tradicional usadas por muchos agricultores de escasos recursos representa una rica experiencia en la creación de ecosistemas agrícolas bien adaptados a las circunstancias agroecológicas y socioeconómicas de los campesinos. En general, las técnicas que utilizan se adaptan muy bien a las condiciones locales. Tienden a depender más de los conocimientos que de los insumos.

Sin embargo, No se trata únicamente de validar y explicitar los conocimientos ya existentes, como científicos lo han hecho desde tiempo atrás, sin mejorar las técnicas documentadas (Khum, 1976; Restrepo, et al., 2000); por el contrario, la agroecología busca entender la realidad compleja e identificar las debilidades del sistema con el fin de mejorarlo a partir de prácticas viables de implementarse en cierta región.

Por tanto, si los científicos desean contribuir al bienestar de los agricultores, necesitan entender sus conocimientos, proporcionarles información nueva, desarrollar tecnologías apropiadas y mantener una buena comunicación con ellos. No obstante, para entender estos conocimientos, los científicos primero tienen que adquirirlos y analizarlos.

Para entender y analizar dichos conocimientos se puede partir de métodos que consideran la realidad local compleja, que faciliten la participación de las comunidades, y que tomen en cuenta la sustentabilidad económica, sociocultural y ecológica de las familias (Canuto, 2009).

Los conocimientos de los agricultores pueden clasificarse en tres categorías: percepciones, taxonomías y reglas empíricas:

Las percepciones son las características que a juicio de los productores son buenas o malas; en el caso de los estudios es importante conocer especialmente aquellas características en que se basan para juzgar si una tecnología les resulta apropiada. Este juicio no consiste necesariamente en aceptarlas o rechazarlas, sino, por lo general, en clasificarlas de más a menos apropiadas.

Las taxonomías representan la abstracción de las percepciones y su clasificación en categorías, con nombres y propiedades definidas. Las taxonomías están organizadas en forma jerárquica, mucha gente las comparte y tienen un alto grado de aceptación entre una población dada. Entre los agricultores, las taxonomías más estudiadas son las de los suelos.

Las reglas empíricas son proposiciones lógicas que asocian dos acontecimientos en una relación de causa y efecto.

Los conocimientos son construidos sin etapas predefinidas, pero según la forma y velocidad característica de los campesinos. Los conocimientos son apropiados gradualmente y van a fortalecer los sistemas agroecológicos, al igual que generar

grados mayores de autonomía para el agricultor; en estos procesos la observación es una de las principales claves de la construcción del conocimiento. El conocimiento es de código abierto, y, por tanto, de libre acceso, modificación y aplicación por los agricultores; no hay limitaciones, ni reglas, ni procedimientos técnicos establecidos desde fuera. Para la construcción participativa del conocimiento agroecológico algunos principios son fundamentales (Canuto, 2009):

- La transdisciplinariedad, para permitir el diálogo entre áreas de conocimiento complementarias.
- La relación entre técnicos y científicos generalistas y especialistas, para que los conocimientos específicos tengan lugar en un sistema mayor y más complejo; es decir, que haya la contribución de diferentes áreas del conocimiento, pero con articulación holística.
- El cambio de actitudes, al considerar a los agricultores como protagonistas de la construcción del conocimiento; la convivencia con ellos, y el llevar a la práctica el ejercicio de oír.

El método no es una fórmula, por el contrario, debe ser definido por la selección y conexión de las herramientas más adecuadas a las condiciones de la realidad, por ejemplo:

- A las condiciones materiales y culturales de los agricultores.
- Al tiempo y a los recursos disponibles.
- Al grado de convivencia de los actores técnicos con los agricultores.
- Al nivel de participación actualmente existente.
- A los objetivos de los agricultores

Uno de los pioneros en estudios agroecológicos en México fue Efraín Hernández Xolocotzi, ya que además de documentar y clasificar los sistemas tradicionales, buscó identificar problemáticas, y proponer innovaciones para mejorar la productividad de

estos sistemas. En 1988 cotejó las prácticas tradicionales del rosa-tumba-quema en Tzekel y Kan cab en Yucatán. Se compararon prácticas agrícolas tradicionales e innovaciones, los trabajos de campo fueron dirigidos y ejecutados por los mismos agricultores. Este estudio sirvió para comprender las razones del uso de suelo en esa región y ayudó a proponer mejoras para evitar desaparición de estos sistemas.

Desarrollo sostenible de las comunidades

Existe una estrecha relación entre las regiones biodiversas del país, el alto porcentaje de población indígena que habita estas regiones y las condiciones de alta marginación y escaso desarrollo humano en que prevalecen (Ramos, 2011; Boege, 2008). Distintos enfoques tratan de explicar este fenómeno, desde los procesos históricos de la lucha y resistencia de estos pueblos durante la colonia, el mayor desarrollo socioeconómico en zonas templadas, la imposición de poderes económicos, sociales y políticos; hasta las consecuencias de implementar modelos de desarrollo homogéneos para todo el país (Madueño, 2000; Ramos, 2011).

Ante esta situación, el desarrollo comunitario busca la posibilidad de mejorar las condiciones de vida de las poblaciones en condiciones de desigualdad, con un enfoque de abajo hacia arriba (bottom-up), a partir del manejo sustentable de sus recursos naturales. Parte del empoderamiento de las comunidades y la democratización de la vida social, económica y política (Madueño, 2000).

De acuerdo con Ramos (2011), una combinación entre manejo y conocimiento tradicional y moderno, permitiría proteger y conservar los paisajes, ecosistemas y especies de una forma adecuada, mientras las comunidades se desarrollan. Esto implica, la participación de los pueblos indígenas, las instituciones gubernamentales y académicas, trabajando horizontalmente para crear los mecanismos y las políticas

públicas adecuadas, para permitir la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad y a la vez favorecer el desarrollo de los pueblos indígenas.

Para lograr lo anterior, es necesario trabajar en conjunto al mismo nivel, reconociendo el valor del manejo y conocimiento tradicional y entendiendo la cosmovisión de los pueblos indígenas, que junto con los conocimientos científicos actuales se pueda generar una estrategia de desarrollo sustentable y conservación adecuada, tomando en cuenta todos los factores sociales, políticos, económicos y ambientales que convergen en la comunidad (Ramos, 2011).

El objetivo es asegurar o mejorar el bienestar de sus protagonistas, es decir de los habitantes de la comunidad, y a la vez contribuir a la conservación de los recursos naturales (Sabogal et. al., 2008). Esta alternativa debería ser tomada en cuenta a corto tiempo ya que la presión sobre los recursos naturales es alta y que existe una tendencia a la desaparición de las porciones de bosque y selva debido al cambio de uso de suelo. En ese sentido, la agroecología provee de metodologías que permiten el reconocimiento de los saberes tradicionales, propician el empoderamiento de los pueblos indígenas y permite identificar las problemáticas en busca de mejoras que permitan un desarrollo sustentable de las comunidades.

Condiciones socio-ambientales de la Huasteca Potosina

La zona de estudio comprende 11 municipios de la Huasteca Centro y Sur de San Luis Potosí: Aquismón, San Antonio, Xilitla, Tamazunchale, Matlapa, Axtla de Terrazas, Tampacán, Coxcatlán, Huehuetlán, Tancanhuitz y Tampamolón Corona.

Más del 60% del área de estudio la conforman las serranías del Carso Huasteco dentro de la Sierra Madre Oriental. Los municipios de Tampamolón Corona, Tampacán y una pequeña porción al noreste de Aquismón y noroeste de Tancanhuitz

forman parte de las llanuras, lomeríos y valles de la llanura costera del golfo norte (INEGI, 2015).

Al oeste predominan las porciones de selva alta perennifolia, mientras que al este se presentan en mayor proporción pastizales y cultivos de temporal. En las zonas más altas de la sierra madre oriental aún pueden encontrarse porciones aisladas de bosque impera el clima semicálido húmedo con lluvias en verano (ACw), la temperatura media anual es de 24 °C y la precipitación oscila entre los 1200 y 2500 mm anuales. (INEGI, 2015).

La Huasteca centro y sur se extiende en una superficie de 3491.7 km², sobre un área densamente poblada, con una población de 392, 811 habitantes, es decir, el 15.2% de la población estatal (INEGI, 2010). Entre sus rasgos culturales, destacan que más del 50% de la población es de origen indígena (Náhuatl y Tenek), de hecho este grupo representa el 80% del total de hablantes indígenas en San Luis Potosí.

De acuerdo a la SEDECO, en esta región se distribuye el 13.6% del PIB estatal (COPLADE, 2010), sin embargo, más del 90% de los municipios se clasifican como de muy alta y alta marginación (CONAPO, 2010). La situación actual ha traído como consecuencia un movimiento migratorio de adultos y jóvenes principalmente, de manera que quienes se encuentran actualmente en el campo son personas de edad avanzada, esta separación de las familias pone en riesgo la transmisión de la cultura, el conocimiento, la lengua y la identidad (Boege, 2008).

Esta microrregión es principalmente agrícola (INEGI, 2010); destacan el cultivo de caña de azúcar (*Sacharum officinale*), café (*Coffea spp.*), naranja (*Citrus sinensis*), vainilla (*Vanilla spp.*) y el litchie (*Litchie chinensis*), además de otros cultivos para autoconsumo como el maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), calabaza (*Cucurbita spp.*) y especies forestales como la palma camedor (*Chamaedorea elegans*). La producción en la región se caracteriza por ser de temporal, con baja

tecnificación y por lo tanto rendimientos limitados, además de ser una agricultura de baja escala, es decir productores con menos de dos hectáreas de superficie (CESPVESLP, 2012).

La baja productividad de los cultivos, así como el escaso flujo de efectivo han generado una fuerte presión sobre los recursos naturales, ya que el productor se ve obligado a transformar cada vez más superficies, principalmente de selva a agricultura de temporal, lo cual se refleja en la alta tasa de cambio de uso de suelo en las últimas décadas (Miranda et al. 2013; Reyes, et al. 2006). Esta situación no es reciente, pues hace ya más de treinta años se documentaba la transformación de "agrobosques" (sistemas agroforestales tradicionales) y porciones de selva a monocultivos (Alcorn, 1983).

Boege (2008), señala que la Huasteca Potosina ha perdido toda porción de selva en su estado primario, es decir se encuentra en proceso de sucesión. Sin embargo, aunque en porciones mínimas, aun se cuenta con sistemas agroforestales históricamente conservados, con un manejo tradicional indígena, en los que se conservan las características y dinámica de los ecosistemas naturales, con un manejo sostenible y diversificado de especies de uso tradicional (te'lom – tenek y cuayo – náhuatl) (Alcorn, 1983; Moreno, 2003; Trinidad, 2014).

Estos sistemas se encuentran en grave peligro de desaparecer si continúa la tendencia de "Desarrollo rural", establecida a nivel nacional desde la década de 1970 (Reyes et al. 2006), encaminada a implementar sistemas productivos simplificados como un modelo de "arriba hacia abajo" que no toma en cuenta el uso de suelo, las condiciones ambientales del lugar, el contexto sociocultural y las consecuencias de una agricultura intensiva (Boege, 2008; Ramos, 2011).

El cultivo de la vainilla

Esta orquídea es una especie pantropical, de crecimiento hemiepífito indeterminado, con dominancia apical, de manera natural puede encontrarse de forma rastrera o aérea pues suele trepar por el fuste de los árboles. (Soto, 2009); aunque México es centro de origen y domesticación, actualmente tiene presencia en América, África y Asia.

Entre los principales países productores de la vainilla comercial se encuentran Indonesia, Comodo, Nueva Guinea, Uganda, China, India e Isla Reunión, Tahiti, Uganda, Costa Rica, Belice (Nielsen, 2007). Madagascar es uno de los principales países productores a nivel internacional donde se cultiva vainilla bajo plantaciones forestales o bosques naturales, con alrededor de 80,000 agricultores (Cadot et al., 2006; Exley, 2010).

En Costa Rica se diferencian dos principales sistemas de producción, el sistema intensivo bajo casas malla sombra propiedad de inversionistas extranjeros y de manera tradicional bajo la sombra de tutores en campo con productores a pequeña escala (Varela, 2011). En Belice las plantaciones comerciales se establecieron en sistemas agroecológicos a partir del año 2007, y desde entonces se ha manejado como cultivo orgánico, además han innovado al alternar cultivo de maíz los primeros años para garantizar ingresos y subsanar los gastos de inversión mientras comienza la producción de fruto (Gretzinger y Dean, 2011). Australia por su parte tiene por lo menos 130 años intentando producir vainilla de forma viable, pero a pesar de diversos estudios para analizar la viabilidad de la implementación del cultivo han encontrado diversas problemáticas relacionadas con la producción de la vainilla (Exley, 2010; Exley, 2011).

En México, la vainilla se cultiva adecuadamente en regiones cálidas húmedas entre los 0 y los 700 msnm (Castro, 2008), con temperaturas de 5°- 27°C. Se desarrolla bien con lluvias de hasta 2500 mm anuales distribuidos por lo menos durante nueve meses del año. El cultivo de la vainilla requiere de la implementación de prácticas de manejo a lo largo de todo el año con el fin de permitir un adecuado desarrollo de frutos y evitar problemas fitosanitarios.

Los productores deben encausar las guías con el fin de evitar que la planta trepe a una altura difícil de manipular, esta actividad se debe realizar cada vez que se observe que el ápice comienza a subir a una altura difícil de manipular. Cuando la punta del ápice se encuentra sobre el suelo es necesario adicionar materia orgánica para inducir el desarrollo de raíces (Castro, 2008), esta actividad permite que la planta tenga mayor superficie de contacto con el suelo para nutrirse.

Es una especie umbrófila, por lo que se recomienda la regulación de la sombra con el fin de generar un microclima adecuado (Cabrelli et al., 2006). Este factor se puede manipular a lo largo del año, para lo cual se recomienda un 50% – 60% de sombra durante la época de sequías mientras que en la época lluviosa la sombra se puede reducir hasta 30%-35% (Elorza et al., 2007). Para el caso de la región, los porcentajes de sombra menores a 80% se relacionan con un tamaño de fruto pequeño.

Para obtener nuevos individuos, se ha optado por la propagación vegetativa debido a las dificultades para obtener plantas por semilla; de acuerdo con Soto (1999) y Bory et al. (2009) de manera natural apenas es posible encontrar un espécimen por cada 2 a 10 km². El problema asociado a la reproducción asexual tiene que ver con el desconocimiento de la sanidad, origen y edad del material propagado, esto ha derivado en problemas de sanidad y vulnerabilidad ante factores climatológicos debido a la disminución de su base genética.

Una de las actividades más demandantes del cultivo de la vainilla es su polinización; esta actividad consiste en transferir manualmente el polen de la antera al estigma de la flor para asegurar el desarrollo del fruto (Bawa et al., 1985). Dicha actividad es necesaria en virtud que de manera natural la presencia de frutos es muy escasa, un fruto por cada ciento de flores polinizadas (Soto, 2006). La polinización natural sólo se presenta en sistemas agroforestales o vinculados a vegetación abundante (García, 2013; Maceda, 2015). Se reconoce los géneros *Euglossa* y *Eulema* como insectos polinizadores específicos de las orquídeas (Soto, 2006; Nates, 2005), específicamente Nates (2005) menciona que la vainilla es polinizada por *Eulaema polychroma*, *E. speciosa*, *E. cingulata* y *E. nigrita*.

Debido a las características ambientales que requiere la vainilla para su crecimiento, es frecuente la presencia de insectos perjudiciales y enfermedades, por lo que, si estos llegan a sobrepasar el umbral económico, se requiere realizar algún tipo de control. Entre los principales problemas se encuentra el ataque de la chinche roja (*Tentecoris confusus*) y gusano peludo (*Plusia aurífera*). Una de las principales enfermedades asociadas a la vainilla es la pudrición de raíz y tallo (*Fusarium oxisporum*), se cree que esta incidencia se deriva de la base genética restringida causada por la reproducción asexual lo que provoca que la planta sea vulnerable a plagas, enfermedades y embates climáticos. Además, se puede presentar antracnosis o negrilla (*Collectotrichum vainillae*) y roya (*Puccinia sinamonea*).

Además de los aspectos técnicos, la falta de recursos económicos para la implementación de paquetes tecnológicos, los bajos ingresos generados por cultivo debido a la baja densidad de siembra, las pérdidas debido a fenómenos meteorológicos y al pago injusto de la vainilla por parte de intermediarios son otros problemas frecuentes (Tobar, 2008).

De acuerdo con Hernández (2011), en México la vainilla se cultiva en cuatro principales sistemas de producción, en sistemas agroforestales compuestos principalmente por vegetación secundaria a los cuales denomina "acahual"; vainilla en asociación con otros cultivos como el café o la naranja; de manera intensiva usando de tutor especies como *Erythrina* sp. o *Gliricidia sepium* y cultivo intensivo bajo casa sombra. Los Estados con presencia de vainilla son Veracruz, Puebla, Hidalgo, San Luis Potosí, Oaxaca, Chiapas y Quintana Roo (Barrera et al., 2010).

En el caso de San Luis Potosí, se desconoce si las poblaciones de vainilla con más antigüedad son silvestres o fueron introducidas a la región junto con el café y otros cultivos, pero se sabe que formaba parte de las especies comercializables desde hace más de 100 años (GESLP, 2014; Ruvalcaba, 1996). El único registro de colecta es apenas de 1979 en Tanjasnec, San Antonio, realizado por Alcorn (Herbario Nacional, UNAM, 2014).

Actualmente se cuenta con un padrón de 972 productores establecidos en 13 municipios de la Huasteca centro y sur de San Luis Potosí, y una superficie de 96 en 2010 (PRSPVSLP, 2012).

Existen tres principales sistemas de producción: i) la vainilla en asociación con cítricos (naranja en su mayoría); ii) la producción en casas malla sombra y iii) la producción en sistemas agroforestales tradicionales denominados *te'lom* (Tenek) o *cuayo* (Náhuatl) (Alcorn, 1983).

Las poblaciones de vainilla en sistemas agroforestales se encuentran adaptadas a las fluctuaciones y cambios drásticos en el tiempo de la región, forman parte de agrobiodiversidad favorecida por los campesinos. Sin lugar a dudas la vainilla asociada a las especies que los Náhuatl y Tenek suelen tolerar en sus agroecosistemas es una riqueza biológica y cultural que merece ser conservada, y requiere de prontas estrategias para su manejo y conservación a futuro.



Distribución de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews y acciones para su conservación en la Huasteca Potosina

Vanilla planifolia Jacks. ex Andrews distribution and actions for its conservation in the *Huasteca Potosina*

Karina L. Trinidad García¹, Humberto Reyes Hernández^{2*}, Rosa I. Martínez Salazar² y Erika Galarza Rincón³

Abstract

Vanilla (*Vanilla planifolia*), one of the most widely used orchids since pre-Columbian times, is currently under threat and subject to special protection. The objectives of this research were to identify the current and potential distribution of wild vanilla in the *Huasteca Potosina*; and design actions for its conservation. For this purpose, consultations were made in herbaria, field trips, interviews with the vanilla producers, and participatory workshops with local inhabitants. A spatial analysis was carried out in order to get to know the environmental characteristics of the plots with the presence of vanilla, and their potential distribution was modeled. In the *Huasteca Potosina*, 28 sites were located with the presence of the taxon under study, most of them in traditional agroforestry systems and, to a lesser extent, in the relics of medium forest that still persist in the region, anchored to the tutors that provide them with the necessary support. Its potential distribution was estimated at 85.5 km² Germplasm without domestication processes and adapted to the environmental conditions that were identified, has the possibility of being conserved. The owners proposed wildlife management units for its conservation *in situ*.

Key words: Conservation, potential distribution, conservation strategies, Maxent, *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews, *Huasteca Potosina*.

Resumen

La vainilla (*Vanilla planifolia*) es una de las orquídeas más ampliamente utilizada desde la época precolombina, actualmente, su estatus de conservación corresponde a la categoría de Sujeta a Protección Especial. Los objetivos de esta investigación fueron identificar su distribución actual y potencial en la Huasteca Potosina; y diseñar acciones para su conservación. Para ello, se realizaron consultas en herbarios, recorridos de campo, entrevistas con los productores de vainilla y talleres participativos con habitantes locales. Se llevó a cabo un análisis espacial basado en sistemas de información geográfica, para conocer las características ambientales de los sitios con presencia de la especie y se modelizó su distribución potencial. En la Huasteca Potosina, se ubicaron 28 sitios con presencia del taxón bajo estudio, la mayoría en sistemas agroforestales tradicionales y, menor proporción, en los relictos de selva mediana que aún persisten en la región, anclados a los tutores que les proveen el soporte necesario. Su distribución potencial se estimó en 85.5 km². El germoplasma sin procesos de domesticación y adaptado a las condiciones ambientales que se identificaron, tiene posibilidades de ser conservado. Los poseedores de este recurso genético consideran que una Unidad de Manejo de la Vida Silvestre sería la forma más adecuada para lograr su conservación *in situ*.

Palabras clave: Conservación, distribución potencial, estrategias de conservación, Maxent, *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews, Huasteca Potosina.

Fecha de recepción/Reception date: 15 de junio de 2019

Fecha de aceptación/Acceptance date: 15 de agosto de 2019

¹Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, UASLP. México.

²Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, UASLP. México.

³Laboratorio de Sistemas de Información Geografía y Percepción Remota, Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, UASLP. México.

*Autor por correspondencia; correo-e: hreyes@uaslp.mx

Introducción

La vainilla (*Vanilla* spp.) es una de las orquídeas más cultivadas a nivel mundial (Flanagan y Mosquera, 2016). Su demanda abarca la industria alimentaria, farmacéutica, de perfumería y cosmética (Azofeifa-Bolaños *et al.*, 2014). Las especies: *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews, *V. pompona* Schiede y *V. tahitensis* J.W. Moore., son las más importantes en el mundo, por ser productoras de vainillina natural (Flores *et al.*, 2017).

De los tres taxa antes citados, *V. planifolia* además de ser el más aprovechado para fines comerciales y el segundo saborizante natural más importante (Luna-Guevara *et al.*, 2016), tiene el estatus de Sujeta a Protección Especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Semarnat, 2010). Lo anterior, principalmente, se debe a la deforestación y fragmentación de su hábitat (selvas medianas perennifolias) y a la extracción ilegal de individuos para establecer plantaciones comerciales (Soto y Dressler, 2010). Además, la especificidad de sus polinizadores y dispersores naturales es un elemento que incrementa el riesgo de que sus poblaciones silvestres desaparezcan (Salazar *et al.*, 2014).

Las estrategias más empleadas para su conservación incluyen la creación de bancos de germoplasma, el mejoramiento de las condiciones en las plantaciones y la conservación *in vitro* (Bello-Bello *et al.*, 2015). Para ello, se requiere conocer el estado de sus poblaciones, definir acciones que integren valores comerciales, biológicos y culturales, así como diseñar programas específicos de conservación (Herrera-Cabrera *et al.*, 2012; Salazar *et al.*, 2014; Hernández-Ruíz *et al.*, 2016).

Una de las herramientas relevante en la protección y conservación de especies amenazadas es la aplicación de modelos de distribución de especies (MDE) (Baldwin, 2009; Cassini, 2011; Mateo *et al.*, 2011). Dichos modelos, basados en la presencia de los taxones, permiten determinar los factores ambientales que delimitan su distribución o redistribución (Cassini, 2011). Además, facilitan la implementación de procedimientos para la repoblación de especies vegetales y animales (Loiselle *et al.*, 2003; Benito y Peñas, 2007; Obregón *et al.*, 2014; Figueroa *et al.*, 2016).

En México, los MDE se han aplicado para identificar patrones de distribución y establecer zonas prioritarias para la conservación de avifauna (Jacinto-Flores *et al.*, 2017), reptiles (Paredes *et al.*, 2011) y plantas (Villaseñor y Téllez-Valdés, 2004; Peters *et al.*, 2014).

En virtud de la importancia económica y cultural de la vainilla para México y el mundo (Hernández, 2011), con este trabajo se busca aportar elementos sobre la distribución actual de *Vanilla planifolia* en el noreste del país, ya que a la fecha se carece de evidencias recientes que documenten su presencia en el estado de San Luis Potosí; además, tampoco existe información básica que fundamente el diseño de acciones para la conservación de su germoplasma.

Así, los objetivos de la presente investigación fueron identificar los sitios actuales de distribución de *Vanilla planifolia*, modelizar su distribución potencial y definir, de manera conjunta con habitantes locales, acciones para su conservación en la región de la Huasteca Potosina.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La Huasteca Potosina se localiza en el estado de San Luis Potosí está integrada por dos subregiones denominadas Huasteca Norte y Huasteca Sur (Inegi, 2017). En esta última, ubicada en la porción de barlovento de la Sierra Madre Oriental, se sitúa la zona vainillera (Reyes *et al.*, 2018) (Figura 1). El clima predominante corresponde al semicálido subhúmedo; en una pequeña porción prevalece el cálido subhúmedo, al norte y noreste; y en un segmento del municipio Xilitla, el templado húmedo. La precipitación varía de 1 500 a 3 000 mm anuales, con una temperatura media anual de 16 a 24 °C (Inegi, 2017).

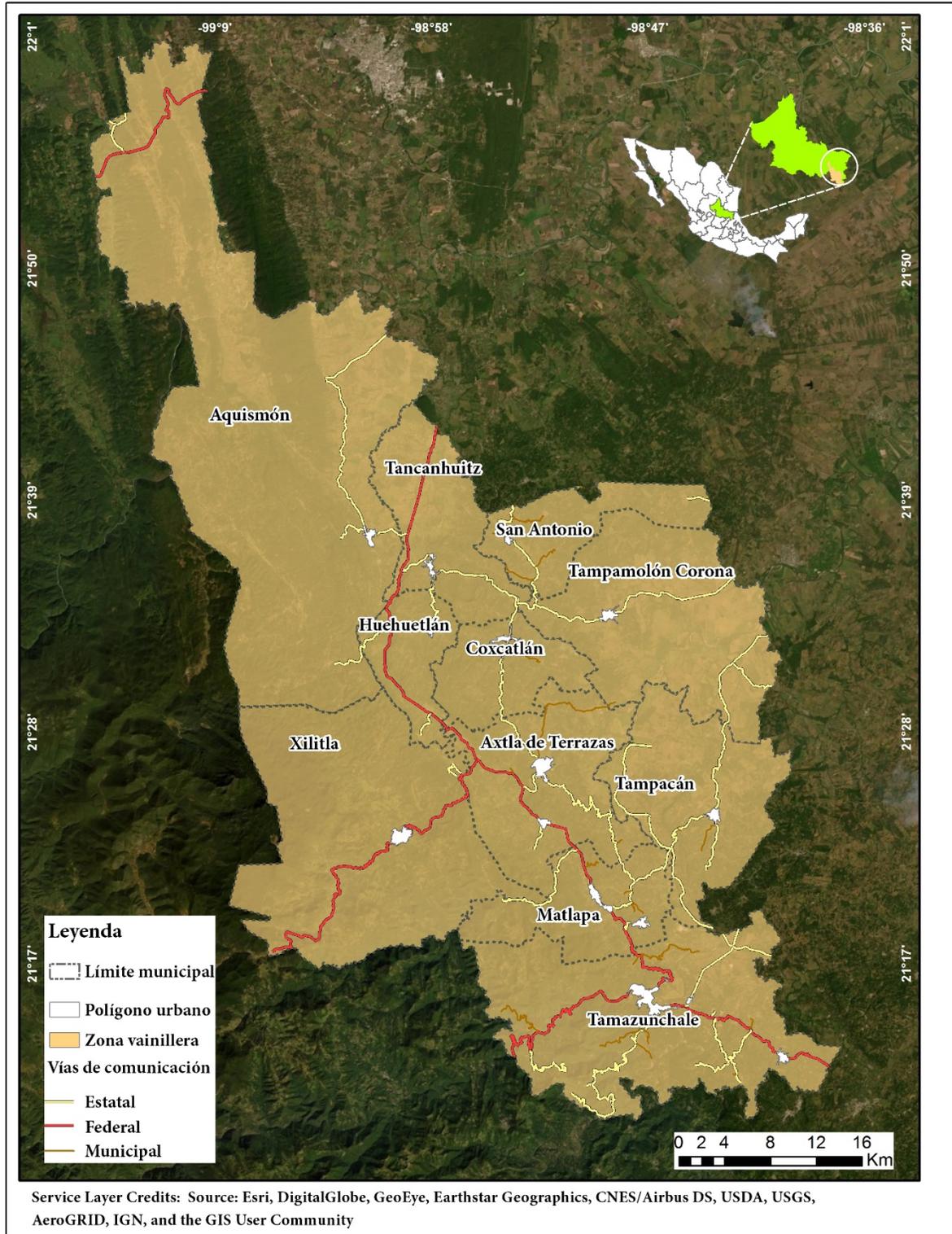


Figura 1. Zona vainillera del estado de San Luis Potosí.

Distribución actual y potencial

Para definir la distribución actual de la especie en la región de estudio, se hizo una búsqueda de registros en las colecciones: Herbario Nacional de México (MEXU), de la Universidad Nacional Autónoma de México; y Herbario Isidro Palacios del Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas (IIZD), perteneciente a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Además de, consultar la base de datos de la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (Remib, 2018). El resultado fue de dos registros de *Vanilla planifolia* para San Luis Potosí, correspondientes a una misma colecta, depositados en el MEXU y en el IIZD.

Asimismo, se obtuvo información de la base de datos del Macroproyecto de investigación aplicada para el fortalecimiento de la producción de vainilla en México 2013-2015, sobre productores que refieren la presencia de la especie en relictos de selva mediana, acahuals y en los sistemas agroforestales conocidos como *te'lom* y *cuayo* de la Huasteca; se identificaron 21 agricultores, a quienes se les aplicó un cuestionario con preguntas semiestructuradas. En este instrumento de carácter cualitativo, se incorporaron aspectos referentes (entre otros datos de interés de la especie) a la capacidad del entrevistado para distinguir diferentes tipos de vainilla, a su conocimiento de los sitios donde habita *V. planifolia* de forma silvestre y sobre la certeza de que eran poblaciones sin manejo previo (cultivada).

Para fines de la investigación, de acuerdo con lo señalado en la Ley General de Vida Silvestre, se consideró como especie silvestre a: "los organismos que subsisten sujetos a los procesos de evolución natural y que se desarrollan libremente en su hábitat, incluyendo sus poblaciones menores e individuos que se encuentran bajo el control humano, así como los ferales" (Semarnat, 2018).

A partir de las entrevistas, efectuadas entre febrero y septiembre de 2014, se llevaron a cabo recorridos de campo para verificar la presencia del taxon. Se identificaron 28 sitios, los cuales fueron georreferenciados con un GPS *Garmin Colorado 600*. Además de las coordenadas de cada lugar, se obtuvo información sobre el tipo de tutor que

sostiene a la planta, la altura del bejuco, el número de frutos, el porcentaje de sombra y las características ambientales predominantes.

Asimismo, se colectaron ejemplares botánicos (Ricker, 2014) los cuales fueron depositados en el Herbario IIZD para su posterior identificación, mediante el uso de claves taxonómicas (Soto, 2003; Soto y Dressler, 2010).

Los datos georreferenciados en campo (28) y el registro obtenido en los herbarios MEXU e IIZD fueron los insumos primordiales del MDE, el cual se basó en el algoritmo de Máxima Entropía, denominado *Maxent*. Dicho modelo permite inferir sitios de presencia de cierta especie, en función de registros reales de su existencia en localidades específicas y las condiciones ambientales predominantes (Cassini, 2011; Mateo *et al.*, 2011). Además, se incorporaron las capas bioclimáticas (BIO) de la base de datos *WorldClim-Global Climate Data* (<http://www.worldclim.org/>), de vegetación y uso de suelo serie V (VUS), altitud (MDT) y edafología serie V (EDA) de Inegi (<https://www.inegi.org.mx/datos/>); las cuales se transformaron a formato *raster* y se estandarizaron a un tamaño de celda de 30 × 30 m (Cuadro 1).



Cuadro 1. Variables bioclimáticas y físicas empleadas en el modelo de distribución potencial.

Clave	Variable
BIO1	Temperatura promedio anual
BIO2	Oscilación diurna de la temperatura
BIO3	Isotermalidad
BIO4	Estacionalidad de la temperatura
BIO5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido
BIO6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío
BIO7	Oscilación anual de la temperatura
BIO8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso
BIO9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco
BIO10	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido
BIO11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del periodo más lluvioso
BIO14	Precipitación del periodo más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación
BIO16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso
BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco
BIO18	Precipitación del cuatrimestre más cálido
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío
VUS20	Vegetación
MDT21	Uso de suelo
EDA22	Elevación

Se hicieron repeticiones por medio de la alternancia de distintas capas, tanto cualitativas como cuantitativas y los *settings* se calibraron a 25 %, 50 % y 75 % para definir el porcentaje de evaluación (Benito y Peñas, 2007; Cassini, 2011). El principal criterio para elegir el mejor modelo fue un valor de la curva ROC² mayor a 75 % (Muñoz y Felicísimo, 2004). Los coeficientes, AUC de entrenamiento (0.953) y AUC de evaluación (0.939) fueron cercanos a 1, lo cual indica alta confiabilidad, por encima de la predicción al azar que garantizan la robustez del modelo.

El MDE resultante se exportó al programa *ArcGis* 10.2 sobre una imagen de satélite *SPOT* correspondiente a febrero de 2016, para cotejar su coincidencia con las áreas

ocupadas por las selvas (hábitat natural de la especie). Finalmente, se calculó la superficie donde potencialmente podría distribuirse *V. planifolia*.

Acciones para la conservación

Con el fin de intervenir en el territorio e involucrar a los pobladores locales en la conservación de la especie, se eligió la localidad de Jalpilla en Axtla de Terrazas para diseñar acciones de conservación, mediante procesos participativos orientados a la acción y al compromiso personal para la protección ambiental. El criterio de selección fue el respaldo de los agricultores para que el proyecto se llevara a cabo.

Las metodologías participativas son herramientas que ayudan a descifrar las razones por las cuales una comunidad que posee algún tipo de recurso toma sus decisiones y, permite, al mismo tiempo, delinear algunas acciones para su protección (Herlihy y Knapp, 2003). Dichas metodologías se basan en la intervención activa de los habitantes locales y se componen de dinámicas de grupo, sociodramas, rutas críticas, mapas y otros medios que propicien la participación, el análisis y la reflexión de los participantes. A diferencia de otros métodos, este enfoque no busca la representatividad, ya que cada caso de estudio suele ser único, además por su naturaleza cualitativa tampoco demandan de un análisis estadístico para su validación (Reyes *et al.*, 2013).

La metodología empleada incluyó la realización de talleres de evaluación participativa, recorridos de campo, aplicación de entrevistas semiestructuradas y observación participante. Las dos últimas actividades son instrumentos complementarios mediante los cuales fue posible triangular y cotejar la información obtenida en los talleres.

En Jalpilla, se realizaron tres talleres participativos, con una asistencia en promedio de 8 a 10 productores, entre ellos los dueños de los predios en los que se ubicaron individuos de *V. planifolia*.

El primero, de reconocimiento, tuvo la finalidad de identificar a los propietarios de los predios con presencia de la especie de interés; obtener información general del sistema de producción; sus usos e importancia económica. El segundo, de la conservación, se implementó para reconocer la percepción de los participantes sobre la conservación y las acciones implementadas para preservar el taxon. El tercero, acciones para la conservación, tuvo como objetivos identificar y definir sitios prioritarios para preservarlo mediante diferentes esquemas propuestos y discutidos con los asistentes.

Adicionalmente, se capacitó a los participantes sobre la valoración de los recursos genéticos, la importancia de la biodiversidad local y las posibilidades que ofrecen los nuevos programas de conservación.

Como resultado de la intervención, los participantes de los talleres propusieron y definieron, mediante un consenso, áreas de exclusión como medida principal para proteger la especie. Para ello, fue necesario contar con la anuencia de los poseedores legales de dichos terrenos y su consentimiento para implementar las acciones previamente acordadas. Para delimitar con mayor precisión las áreas propuestas, estas fueron georreferenciadas en campo con un GPS *Garmin Colorado 600*. Finalmente, toda la información se representó en una imagen de satélite *SPOT* de febrero de 2016, impresa en color verdadero y mostrada al grupo, para validar los resultados.

Resultados

Distribución actual y potencial de *Vanilla planifolia*

Los únicos registros de herbario para *Vanilla planifolia* en San Luis Potosí corresponden a Tanjasnec, San Antonio, en una selva mediana perennifolia, su fecha de colecta fue el 4 de mayo de 1979 y el colector Janis Alcorn. En esta investigación se identificó la presencia de la especie en 28 sitios pertenecientes a 17 localidades (incluida Tanjasnec), de los municipios: Aquismón, Axtla, Huehuetlan, Matlapa, San Antonio, Tancanhuitz y Tamazunchale en la Huasteca Potosina (Figura 2).

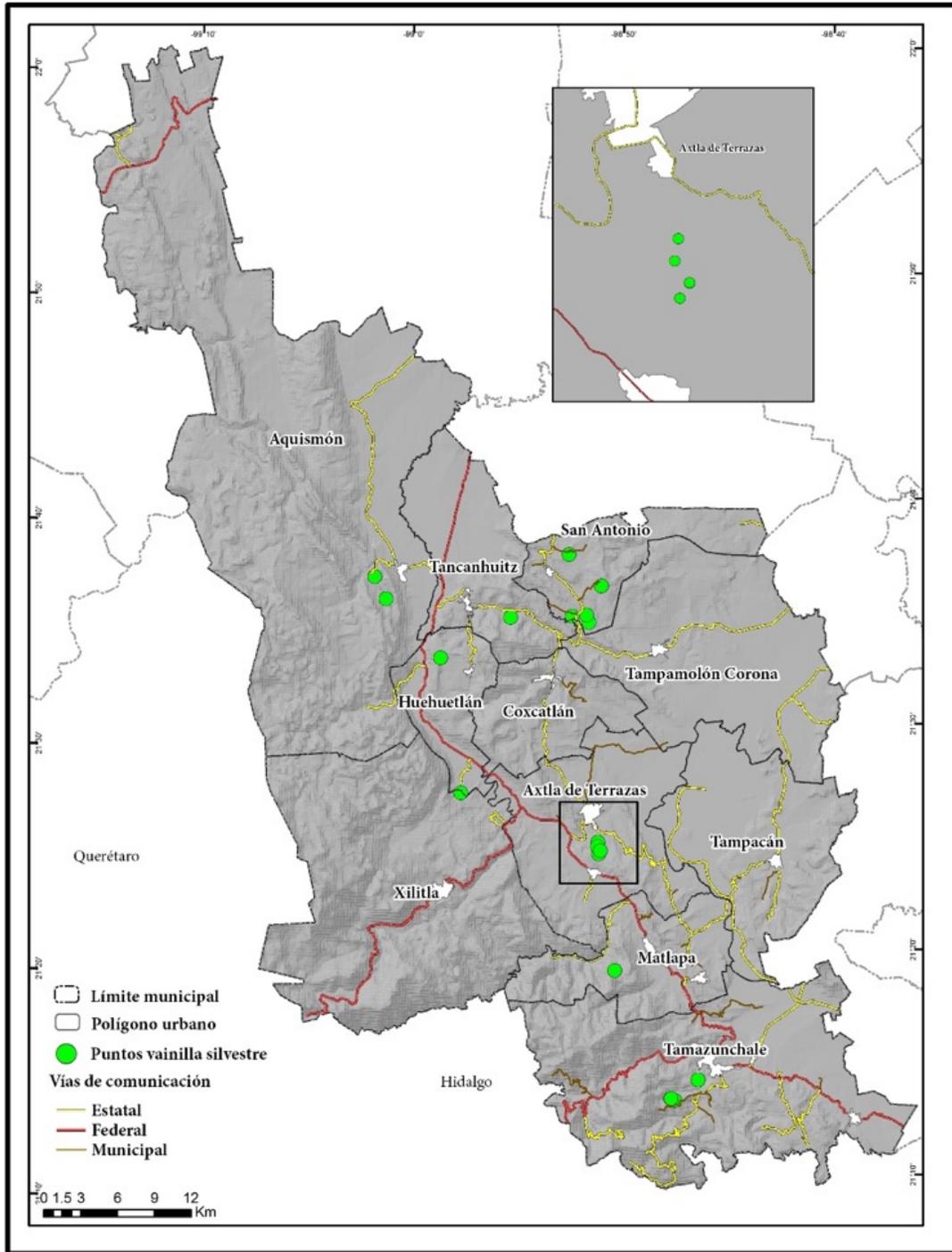


Figura 2. Sitios con presencia de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews, en la Huasteca Potosina.

Las características de estos lugares indican que *V. planifolia* se desarrolla en altitudes de 100 a 767 m, en terrenos con pendientes ligeras (5 %) a moderadas (>10 %). La temperatura mínima oscila entre 5 y 14 °C y la máxima de 26 a 36 °C. La precipitación varía de 1 600 a 2 500 mm anuales. En todos los sitios, el tipo de vegetación predominante corresponde a selva mediana (perennifolia y subperennifolia) (Figura 3).



Figura 3. Especímenes de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews, localizados en los relictos de selva (1) y sistemas agroforestales (2).

Los principales tutores asociados a la vainilla fueron: cafesillo (*Psychotria sp.*), palo vidrioso [*Dendropanax arboreus* (L.) Decne. & Planch.], aguacate (*Persea americana* L.), guácima (*Guazuma ulmifolia* Lam.) y capulín (*Prunus serotina* Ehrh.). En promedio, se observó un bejuco por árbol, con una longitud de cinco metros. Únicamente, se registraron dos plantas con frutos visibles durante toda la exploración. La ficha botánica de los ejemplares colectados puede ser consultada en la página virtual del Herbario Isidro Palacios del IIZD. (<http://slpm.uaslp.mx/DetalleEjemplar.aspx?id=8Uky0ajgzWU=>).

El modelo de distribución potencial definió una superficie de 85.5 km² (Figura 4), cuya zona con mayor probabilidad de presencia (71-87 %) correspondió a la porción central de los municipios Matlapa, Tamazunchale, Coxcatlán, San Antonio y Tancanhuitz; la parte oeste de Huehuetlán y el sureste de Aquismón.



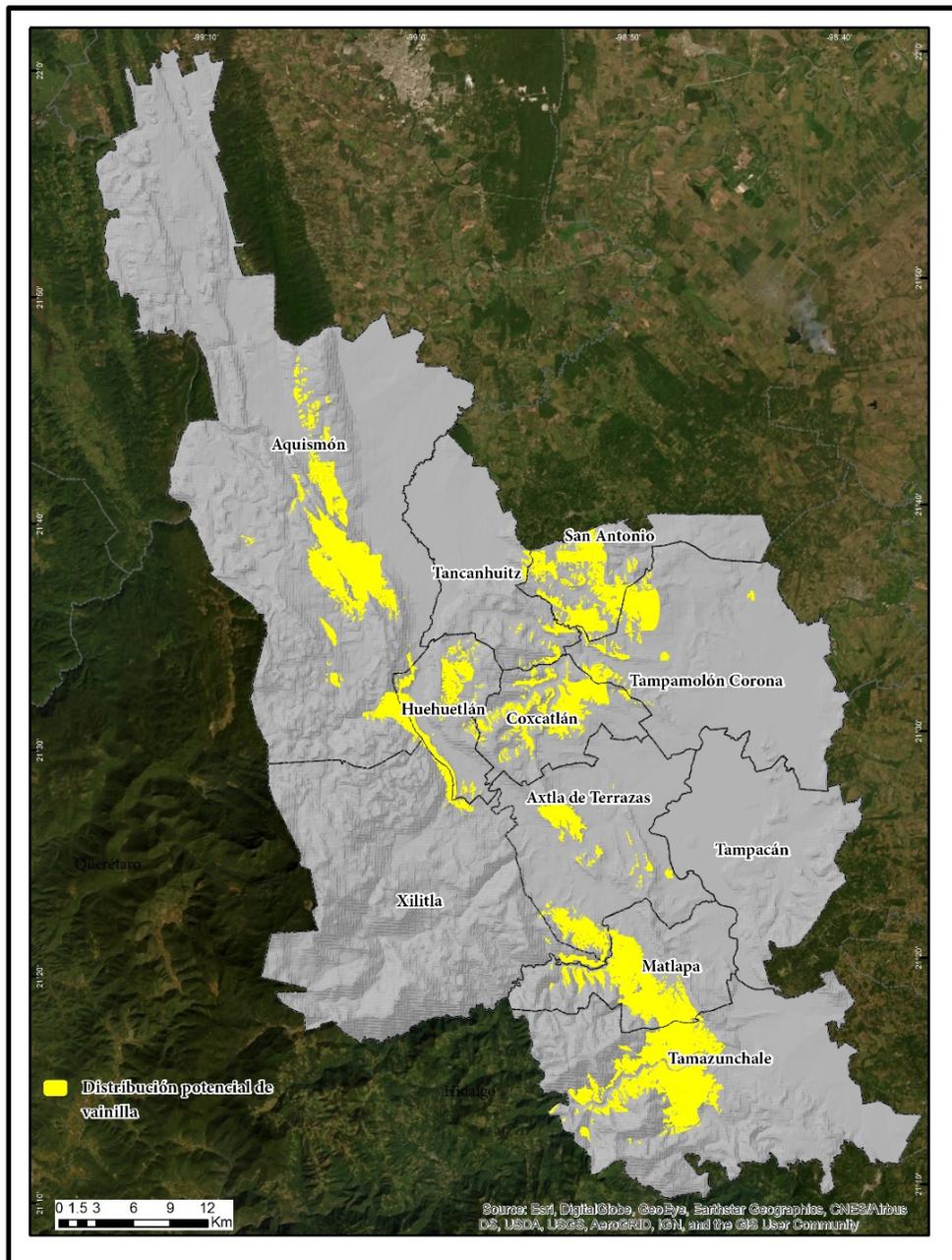


Figura 4. Distribución potencial de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews en la Huasteca Potosina.

Es importante aclarar que, si bien existen las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de *V. planifolia* en el sur de la Huasteca Potosina, las escasas áreas con

vegetación arbórea nativa, debido a la fragmentación de las selvas en la región, impiden el desarrollo de la especie.

Las variables que contribuyeron en mayor proporción a la explicación del modelo de distribución potencial fueron: i) la precipitación anual (76.7 %); ii) el tipo de vegetación (9.4 %); y iii) el tipo de suelo (6.3 %). El resto de las variables tuvieron contribuciones menores a 5 %.

Acciones para la conservación de *Vanilla planifolia*

En la localidad de Jalpilla, los productores coincidieron en señalar que la especie habita en la zona de forma silvestre desde hace más de 100 años. Las plantas fueron descubiertas por sus abuelos, quienes las cosechaban de forma esporádica para comerciar sus vainas en los mercados locales. Asimismo, señalan que los primeros productores de vainilla propiciaban su desarrollo en los sistemas agroforestales tradicionales *te'lom* (*teenek*) y *cuayo* (Náhuatl), los cuales albergan una gran cantidad de especímenes silvestres.

Para los productores de vainilla, conservar consiste en la preservación de los individuos sin dejar de utilizarlos; 80 % de ellos realiza la selección de ciertos individuos, los cuida y reproduce para, posteriormente, aprovecharlos. Sin embargo, permiten que el clon original, en su condición silvestre, persista sin manejarlo, ni dañarlo.

La creación de áreas de exclusión donde se prohíban las actividades agrícolas y se evite la depredación de las poblaciones de *V. planifolia*, destaca como una de las primeras acciones para proteger la especie.

Las cuatro zonas propuestas comprenden una superficie de 12.8 ha y se ubican en terrenos poco accesibles para los productores, lo que constituye una limitante para el aprovechamiento agrícola, pero resultó ser una fortaleza para la conservación del taxon a escala local (Figura 5).

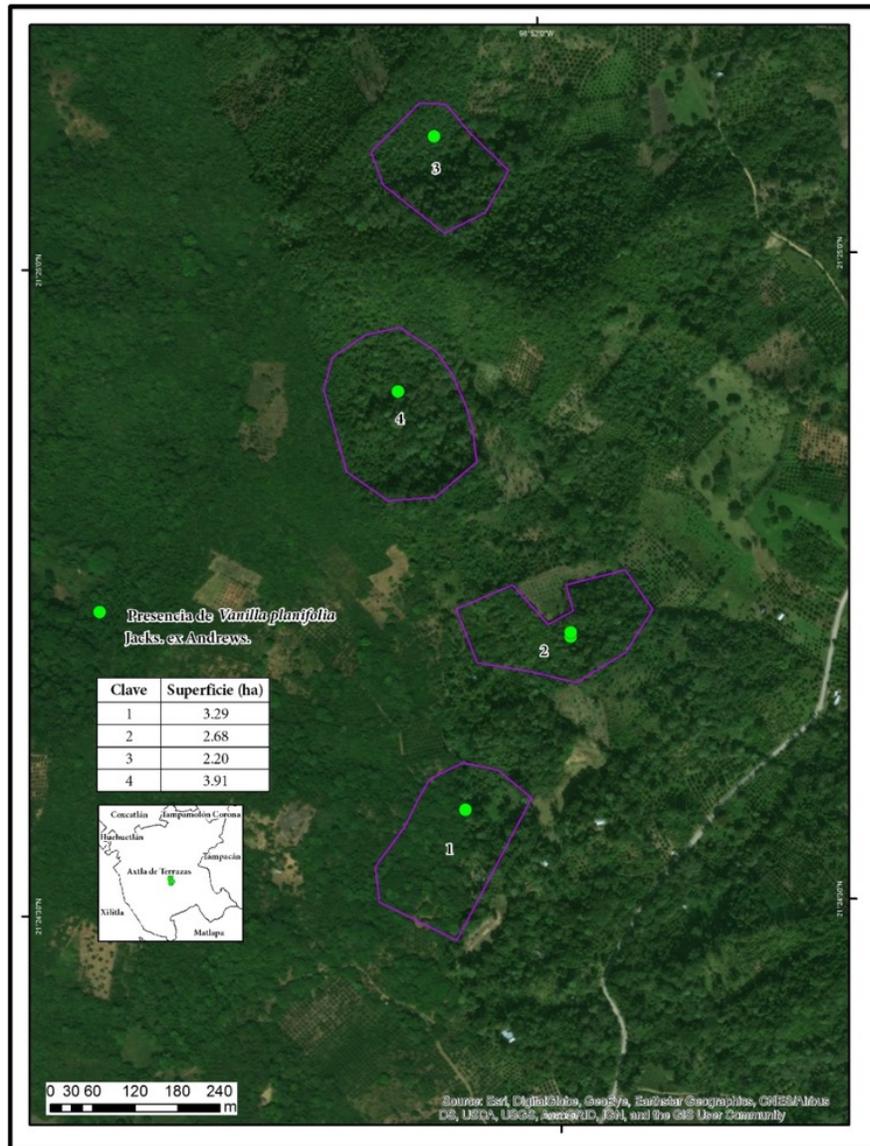


Figura 5. Áreas de exclusión y protección para *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews, en Jalpilla, Axtla, San Luis Potosí.

Para lograr la conservación de la vainilla, de todas las opciones presentadas y discutidas con los productores, el establecimiento de una Unidad de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre (UMA) fue la opción más viable. Aunque, no se definió el tipo de aprovechamiento (intensivo o extensivo), sí se estableció la ruta crítica para llevar a cabo esta iniciativa en el mediano y largo plazo (Figura 6).

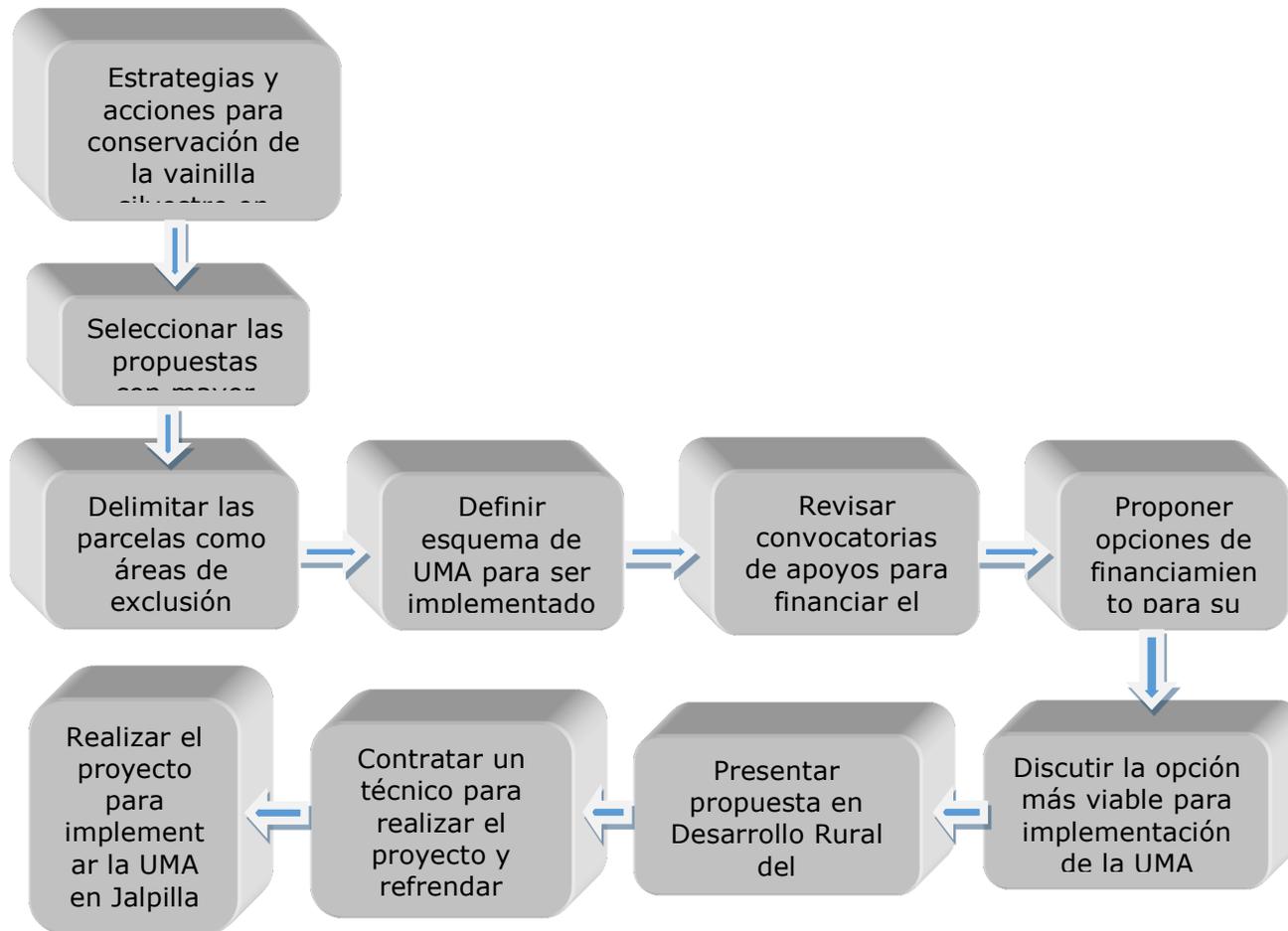


Figura 6. Ruta crítica para la implementación de una UMA propuesta como estrategia de conservación local para la protección de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews., en Jalpilla, Axtla, San Luis Potosí.

Discusión

A partir del 2003, se ha presentado un aumento en el interés por el cultivo de *V. planifolia* en la Huasteca Potosina, esto por su valor económico en el mercado (Sedarh, 2012; Reyes *et al.*, 2018); sin embargo, existen pocas iniciativas para lograr su conservación. Las principales amenazas que enfrenta la especie son el saqueo de sus poblaciones silvestres para establecer nuevas plantaciones y la deforestación (Soto y Dressler, 2010; Flanagan y Mosquera, 2016).

La disminución o desaparición de sus poblaciones silvestres se acentúa, principalmente, en lugares donde se intensificó su cultivo, predominan hábitats severamente fragmentados, o por la introducción de otros cultivos (Azofeifa-Bolaños *et al.*, 2014; Flores *et al.*, 2017).

En el ámbito nacional, los registros de *V. planifolia* corresponden a los estados de Oaxaca, Chiapas y Quintana Roo (Schlüter *et al.*, 2007; Conabio, 2010). Uno de los últimos trabajos de recolecta en campo, realizado entre 2008 y 2014 por Flores *et al.* (2017), ubica la mayoría de ellos en Quintana Roo. Aunque, incluyen dos colectas para San Luis Potosí: *Vanilla planifolia* y *V. odorata*, ambos son ejemplares de herbario. Si bien, los autores no indican a que herbarios corresponden las colectas, es muy probable que el registro de *Vanilla planifolia* sea el mismo de Tanjasnec encontrado en MEXU. Lo anterior se deduce a partir de la ubicación geográfica del sitio (región Huasteca) en la cartografía correspondiente. Caso contrario ocurre con *V. odorata*, cuya posición en la cartografía lo sitúa en la zona árida del estado, donde las condiciones ambientales de la región hacen imposible la presencia de esta especie en forma silvestre.

Es importante destacar que en la investigación que aquí se documenta se encontraron, después de 33 años del primer registro, ejemplares de *V. planifolia* en 28 sitios (Figura 2); aunque su presencia es muy escasa. Además de estos sitios, existe un área potencial mayor a 85 km² con características ambientales propicias para el desarrollo de la especie, de acuerdo con el MDE obtenido (Figura 4). Superficie

que contrasta con lo citado para Oaxaca (17 139 km²), así como con la calidad del hábitat (buena a moderada) (Hernández-Ruíz *et al.*, 2016). Lo anterior se explica por al alto grado de fragmentación y degradación de las selvas de la región Huasteca (Reyes *et al.*, 2006).

Hernández-Ruíz *et al.* (2016) señalan que la precipitación del cuatrimestre más lluvioso tiene un papel fundamental en la predicción del modelo, que coincide con los resultados obtenidos para la Huasteca Potosina. Al respecto, se consigna en la literatura que la cantidad de precipitación en épocas lluviosas, vinculada a un periodo seco bien marcado (canícula o sequía interestival) es determinante para la productividad de la vainilla (Exley, 2011).

Si bien, el principal interés de los habitantes en el área de estudio por la vainilla es de tipo económico, también es posible inferir un tipo de relación económico-cultural, ya que su conservación data, al menos, desde hace dos siglos (Alcorn, 1983; Moreno-Calles *et al.*, 2013). De acuerdo con los resultados obtenidos, la mayoría de las poblaciones sin manipulación humana destinadas a la conservación y recolección se ubican en el *te'lom/cuayo*, "agrobosques" donde el manejo de los recursos naturales se lleva a cabo a partir del conocimiento ancestral resguardado por los productores (Moreno-Calles *et al.*, 2013); además albergan la mayor cantidad de especímenes silvestres, comparados con el resto de los sistemas de producción presentes en la región.

Al respecto, existe un amplio consenso para lograr la conservación y el uso sostenible de los parientes silvestres de una especie, mediante la aplicación, en forma integrada, de estrategias *in situ* y *ex situ*. En el ámbito mundial, se hace referencia que además de conservar dichos taxa es necesario respetar, preservar y mantener los conocimientos indígenas y locales asociados (FAO, 2017).

En este sentido, el modelo de conservación conocido como *Circa Situm* o Conservación Basada en el Agricultor permite el aprovisionamiento del hábitat y el flujo de genes en paisajes agrícolas alterados, pero dentro de la esfera nativa de la especie (Boshier *et al.*, 2004; Dawson *et al.*, 2013). Dicho modelo, propuesto en países como Colombia (Flanagan

y Mosquera, 2016; Flanagan *et al.*, 2018) podría ser una alternativa para proteger a *Vanilla planifolia*; y así, contribuir al fortalecimiento de los medios de vida rurales. Un ejemplo es el programa de conservación para el germoplasma de vainilla en la región del Totonacapan, Veracruz (Herrera-Cabrera *et al.*, 2012; Salazar *et al.*, 2014).

En México, son insuficientes las estrategias para la conservación de vainilla silvestre (March *et al.*, 2009). Destacan algunas iniciativas de conservación *in situ* y *ex situ*, dirigidas por instituciones de educación superior. El Sistema Nacional de los Recursos Fitogenéticos (Sinarefi) propuso esquemas de conservación que incluían la formación de capacidades y el uso y potenciación de la vainilla. Sin embargo, todos con escasa participación de los habitantes locales.

La conservación *in situ* basada en el agricultor y combinada con esquemas de aprovechamiento como las UMA son opciones factibles de aplicarse para fortalecer la economía, la cultura y los sistemas de producción locales (Salazar *et al.*, 2014). Si se considera que *V. planifolia*, está presente en una buena parte del sur de la Huasteca Potosina, donde se concentra la producción de vainilla (Reyes *et al.*, 2018), dicha estrategia resultaría ser la más adecuada para su.

Una UMA, además de promover la participación social para la conservación de la vida silvestre, mejoraría el nivel de vida económico de los habitantes locales, a través de la extracción ordenada de los recursos naturales, en particular de la vainilla. Al mismo tiempo, se busca el empoderamiento de las comunidades mediante el manejo colectivo de la biodiversidad (Conafor, 2009).

Los nuevos programas de conservación que se aplican en el mundo, como las Directrices voluntarias para la conservación y el uso sostenible de parientes silvestres de cultivos, representan una oportunidad para los agricultores de la Huasteca Potosina, quienes han salvaguardado durante varios siglos las poblaciones de *V. planifolia* (FAO, 2017).

Conclusiones

Se documenta por primera vez para San Luis Potosí, después de cuarenta años, la presencia de *Vanilla planifolia* en 28 sitios pertenecientes a 17 localidades de ocho municipios de la Huasteca Potosina. Además de, los sitios georreferenciados, se identifica y cuantifica un área potencial superior a 85 km², que reúne las características ambientales propicias para el desarrollo de la especie. La relación economía-cultura-conservación de la vainilla en la región tiene una antigüedad de al menos dos siglos. Si bien, los habitantes realizan un manejo empírico de sus poblaciones, se requiere complementarlo con conocimientos científicos que permitan una mejor conservación de la especie. Además de, impulsar esquemas de aprovechamiento regulado que fortalezcan los medios de vida local y diversifiquen, al mismo tiempo, los sistemas de producción tradicionales.

Agradecimientos

A los productores y guías locales de los diferentes municipios de la Huasteca Potosina, al proyecto "Estrategia de Investigación aplicada para el fortalecimiento, innovación y competitividad de la producción de vainilla en México". SAGARPA-CONACYT: 2012-04-190442. Subproyecto SP01 Vainilla en la Huasteca Potosina. Al Fondo de Apoyo a la Investigación de la UASLP (C19-FAI-05-77.77) por el financiamiento complementario. La primera autora agradece al Conacyt por la beca otorgada para realiza los estudios de doctorado.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución por autor

Karina L. Trinidad García: consulta en herbarios, trabajo de campo, elaboración de MDE, escritura del documento; Humberto Reyes Hernández: diseño del estudio, apoyo en trabajo de campo, análisis de información, corrección del documento; Rosa I. Martínez Salazar: apoyo en los recorridos de campo, conducción de talleres; Erika Galarza Rincón: elaboración de cartografía.

Referencias

Alcorn, J. B. 1983. El Te'lom huasteco: Presente, pasado y futuro de un sistema de silvicultura indígena. *Biótica* 8:315-331.

Azofeifa-Bolaños, J. B., A. Paniagua-Vásquez y J. A. García-García. 2014. Importancia y desafíos de la conservación de *Vanilla* spp (Orquidaceae) en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 25(1):189-202.

Baldwin, R. 2009. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy* 11:854-866. Doi: 10.3390/e11040854.

Bello-Bello, J. J., G. G. García-García y L. Iglesias-Andreu. 2015. Conservación de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) bajo condiciones de lento crecimiento *in vitro*. *Revista Fitotecnia Mexica* 38(2):165-171.

Benito, B. y J. Peñas. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* 7:100-119.

Boshier, D., J. E. Gordon and A. J. Barrance. 2004. Chapter 16. Prospects for Circa Situm Tree Conservation in Mesoamerican Dry-Forest Agro-ecosystems. *In*: Frankie, G. W., A. Mata and S. Bradleigh V. (eds.). *Biodiversity conservation in Costa Rica, Learning the lessons in a seasonal dry forest*. University of California Press, Berkeley, CA, USA. pp. 210-226.

Cassini, M. H. 2011. Ecological principles of species distribution models: the habitat-matching rule. *Journal of Biogeography* 38(11):2057-2065. Doi: 10.1111/j.1365-2699.2011.02552.x.

Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2010. *Vanilla planifolia* (vainilla). Distribución conocida.

http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/vanpla_dcgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no (9 de enero de 2016).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2009. Manejo de Vida Silvestre. Manual Técnico para Beneficiarios. Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico. Gerencia de Educación y Capacitación. Primera edición. Guadalajara, Jal., México. 34 p.

Dawson, I. K., M. R. Guariguata, J. Loo, J. C. Weber, A. Lengkeek, D. Bush, J. Cornelius, L. Guarino, R. Kindt, C. Orwa, J. Russell and R. Jamnadass. 2013. What is the relevance of smallholders' agroforestry systems for conserving tropical tree species and genetic diversity in *circa situm*, *in situ* and *ex situ* settings? A review. *Biodiversity and Conservation* 22(2):301-324. Doi :10.1007/s10531-012-0429-5.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2018. Ley General de Vida Silvestre. Última reforma. Cámara de Diputados. Diario Oficial de la Federación. 19 de enero 2018. México, D.F. 68 p.

Exley, R. 2011. Vanilla production in Australia. *In*: Havkin-Frenkel, D. and F. Belanger (ed.). *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Wiley-Blackwell, West Sussex, UK. pp. 69-78.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2017. Directrices voluntarias para la conservación y el uso sostenible de parientes silvestres de cultivos y plantas silvestres comestibles. Roma, Italia. 110 p.

Figuroa, J., M. Stucchi y R. Rojas, R. 2016. Modelación de la distribución del oso andino *Tremarctos ornatus* en el bosque seco del Marañón (Perú). *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87:230-238. Doi: 10.1016/j.rmb.2016.01.008.

Flanagan, N. and A. Mosquera. 2016. An integrated strategy for the conservation and sustainable use of native *vanilla* species in Colombia. *Lankesteriana* 16(2):201-218. Doi: 10.15517/lank.v16i2.26007.

Flanagan, N., N. Ospina, L. García, M. Mendoza and H. Mateus. 2018. A new species of *Vanilla* (Orchidaceae) from the North West Amazon in Colombia. *Phytotaxa* 364(3):250–258. Doi: 10.11646/phytotaxa.364.3.4.

Flores J., A., D. Reyes L., D. Jiménez G., O. Romero A., J. A. Rivera T., M. Huerta L. y A. Pérez Silva. 2017. Diversidad y perfiles bioclimáticos de *Vanilla* spp. (Orchidaceae) en México. *Revista de Biología Tropical* 65(3):975-987. Doi: 10.15517/rbt.v65i3.29438.

Herlihy P. and G. Knapp 2003. Maps of, by, and for the Peoples of Latin America. Human Organization. *Journal of the society for applied anthropology* 62(4):303-314. Doi: 10.17730/humo.62.4.8763apjq8u053p03.

Hernández H., J. 2011. Mexican vanilla production. *In*: Havkin-Frenkel, D. and F. C. Belanger (ed.). *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Wiley-Blackwell, West Sussex, UK. pp. 3-25.

Hernández-Ruíz. J., B. E. Herrera-Cabrera, A. Delgado-Alvarado, V. M. Salazar-Rojas, Á. Bustamante-Gonzalez, J. E. Campos-Contreras y J. J. Ramírez-Juarez. 2016. Distribución potencial y características geográficas de poblaciones silvestres de *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) en Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical* 64(1):235-246. Doi: 10.13140/RG.2.1.2744.3601.

Herrera-Cabrera, B. E., V. M. Salazar-Rojas, A. Delgado-Alvarado, J. Campos-Contreras and J. Cervantes-Vargas. 2012. Use and conservation of *Vanilla planifolia* J. in the Totonacapan region, México. European Journal of Environmental Sciences 2(1):43-50. Doi: 10.14712/23361964.2015.37.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2017. Anuario estadístico y geográfico del estado de San Luis Potosí. Aguascalientes, Ags., México. 623 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2018. Metadatos geográficos. <https://www.inegi.org.mx/datos/?t=0150000000000000> (3 de mayo de 2018).

Jacinto-Flores, N. E., L. A. Sánchez-González and R. C. Almazán-Núñez. 2017. Patrones de distribución y zonas prioritarias para la conservación de la avifauna de la costa del Pacífico de Guerrero, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 88(4):960–977. Doi: 10.1016/j.rmb.2017.10.038.

Luna-Guevara, J. J., H. Ruíz-Espinosa, E. B. Herrera-Cabrera, A. Navarro-Ocaña, A., A. Delgado-Alvarado y M. L. Luna-Guevara. 2016. Variedad de microflora presente en vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex. Andrews) relacionados con procesos de beneficiado. Agroproductividad 9(1)3-9. Doi: 10.1016/j.rmb.2017.10.038.

Loiselle, B. A., C. A. Howell, C. H. Graham, J. M. Goerck, T. Brooks, K. G. Smith and P. H. Williams. 2003. Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. Conservation Biology 17:1591-1600. Doi: 10.1111/j.1523-739.2003.00233.x.

March, I. J., M. A. Carvajal, R. M. Vidal, J. E. San R. y G. Ruiz. 2009. Planificación y desarrollo de estrategias para la conservación de la biodiversidad. *In*: Dirzo, R, R. González e I. J. March. (comps.). Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio. México, D.F., México. pp. 545-573.

- Mateo, R. G., A. M. Felicísimo y J. Muñoz. 2011. Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* 84:217-240. Doi: 10.4067/S0716-078X2011000200008.
- Moreno-Calles, A. I., V. M. Toledo y A. Casas. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences* 91(4):375-398. Doi: 10.17129/botsci.419.
- Muñoz, J. and M. A. Felicísimo. 2004. A comparison between some statistical methods commonly used in predictive modeling. *Journal of Vegetation Science* 15:285–292. Doi:10.1111/j.1654-1103.2004.tb02263.x.
- Obregón, R., S. Arenas, F. Gil, D. Jordano y J. Fernández. 2014. Biología, ecología y modelo de distribución de las especies del género *Pseudophilotes* Beuret, 1958 en Andalucía (Sur de España) (*Lepidoptera: Lycaenidae*). *SHILAP Revista de Lepidopterología* 42(168):501-516.
- Paredes, D., A. Ramírez y M. Martínez. 2011. Distribución y representatividad de las especies del género *Crotalus* en las áreas naturales protegidas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82(2):689-700. Doi: 10.22201/ib.20078706e.2011.2.464.
- Peters, E., S. Arizaga, C. Martorell, R. Zaragoza y E. Ezcurra. 2014. Distribución geográfica y estado de conservación de las poblaciones de *Mammillaria pectinifera*. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(3):942-952. Doi: 10.7550/rmb.36338.
- Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (Remib). 2018. Red Mundial de Información sobre Biodiversidad. Conabio. http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html (26 de abril de 2018).
- Reyes H., H., K. L. Trinidad G. y B. E. Herrera C. 2018. Caracterización del ambiente de los vainillales y área potencial para su cultivo en la Huasteca Potosina. *Biotecnia* 20 (3):49-57. Doi: 10.18633/biotecnia.v20i3.714.

- Reyes H., H., N. Montoya T., J. Fortanelli M. M. Aguilar-Robledo y J. García. 2013. Metodologías participativas aplicadas al análisis de la deforestación del bosque de niebla en San Luis Potosí, México. *Bios et forets des tropiques* 318(4):27-39. Doi:10.19182/bft2013.318.a20515.
- Reyes H., H., M. Aguilar R., J. R. Aguirre R. e I. Trejo V. 2006. Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México. *Investigaciones Geográficas* 59:26-42. Doi:10.14350/rig.30019.
- Ricker, M. 2014. Manual para realizar las colectas botánicas del Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Comisión Nacional Forestal. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F., México. 42 p.
- Salazar-Rojas, V. M., B. E. Herrera-Cabrera, A. Delgado y J. Campos. 2014. Planeación estratégica para la conservación del recurso genético vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews. Orchidaceae) en su centro de domesticación, región Totonacapan, México. *In: Araya F., C., R. Cordero S., A. Paniagua V y J. B. Azofeifa B. (eds). Seminario Internacional de Vainilla. Promoviendo la investigación, la extensión y la producción de vainilla en Mesoamérica. Primera edición. INISEFOR. Heredia, Costa Rica. 194 p.*
- Schlüter, P. M., M. A. Soto A. and S. A. Harris. 2007. Genetic Variation in *Vanilla planifolia* (Orchidaceae). *Economic Botany* 61(4): 328-336. Doi: 10.1663/0013-0001(2007)61[328:GVIVPO]2.0.CO;2.
- Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos (Sedarh). 2012. Plan Rector para la Competitividad del Sistema Producto Vainilla del estado de San Luis Potosí. Comité Estatal del Sistema Producto Vainilla del Estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí, SLP., México. 95 p.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Sermarnat). 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas

de México de flora y fauna silvestres.

http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091

(4 de febrero de 2018).

Soto A., M. 2003. *Vanilla*. In: Pridgeon, A.M., P.J. Cribb, M.W. Chase y F.N. Rasmussen (eds.) *Genera Orchidacearum*. Oxford University Press. Oxford UK. pp. 321–334.

Soto A., M. and R. L. Dressler. 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. Doi: 10.15517/LANK.V0I0.12065.

Villaseñor, J. L. y O. Téllez-Valdés. 2004. Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica* 75(2):205–220.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.

Tipología de los sistemas agroforestales tradicionales de producción de vainilla (*Vanilla planifolia*) en la Huasteca Potosina
Typology of traditional agroforestry systems of vainilla (*Vanilla planifolia*) production in Huasteca Potosina

Karina Lizbeth Trinidad García¹

Humberto Reyes Hernández*²

Javier Fortanelli Martínez³

Candy Carranza Álvarez⁴

Galarza Rincón Erika⁵

Artículo enviado para su publicación a: Revista Espacialidades

Resumen

La vainilla (*Vanilla planifolia*), es una orquídea asociada a los sistemas agroforestales tradicionales del trópico mexicano, forma parte de la biodiversidad del agrobosque, así como del conocimiento biocultural desde hace más de 200 años. Estos socioecosistemas manejados por los grupos étnicos Tének y Náhuatl se basan en el manejo sostenible de todos sus componentes lo que les confiere una gran resiliencia. El objetivo de este estudio fue caracterizar los sistemas agroforestales donde se

¹ Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, UASLP., San Luis Potosí, México. lizabeth.trinidad@hotmail.com

² Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, UASLP. San Luis Potosí, México hreyes@uaslp.mx Avenida Industrias 101-A. Fracc. Talleres, C.P.78299, tel. (444) 832 10 00 ext. 9228. *Autor para correspondencia.

³ Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas, UASLP. San Luis Potosí, México. fortanel@uaslp.mx

⁴ Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Huasteca, UASLP. Ciudad Valles, San Luis Potosí, México. candy.carranza@uaslp.mx

⁵ Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, UASLP. San Luis Potosí, México. erika.galarza@uaslp.mx

produce la vainilla, para tipificarlos con base en sus particularidades de manejo. Para ello, se analizaron 355 casos, obteniéndose 135 variables agronómicas y de características del productor. La información se complementó con un análisis espacial basado en un SIG para definir patrón espacial de distribución de dichos sistemas. Para la tipología se aplicó el análisis de conglomerado en dos fases. En la región de estudio existen tres grupos de productores, que se diferencian por la cantidad de actividades realizadas para la producción de vainilla, el número de tutores empleados y la pertenencia a un grupo étnico. Los sistemas de la etnia Tének presentan menos modificaciones comparados con los sistemas nahuas. Éstos últimos, incluso comienzan a especializarse en el manejo de especies comerciales, pero aún conservan algunos rasgos de los sistemas originales.

Palabras clave: conocimiento biocultural, Náhuatl, sistemas agroforestales tradicionales, Tének, *Vanilla planifolia*.

Abstract

Vanilla (*Vanilla planifolia*), is an orchid associated with the traditional agroforestry systems (TAS) of the Mexico, tropical regions; It is part of the agro-forest biodiversity, as well as biocultural knowledge for more than 200 years. Decision making for the sustainable management of resources implies knowing the current management of the socio-ecosystem. The objective of this research was to characterize the agroforestry systems with the presence of vanilla in order to classify them according to their main characteristics. A database of 355 farmers and 135 agronomic and farmer variables was analyzed. The information was complemented with a spatial analysis of the study area. A two phases conglomerate analysis was applied for the typology. Three groups were generated, which are differentiated by the number of

activities carried out by the farmer in relation to vanilla and the number of tutors employed. The Tének TAS present fewer modifications in relation to the Nahuatl SAT, which even begin to specialize in the management of commercial species, but maintain the features of traditional systems.

Keywords: biocultural knowledge, Náhuatl, traditional agroforestry systems, Tének, *Vanilla planifolia*.

Tipología de los sistemas agroforestales tradicionales de producción de vainilla (*Vanilla planifolia*) en la Huasteca Potosina

Introducción

La vainilla (*Vanilla* spp.) es la única orquídea aromática que se cultiva con fines comerciales alrededor del mundo. Es el principal saborizante usado dentro de la industria de bebidas, alimenticia, farmacéutica, cosmética y tabacalera (Azofeifa *et al.*, 2014). Entre las especies más aprovechadas a nivel mundial, por ser productoras de la vainillina natural -ingrediente activo que le confiere ese sabor y aroma característico a los alimentos y bebidas preparados a base de vainilla-, se encuentran *Vanilla planifolia*, *V. pompona* y *V. tahitensis* (Flores *et al.*, 2017). De las tres especies, *Vanilla planifolia*, representa el 70% de las plantaciones comerciales y al mismo tiempo, está catalogada como "sujeta a protección especial" por parte de la legislación mexicana en materia ambiental (NOM-059-SEMARNAT-2010).

Esta planta ha sido aprovechada desde tiempos prehispánicos por las antiguas civilizaciones de la región del Totonacapan, a partir de la recolección de los frutos silvestres encontrados en las selvas de la región del Golfo de México. El valor de esta especie era tal, que entre los Totonacos se usaba como ofrenda hacia los grupos dominantes de la región (Kourí, 2000). En México la producción de la vainilla tuvo un enorme auge para la mitad del siglo XIX, sin embargo, el descubrimiento de

la polinización artificial, su reproducción en otros países y el desarrollo de la vainillina sintética, provocaron la caída su producción (Herrera *et al.*, 2016).

Aunque la vainilla es una especie originaria de México (Lubinsky *et al.*, 2008), el país no figura entre los principales exportadores del mundo, tan sólo entre 2005 y 2010, la producción nacional fue de alrededor de 500 toneladas. Su demanda a nivel internacional se ha incrementado un 30% en los últimos 10 años, principalmente en los Estados Unidos de América, Francia y Alemania (SAGARPA, 2017; SIAVI, 2018), por lo que existe una demanda insatisfecha de alrededor de 3,500 toneladas.

Los principales sistemas donde se produce la vainilla son: i) el aprovechamiento tradicional en "Acahuales", ii) como monocultivo con árboles (tutores) de *Erythrina* spp. o *Gliricidia* spp., iii) en asociaciones con cítricos, y, iv) como monocultivo en casas malla-sombra (Hernández, 2011). Bajo estos esquemas se cultiva a nivel nacional en los estados de Veracruz, Puebla, Oaxaca y San Luis Potosí. Entre 2012 y 2015, Veracruz ocupó el primer lugar en producción nacional, con un 68 % del total, le siguieron Oaxaca (14 %), Puebla (12 %) y San Luis Potosí (2 %) (SIAP, 2018).

En San Luis Potosí, la región tropical conocida como la Huasteca, tiene un alto potencial como zona productora a nivel nacional de este cultivo, entre otras razones por el conocimiento y vínculo cultural con la vainilla por varias generaciones, la variabilidad genética de la especie (Salazar *et al.*, 2012; Herrera *et al.*, 2016), las características ambientales propicias para su desarrollo (Reyes *et al.*, 2018) y la gran calidad de su vainilla beneficiada (Xochipa *et al.*, 2016).

Si bien, el Estado, ha destinado recursos para incrementar la producción del cultivo, ésta disminuyó de 22.8 t en 2011 a 8.75 t en 2016 (PRSPVESLP, 2012; SIAP, 2018). A pesar de esta baja producción, las organizaciones regionales de productores

de vainilla se han fortalecido para evitar a los intermediarios, es decir, a los compradores de materia prima que pagan el valor mínimo del producto. Uno de los principales logros, es haber logrado en el incremento al precio de la vainilla verde, el cual pasó de \$50 pesos en 2013 a \$450 pesos en 2017.

En la Huasteca Potosina, los sistemas agroforestales tradicionales (SAT), conocidos regionalmente como *te'lom* (Tének) o *cuayo* (Náhuatl), se reconocen mundialmente porque combinan -de manera muy eficiente-, espacial y temporalmente, especies forestales, agrícolas y pecuarias, pero conservando las características y dinámica de los ecosistemas naturales (Alcorn, 1983; Moreno *et al.*, 2013). En estos sistemas, la reintroducción y producción de la vainilla representa una alternativa económica a la cual han apostado los agricultores para diversificar sus ingresos y evitar la dependencia de unos cuantos cultivos.

Hasta ahora, la mayoría de los trabajos que documentan la producción de vainilla se han enfocado en describir los procesos de producción y beneficiado, en los sistemas más tecnificados. Aunque la producción en los SAT se ha incrementado en la última década, debido a la alta demanda del producto, se carece de información que precise las implicaciones en la simplificación de estos sistemas tradicionales. Al respecto, existe una relación económico-cultural, que data de por lo menos dos siglos y ante la demanda de vainilla natural de buena calidad, su aprovechamiento ha resurgido, con todo lo que esto implica.

Por ello, este trabajo tiene los siguientes objetivos: caracterizar y tipificar los sistemas agroforestales tradicionales con producción de vainilla en la Huasteca Potosina, para identificar grupos de productores con cualidades semejantes, sus principales prácticas de manejo y sus estrategias de producción. Si bien existen diversos sistemas de producción, cada uno con características distintas, es importante conocer las ventajas y desventajas de las diferentes formas de

aprovechamiento, con el fin de identificar aquellos que tengan los mayores beneficios para las comunidades indígenas de la Huasteca en términos económicos, ambientales y socioculturales.

Metodología

Área de estudio

La Huasteca Potosina, ubicada en la región tropical del estado, ocupa una superficie de 3,491.7 km², y tiene una población de 392,811 habitantes, lo que la convierte en un área densamente poblada. Más del 50 % de su población es indígena (Náhuatl y Tének), que representa el 80% del total de hablantes indígenas en San Luis Potosí. La región contribuye con apenas el 13.6% del Producto Interno Bruto (PIB) estatal y el 90% de los municipios que la componen son de muy alta y alta marginación.

Está conformada por las serranías del Carso Huasteco del sistema orográfico Sierra Madre Oriental y en su porción oriental por una zona de planicies y lomeríos que se extienden hasta el Golfo de México. En la región predomina el clima semicálido húmedo con lluvias en verano (ACw), la temperatura media anual es de 24 °C y la amplitud de la precipitación anual es de 1,200 a 2,500 mm (INEGI, 2017) (ver Figura 1).

Su actividad económica se basa en el sector primario. Destacan los cultivos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), café (*Coffea arabica*), naranja (*Citrus sinensis*), vainilla (*Vanilla planifolia*) y el litchi (*Litchi chinensis*), además de otros cultivos para autoconsumo como el maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), calabaza (*Cucurbita* spp.) y el aprovechamiento de especies forestales como la palma camedor (*Chamaedorea elegans*). La agricultura en la región se caracteriza por ser de secano, con baja tecnificación y rendimientos limitados, además de ser en su mayoría de subsistencia (CESPVESLP, 2012).

Figura 1. Región vainillera en la Huasteca Potosina

Fuente: elaboracion propia, autora: Erika Galarza,

Caracterización de los SAT

Se utilizó una base de datos con información de 409 productores de vainilla, actualizada al 2014, proporcionada por el Sistema Producto Vainilla de San Luis Potosí, pertenecientes a los municipios de Aquismón, San Antonio, Xilitla, Tamazunchale, Matlapa, Axtla de Terrazas, Tampacán, Coxcatlán, Huehuetlán, Tancanhuitz y Tampamolón Corona.

Para evitar la redundancia de información, se realizó la normalización de los datos y se eliminaron aquellos productores que no correspondían a sistemas de producción agroforestales o carentes de información. La base de datos depurada incluyó 355 productores y 135 variables agronómicas y socioeconómicas.

Las variables analizadas correspondieron a las siguientes categorías: a) características del productor (edad, experiencia, lengua materna, escolaridad); b) características de la unidad de producción (tenencia de la tierra, administración, número de parcelas, superficie de cultivo); c) manejo del vainillal (variedades, origen de las plantas, edad de las plantaciones, tutores (árboles que sostienen a la planta), número de plantas por tutor, densidad de siembra, deshierbe, podas, polinización, saneamiento, aplicación de riego suplementario, encauce, acodo, nutrición, control de plagas y enfermedades).

Tipología de los SAT

La base de datos fue exportada y analizada en los softwares SPSS 15.0 y Minitab 16. Como primer paso, se realizó un análisis descriptivo para conocer las características generales de los SAT y de los productores. Las variables cualitativas fueron examinadas por medio del análisis no paramétrico chi cuadrada. Para definir los diferentes tipos de sistemas, se realizó un análisis multivariable de ordenación clúster, también conocido como de conglomerado en dos fases con base en las

variables tipo y cantidad de tutores empleados para encauzar la vainilla y las once principales variables de manejo.

Esta es una técnica estadística que busca agrupar elementos o variables con la máxima homogeneidad en grupos o conglomerados, de manera que los objetos de un mismo conglomerado, presentan las mayores similitudes entre sí con respecto a los objetos de otro grupo (De la Fuente, 2011). La aglomeración de cada objeto u observación comienza dentro de su propio conglomerado, posteriormente los dos grupos más cercanos se combinan en un nuevo conglomerado agregado, reduciendo así el número de conglomerados en cada paso (Hair *et al.*, 2004).

El análisis clúster, es una metodología objetiva de cuantificación de las características estructurales de un conjunto de observaciones y como tal, tiene sólidas bases matemáticas, aunque no estadísticas, por ello los supuestos de normalidad, linealidad y homocedasticidad, importantes para otro tipo de técnicas multivariadas tienen poco peso (Hair *et al.*, 2004).

Análisis espacial

Adicionalmente, se obtuvieron las coordenadas de las 355 parcelas de los productores, las cuales fueron representadas espacialmente en el Sistema de Información Geográfica ArcGIS 10.3. para conocer su distribución en el territorio y definir la correlación espacial con respecto de las variables ambientales. En el programa se desplegaron capas de elevación, pendiente, precipitación y temperatura, a partir de lo cual se definieron los valores mínimos y máximos de cada variable y el patrón espacial de correspondencia.

Para determinar los límites geográficos y distribución de los SAT se empleó la capa de población hablante de alguna lengua indígena para definir su correspondencia con respecto a los dos grupos étnicos predominantes (Náhuatl y Tének).

Finalmente, a la base de datos original, se agregó la información resultante del análisis estadístico de ordenación con la categoría correspondiente a cada grupo para representarlos espacialmente en el programa ArcGIS 10.3 y definir la distribución en el territorio de cada uno de los grupos y sus patrones de distribución asociados. A partir de esta información se elaboró la cartografía correspondiente.

Resultados y discusión

Los sistemas agroforestales de la Huasteca

La relación espacio-temporal entre una región y su población determina su dinámica económica, agrícola y no agrícola, así como sus interacciones con otras regiones. En México se han identificado al menos 20 agroecosistemas con diferentes variantes, caracterizados por la conservación selectiva de elementos forestales y el manejo de especies vegetales y de fauna silvestre. Dichos elementos interactúan en distintos niveles con los pobladores locales en un esquema socioecológico determinado (Moreno *et al.*, 2013).

En la Huasteca Potosina el "te'lom" o "cuayo" resguardan un conocimiento ancestral sobre el manejo de los recursos naturales, asociados principalmente a los grupos indígenas predominantes (Alcorn, 1983). Dichos sistemas de producción, han demostrado su resiliencia a lo largo del tiempo en un paisaje heterogéneo determinado por las condiciones ambientales y de tenencia de la tierra (Baca del Moral, 1995; de Vidas, 2009). Asimismo, han persistido a lo largo del tiempo como una alternativa a la introducción de variedades modernas que no han logrado prosperar esto debido a las altas variaciones microambientales que predominan en la región.

Los SAT donde se produce la vainilla, se localizan principalmente en zonas de mediana altitud, entre 100 y 767 m (279 m en promedio), sobre terrenos con pendientes que van del 1.5% a 36% (19% en promedio). La temperatura media anual donde se desarrollan estos sistemas es de 22.6° hasta los 24.8°C (24°C en promedio),

con una amplitud en la precipitación de 1,696 a 2,429 mm anuales (2,013 mm en promedio) (ver Figura 2).

Figura 2. Distribución de los SAT analizados en relación con la precipitación, temperatura, pendiente y altitud en la Huasteca Potosina.

Fuente: elaboración propia a partir de las bases de datos y capas vectoriales de INEGI. Autora: Erika Galarza

Características de los productores y sus unidades de producción

De los 355 casos analizados, 32.7% corresponden al municipio de Tamazunchale, 28.4% a Aquismón, 11.2% a Huehuetlán, 9.9% a Axtla de Terrazas, 9.6% a Matlapa, 9.3% a Tancanhuitz y 2.5% a Coxcatlán. La edad promedio de los productores es de 52 años, el 7.3% tiene entre 19 y 30 años, el 40% entre 31 y 50 años y el 52.3% más de 51 años. Esto evidencia que la producción recae en personas adultas y por otro lado hace evidente la escasa participación de la población joven en estos sistemas de producción tradicionales al igual que ocurre otras entidades y en otros ámbitos productivos del sector rural mexicano.

El movimiento migratorio de adultos y jóvenes, ha provocado que quienes se encuentran actualmente en el campo sean personas de edad avanzada, lo que pone en riesgo la transmisión de la cultura, la lengua, la identidad y el conocimiento en el manejo de estos sistemas productivos tradicionales (Boege, 2008).

A excepción de Tancanhuitz, en todos los demás municipios los SAT se ubican en terrenos de propiedad ejidal o comunal. Estas unidades, son administradas y trabajadas por las mismas familias sin emplear mano de obra ajena y en espacios reducidos. Al respecto, el 84.8% de los terrenos no supera más de una hectárea y sólo el 6.8% posee más de 5 ha de terreno. De estas superficies, el 80% de los productores cuenta con una sola parcela y sólo el 3.2% reporta más de tres.

Prácticas de manejo para la producción de vainilla en los SAT

Todos los sistemas analizados cultivan la especie *Vanilla planifolia*, el 77% la obtuvo de las poblaciones silvestres que aún persisten en la zona y por ende la planta está adaptada a las condiciones ambientales de la región. El 33% trabaja con material vegetativo introducido principalmente del estado de Veracruz y gestionado por el Sistema Producto Vainilla⁶.

Los productores con mayor experiencia en el cultivo de vainilla tienen más de 10 años (2.3%), el 35.4% entre 5 y 10 años y la mayoría (62.3%) entre uno y cinco años. Esto explicaría el porque la mayoría desconoce el tipo de prácticas requeridas por el cultivo, desconocen la necesidad de llevarlas a cabo, incluso, consideran que no son necesarias. Por otro lado, el productor debe contemplar la adquisición de las plantas, la incorporación de tutores y las actividades de manejo. Indudablemente, las capacitaciones y la asistencia técnica recibida por los productores han influido en el manejo ancestral que se tenía de estos sistemas.

De acuerdo con las recomendaciones de los técnicos regionales del Sistema Producto Vainilla, para mejorar la producción y productividad de la vainilla se requiere llevar a cabo al menos diez prácticas de manejo. Entre las más importantes se encuentran: i) encause, ii) fertilización, iii) polinización, iv) regulación de sombra, y, v) control de plagas, enfermedades y malezas. Al respecto, el 70% de los productores no sabe cómo realizar el control de plagas, de enfermedades y de malezas, además de la fertilización del suelo y foliar. Dos aspectos fundamentales que influyen en la producción y productividad de la vainilla son la polinización y la suplementación de riego en la etapa más crítica del cultivo. Los productores indican

⁶ El sistema producto es un esquema que aglutina planes, programas y acciones, dirigidos por el Estado para elevar la producción y productividad de cultivos de importancia para el País. Se integra por dependencias federales, estatales, técnicos y productores.

que no realizan dichas actividades por lo laborioso del proceso, no saben cómo hacerlo o carecen del equipo/materiales para hacerlo (ver contenido de la Tabla 1).

Tabla 1. Prácticas requeridas para la producción de vainilla e implementación en los SAT de la Huasteca Potosina

Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos y trabajo de campo.

Análisis de conglomerados

El análisis definió tres grupos o conglomerados conformados por 160, 78 y 115 productores respectivamente, además de dos casos que fueron excluidos, por la inconsistencia en su información (ver Figuras 3 y 4).

El Grupo 1 está conformado mayoritariamente por productores de origen Tének (87.5%), con escasa o nula realización de prácticas de manejo, pero con la mayor diversidad de especies utilizadas como tutores (6.87 en promedio). Se distribuyen espacialmente al norte de la Huasteca, en una amplitud altitudinal que va de 270 a 800 m, principalmente en los municipios de Aquismón (41.9%), Huehuetlán (25%) y Tancanhuitz (20.6%).

El Grupo 2 se integra principalmente por productores de origen Náhuatl (73.5%), que recientemente han incorporado la vainilla a sus sistemas, aunque con la menor cantidad de tutores empleados (5.42 en promedio). También efectúan la mayor cantidad de prácticas de manejo tanto en número (10 de 11 actividades), como en proporción de acuerdo con la cantidad de productores que las realizan, en comparación de los otros dos grupos. Se localizan en la porción central de la zona, en altitudes de 200 a 500 m de los municipios de Matlapa (32.1%), Axtla (30.8%) y Aquismón (26.9%).

El Grupo 3, integrado exclusivamente por comunidades Náhuatl (100%) se define por una moderada cantidad de prácticas realizadas al cultivo (7 de 11

actividades) además del menor número de tutores empleados (2.41 en promedio). Este grupo se destaca por el doble propósito comercial del sistema (vainilla integrada a la producción de cítricos o café). Se localiza principalmente en el municipio de Tamazunchale, en altitudes que van de los 100 a 300 m (ver Figuras 3 y 4).

Figura 3. Variables estadísticamente significativas que definen cada conglomerado

Fuente: elaboración propia a partir de la base del análisis estadístico.

Figura 4. Distribución espacial de los conglomerados por grupo (clase).

Fuente: elaboración propia a partir de las capas de información de INEGI y análisis estadísticos. Autora: Erika Galarza

Implicaciones de la permanencia de los SAT en un contexto de mercantilización

La apropiación del territorio y el contexto cultural determinan el grado de manejo de la diversidad de los grupos sociales y sus características particulares definen el nivel de diversificación *versus* la especialización de un sistema de producción, así como la interacción con los agentes externos. Para los Tének, por ejemplo, la tierra posee un valor fundamental por sus servicios de aprovisionamiento (de Vidas, 2009). Podría decirse que la cosmovisión y conocimiento local, inciden directamente en la intensidad y formas de manejo de la biodiversidad.

Esto explicaría la baja tecnificación en el manejo del cultivo del grupo 1 y la mayor diversidad de especies presentes. Por otro lado, aunque la tendencia de los sistemas de producción ha sido hacia la especialización en cultivos tropicales, los sistemas tradicionales se resisten a este cambio. Una de las razones es el incremento de la vulnerabilidad al depender de un solo cultivo (Hernández, 2007).

Los SAT al funcionar como un reservorio para la conservación de especies, garantizan el mantenimiento de la diversidad biológica y cultural (Toledo y Barrera, 2008). El valor estratégico del mantenimiento y ampliación de la diversidad genética de los cultivos y animales domesticados radica en que dichos procesos contribuyen a asegurar la subsistencia local (especialmente la seguridad alimentaria) en el mediano y largo plazo (Altieri y Toledo 2011).

El análisis de ordenación indica que existe una marcada relación entre los conglomerados y la respuesta diferenciada en relación con las prácticas de manejo sugeridas por los técnicos (polinización, fertilización, poda, encauce y controles). Al respecto, las variables estadísticamente significativas, que los definen de acuerdo con las prácticas efectuadas, se muestran en la Figura 4 y la Tabla 2.

Tabla 2. Variables de manejo que definen cada grupo derivado del análisis de conglomerados.

Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos consultada, trabajo de campo y análisis estadísticos.

En México, las políticas agrícolas impulsadas desde la década de 1980 han acentuado las condiciones de exclusión y desigualdad entre la población rural. Además de incrementar la dependencia alimentaria, ampliando la brecha entre los productores con poder adquisitivo y quienes carecen de ello. En los últimos años se han destinado recursos económicos para aumentar su producción y productividad a través del incremento de la superficie sembrada y número de productores, definiéndola incluso como una especie de prioridad nacional. Sin embargo, los programas de asistencia técnica fomentan el uso regional de paquetes tecnológicos, lo cual incide en la pérdida de prácticas y conocimientos tradicionales.

Simultáneamente se han dirigido diversos esfuerzos de generación y aplicación del conocimiento para identificar los principales factores que inciden en la producción y calidad de vainilla a nivel nacional (Herrera, *et al.*, 2012; 2016).

Al respecto, se advierte una diferencia entre los sistemas productivos de las comunidades Tének del norte de la Huasteca, con respecto a los SAT de sus congéneres en el sur, quienes han optado por la transformación e innovación de sus sistemas. La razón, los productores del sur tienen una mayor cohesión, autonomía, organización y experiencia en la gestión de proyectos agrícolas (ver Figura 5).

Los productores agrupados en el conglomerado 2 presentan un mayor acercamiento a la dinámica económica vigente, aunque esto traería beneficios en el corto plazo, también incrementa el riesgo que los conocimientos agrícolas ancestrales se diluyan y con ello su agrobiodiversidad asociada (Altieri 1991). En términos potenciales la erosión genética es más devastadora cuando la complejidad del hábitat agrícola se pierde bajo los patrones de una agricultura industrial (Toledo y Barrera, 2008) (ver Figura 5).

Un SAT con más biodiversidad por unidad de superficie, permitiría a los productores y sus familias tener mayor cantidad de especies con fines alimenticios, medicinales, comerciales y de otros tipos durante todo el año (Alcorn, 1983). Este sistema demanda menor cantidad de insumos externos, además de los servicios ecosistémicos que provee. Al respecto, se postula que el proceso de transición en los SAT de la Huasteca Potosina, requerirán a la larga, mayor trabajo.

En términos económicos, la implementación de un sistema de producción de vainilla en un sistema tradicional es mucho más eficiente que en cualquiera de los otros sistemas. Así por ejemplo el costo inicial estimado en un SAT llega a ser de \$78,000, mientras que como monocultivo en una casa malla-sombra su costo se duplica hasta cerca de \$154,170. Además, el costo de implementación en malla

puede incrementarse durante los primeros cuatro años y llegar hasta \$300,000 por cada 2,500 m², convirtiéndolo en un sistema costoso e insostenible si no se maneja adecuadamente (Hernández, 2011).

Por otro lado, la pérdida de la variabilidad genética de los agroecosistemas, aumenta la vulnerabilidad por la homogeneización de las poblaciones, disminuye la productividad, aumento en la incidencia de plagas y enfermedades, y el consecuente incremento en la adquisición de insumos externos (Vara y Cuéllar, 2013; Toledo y Barrera, 2008). Al respecto, se considera que los pequeños agricultores son clave para mantener la agrobiodiversidad (Altieri y Toledo 2011; Roux y Grisoni, 2011; Azofeifa *et al.*, 2014). Esto además, implica la protección de sus áreas de origen y hábitat actual, lo cual justifica la preservación de los sistemas tradicionales, como es el caso actual.

La agricultura tradicional no es estática, de hecho, la adopción y adaptación de nuevas variedades persiste en esos sistemas de producción, mezclando incluso variedades modernas y tradicionales. Lo cual ha dado al carácter tradicional una dicotomía de moderno-tradicional. Es por ello que en esta nueva dinámica de producción que alterna los conocimientos y manejo tradicional con la innovación agrícola, se propongan modelos que permitan conservar la agrobiodiversidad y los conocimientos vinculados a estos, pero a la vez le permitan al campesino integrarse a las dinámicas del mercado con el fin de mejorar su fuente de ingreso. Este panorama obliga a diseñar modelos agroecológicos apropiados a cada contexto socioambiental, para aumentar la resiliencia de los campesinos.

Conclusiones

Se clasificaron tres tipos de sistema de producción: a) El sistema agroforestal tradicional, el cual conserva la biodiversidad y sirve de reservorio para la vainilla, la cual es aprovechada junto con otras especies silvestres y cultivadas; b) el sistema

agroforestal en transición, en el cual hay una disminución en la cantidad de tutores y especies aprovechables, además de la vainilla; y c) el sistema modificado, de origen reciente y tendente a la simplificación genética de la vainilla y a la reducción en el número de tutores. La apropiación del territorio y el contexto cultural explican las características de los SAT de la Huasteca y las características particulares definen su nivel de diversificación. Destaca el hecho que los sistemas productivos de las comunidades Tének del norte de la Huasteca, se han mantenido prácticamente sin cambios, lo que contrasta con los SAT del sur, cuya tendencia es hacia la especialización, que podría incrementar la vulnerabilidad de las comunidades. Aunque este grupo es el más dinámico en su organización y gestión de recursos y han logrado aumentar su producción y productividad, es claro que el uso regional de paquetes tecnológicos, está incidiendo en la pérdida de prácticas y conocimientos tradicionales. Los sistemas tradicionales de cultivo huastecos "te'lom/cuayo" albergan la mayor agrobiodiversidad en la Huasteca. Estos "agrobosques" se encuentran fuertemente conservados y resguardan un conocimiento ancestral sobre el manejo de los recursos naturales de la región, mismos que están siendo simplificados lo que podría afectar su resiliencia.

Agradecimientos

A los productores y guías locales de los diferentes municipios de la Huasteca Potosina, al proyecto "Estrategia de Investigación aplicada para el fortalecimiento, innovación y competitividad de la producción de vainilla en México". SAGARPA-CONACYT: 2012-04-190442. Subproyecto SP01 Vainilla en la Huasteca Potosina. La primera autora agradece al CONACYT por la beca otorgada para realizar los estudios de doctorado.

Referencias

Alcorn, J.B. (1983), "El Te'lom huasteco: Presente, pasado y futuro de un sistema de silvicultura indígena", *Biótica*, 8, pp. 315-331.

- Altieri, M.A. (1991), "How best can we use biodiversity in agroecosystems?" *Outlook on Agriculture*, 20, pp.15-23.
- Altieri, M. y Toledo, V.M. (2011), "The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants", *Journal of Peasant Studies*, 38, vol 3, pp. 587-612.
- ASERCA. (2002). Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. *La Vainilla, un "extracto" ampliamente utilizado por la industria de alimentos en el mundo*. ASERCA-Coordinación General de Administración de Riegos de Precios. Ciudad de México.
- Azofeifa, J.B., Paniagua, A. y García, J. (2014), "Importancia y desafíos de la conservación de Vanilla spp (Orquidaceae) en Costa Rica", *Agronomía Mesoamericana*, 25 vol. 1, pp. 189-202.
- Baca del Moral, J. (1995), "La producción piloncillera en la Huasteca potosina". *Revista de Geografía Agrícola*, 21, pp. 89-96.
- Boege, Eckart (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México*. Instituto Nacional de Antropología e Historia: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. México.
- CESPVESLP. (2012). Comité Estatal del Sistema Producto Vainilla del Estado de San Luis Potosí. *Plan Rector para la Competitividad del Sistema Producto Vainilla del Estado de San Luis Potosí*, San Luis Potosí, México.
- De la Fuente, Santiago. (2011). *Análisis conglomerados*. Madrid, España. Universidad Autónoma de Madrid.
- De Vidas, Anath (2009). *Huastecos a pesar de todo. Breve historia del origen de las comunidades teenek (huastecas) de Tantoyuca, norte de Veracruz*. Centro de estudios mexicanos y centroamericanos, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Publicaciones.

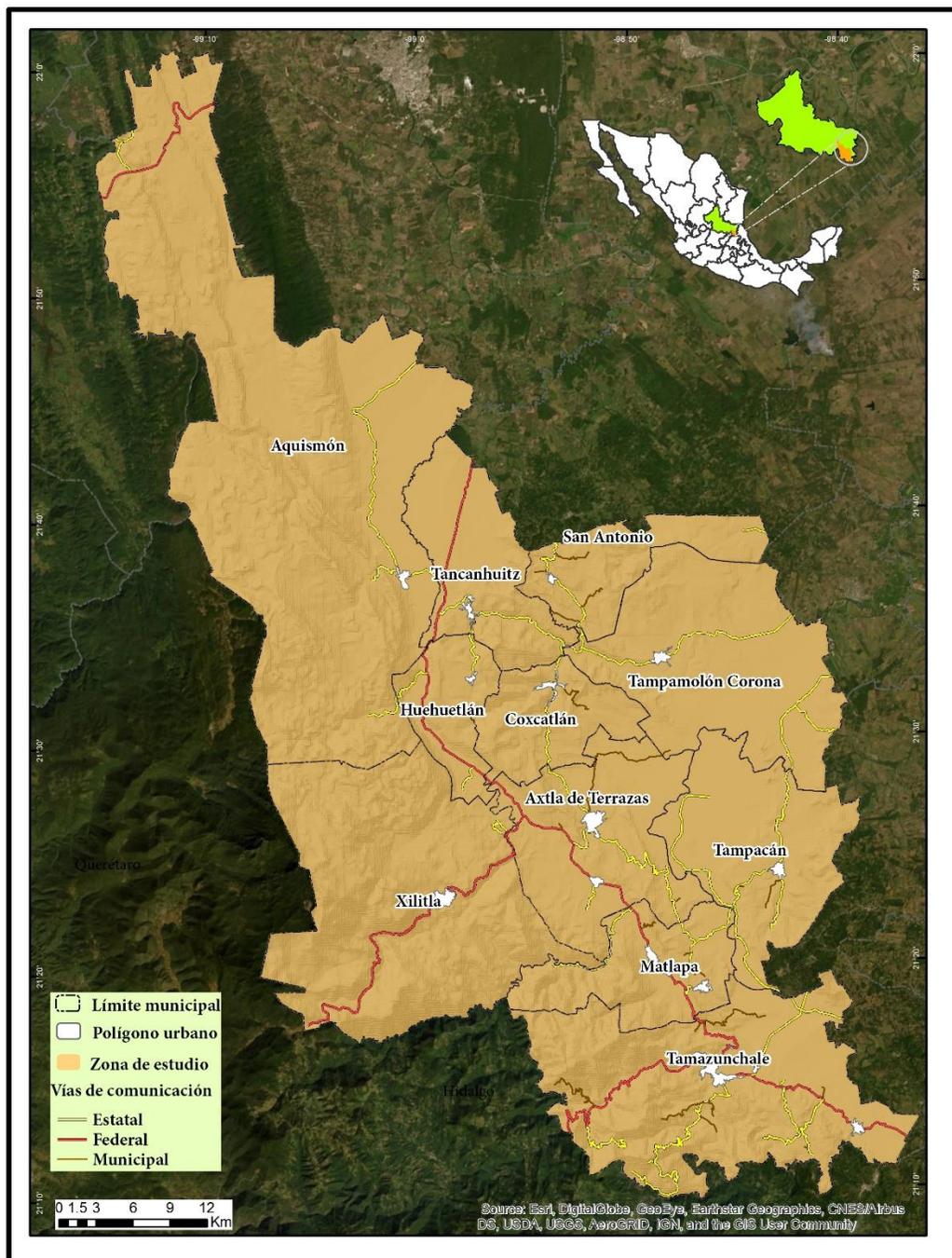
- Farrell, John y Altieri, Miguel. (1999), "Sistemas agroforestales". En: Miguel A. Altieri, John G. Farrell, Susanna B. Hecht, Matt Liebman, Fred Magdoff, Richard B. Norgaard, Thomas O. Sikor (eds). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Editorial Nordan-Comunidad. pp. 229-243.
- Hair, J. F., et al. (2004). *Análisis multivariante*. 5a edición. Prentice Hall Iberia. Madrid, España.
- Herrera, B. E., Salazar, V. M., Delgado, A., Campos, J. E. y Cervantes. J. (2012), "Use and conservation of *Vanilla planifolia* J. in the Totonacapan region, México". *European Journal of Environmental Sciences*, 2, vol 1, pp. 43-50.
- Herrera, B.E., Hernández, J. y Delgado, A. (2016), "Variación de aroma en *Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews silvestre y cultivada". *Agroproductividad*, 9, vol 1, pp. 10-17.
- Hernández, C. G. (2007). "Tenek lab teje. Etnicidad y transformaciones agrarias en el ejido de la Concepción, Tanlajas, San Luis Potosí". Tesis El Colegio de San Luis, A.C. San Luis Potosí, S.L.P..
- Hernández, Juan, (2011). Mexican Vanilla Production. En Havkin-Frenkel D y Belanger, F.C. eds. *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Wiley-Blackwell. p. 3-24.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2017). *Anuario estadístico y geográfico del estado de San Luis Potosí*. Aguascalientes, México 623 p.
- Kourí, E. (2000), "La vainilla de Papantla: agricultura, comercio y sociedad rural en el siglo XIX". *Signos históricos II.3.*, pp. 105-130.
- Lubinsky, P., S. Bory, J. Hernández, S. Kim y Gómez-Pompa, A. (2008), "Origins and Dispersal of Cultivated Vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. [Orchidaceae])". *Economic Botany*, 62, vol. 2, pp. 127-138.
- Moreno, A., Toledo V.M. y Casas, A. (2013), "Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural". *Botanical Sciences*, 91, vol. 4, pp. 375-398.

- PRCSPNV. (2012). *Plan rector comité sistema producto nacional de la vainilla A.C.* México. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. INCA Rural.
- Reyes, H., Trinidad, K.L. y Herrera-Cabrera, B.E. (2018), "Caracterización del ambiente de los vainillales y área potencial para su cultivo en la Huasteca Potosina". *Biotecnia*, XX, vol, 3, pp. 49-57.
- Roux-Cuvelier, M. y Grisoni, M. (2011). Conservation and Movement of Vanilla Germplasm. En: Odoux, E. y Grisoni, M (eds). *Vanilla, medicinal and aromatic plants. Industrial profiles*. CRC Press. Taylor and Francis group.
- SAGARPA. (2017). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. *Vainilla Mexicana*.
- Salazar, V. M., Herrera-Cabrera, B. E. Delgado-Alvarado, A. y Campos-Contreras, J. (2014). *Planeación estratégica para la conservación del recurso genético vainilla (Vanilla planifolia Andrews. Orchidaceae) en su centro de domesticación, región Totonacapan, México*. Seminario Internacional de Vainilla. Promoviendo la investigación, la extensión y la producción de vainilla en Mesoamérica. Araya Fernández, C. Cordero Solórzano, R. Paniagua Vásquez, A. y Azofeifa Bolaños. J. B. (eds) Primera edición. INISEFOR. Heredia, C.R.
- SIAP. (2018). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://www.gob.mx/siap>
- Soto Arenas, M. A. (2006), "La vainilla: retos y perspectivas de su cultivo" CONABIO. *Biodiversitas*, 66, pp. 1-9.
- Toledo, Victor y Narciso Barrera-Bassols (2008). *La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Icaria Editorial. Barcelona, España.
- Vara, I. y Cuéllar, M. (2013), "Biodiversidad cultivada: una cuestión de coevolución y transdisciplinariedad". *Ecosistemas*, 22, vol, 1, pp. 1-5.

Xochipa, M, R. C., Delgado, A. A., Herrera, C. B. E., Escobedo, G. J. S. y Arévalo G. L. (2016), "Influencia del proceso de beneficiado tradicional mexicano en los compuestos del aroma de *Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews". *Agroproductividad*, 9, vol. 1, pp. 55-62.

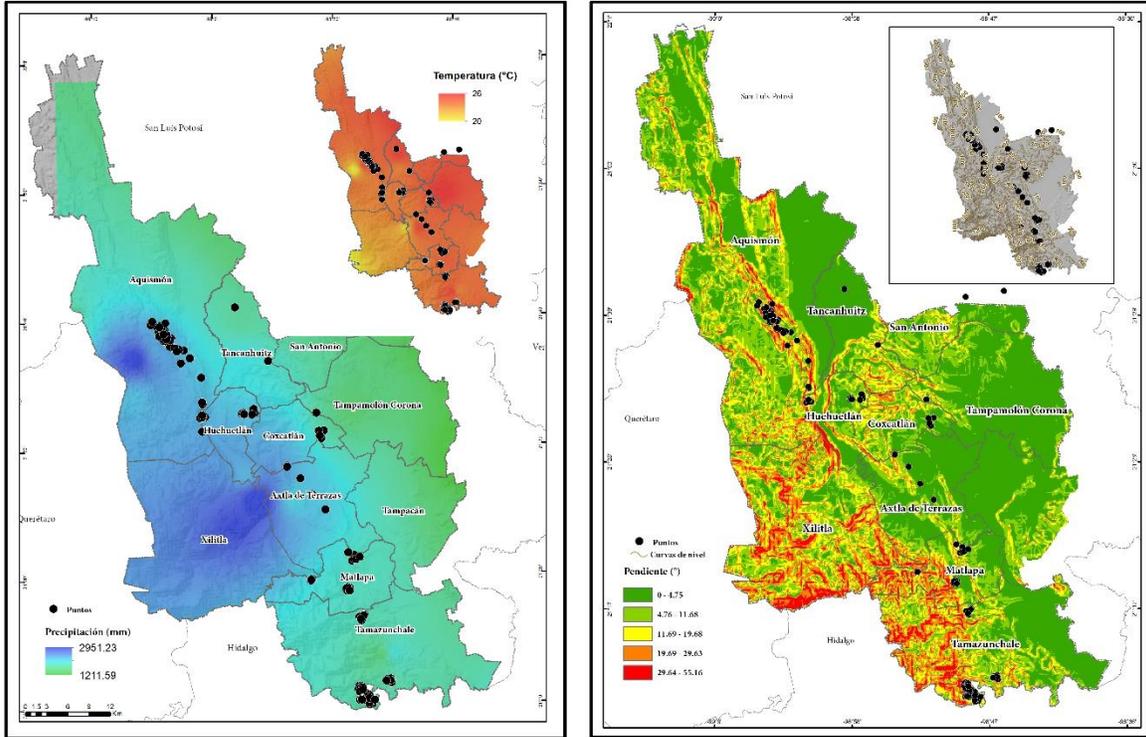
Tipología de los sistemas agroforestales tradicionales de producción de vainilla (*Vanilla planifolia*) en la Huasteca Potosina

Figura 1. Región vainillera en la Huasteca Potosina



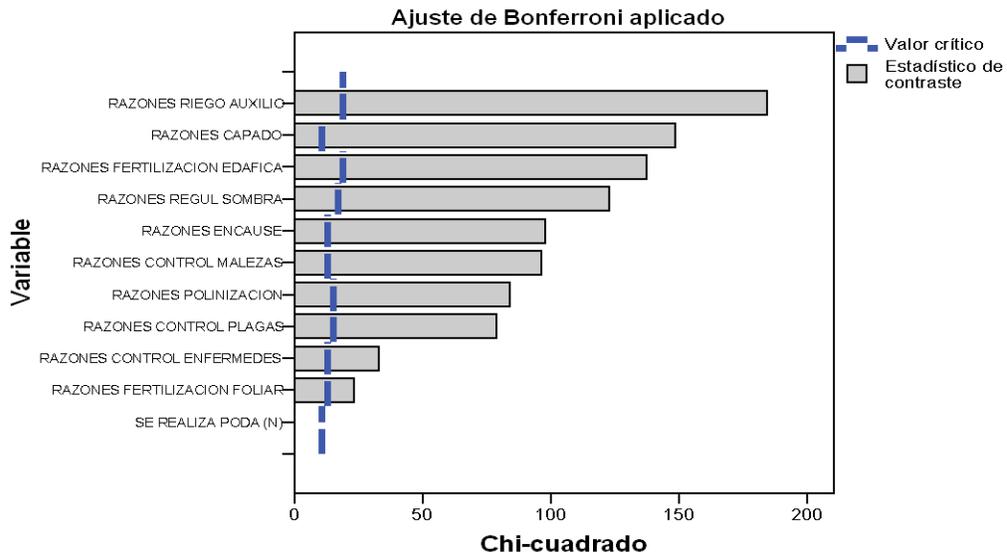
Fuente: elaboración propia. Autora: Erika Galarza,

Figura 2. Distribución de los SAT analizados en relación con la precipitación, temperatura, pendiente y altitud en la Huasteca Potosina.

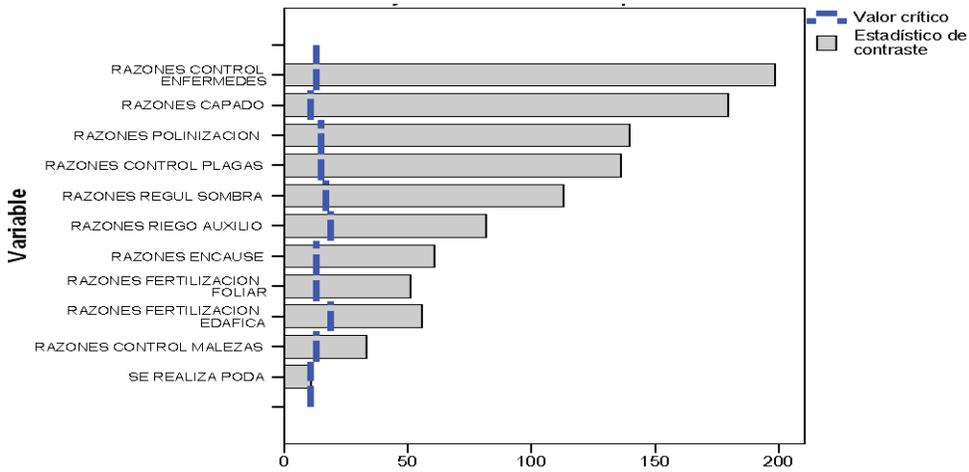


Fuente: elaboración propia a partir de las bases de datos y capas vectoriales de INEGI. Autora: Erika Galarza

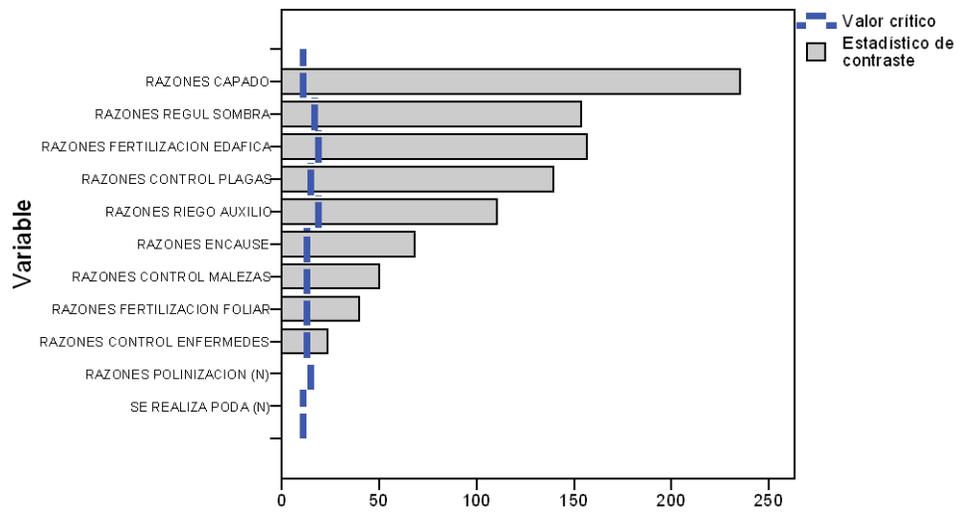
Figura 3. Variables estadísticamente significativas que definen cada conglomerado (Grupos 1, 2, 3)



1

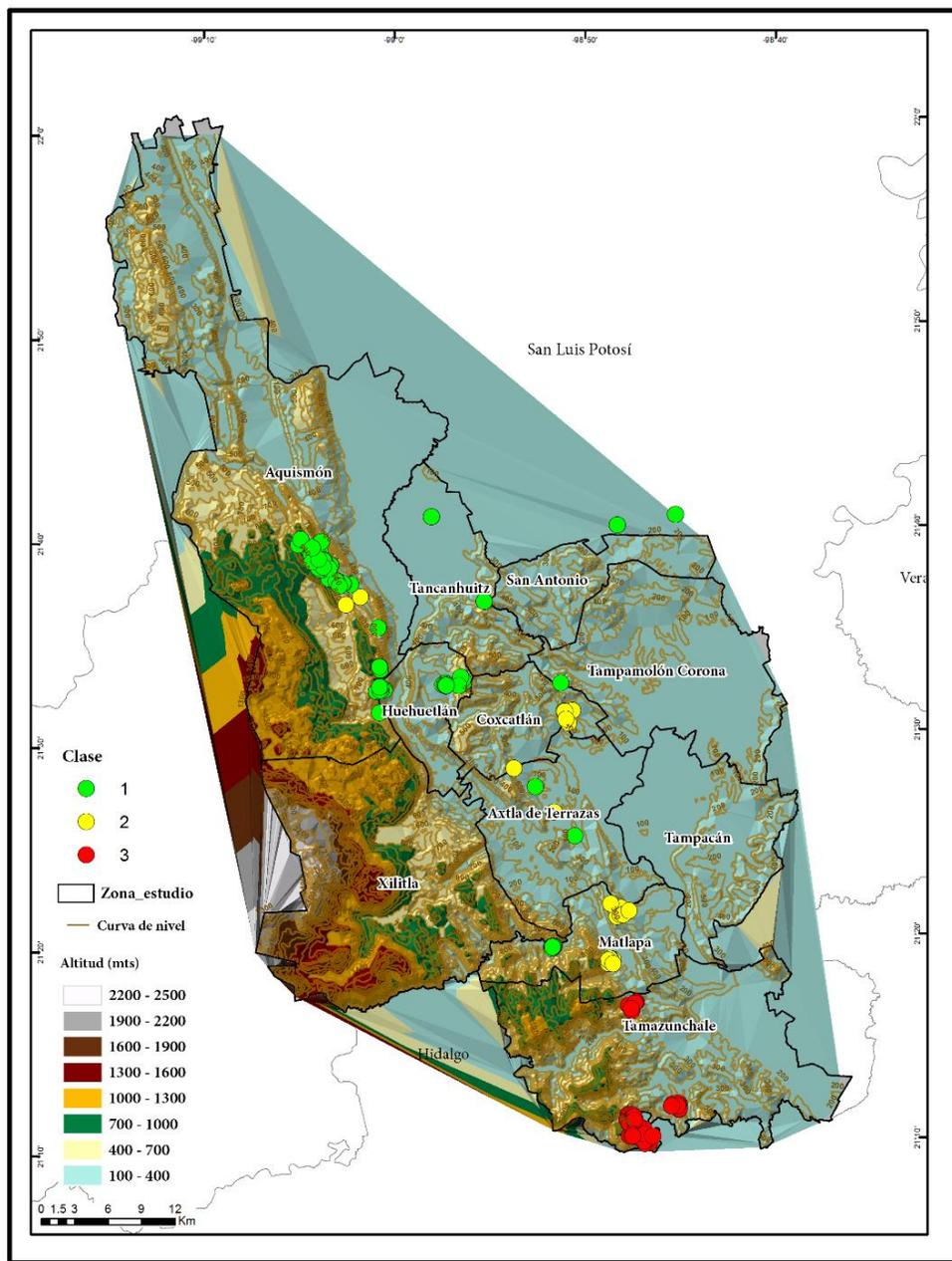


2



3

Figura 4. Distribución espacial de los conglomerados por grupo (clase).



Fuente: elaboración propia a partir de las capas de información de INEGI y análisis estadísticos. Autora: Erika Galarza

**Figura 5. Fisonomía de los SAT de la Huasteca donde se produce vainilla, 1:
Original , 2: transformado, 3: Simplificado.**



2



3



Autor: Humberto Reyes

Tabla 1. Prácticas requeridas para la producción de vainilla e implementación en los SAT de la Huasteca Potosina

Actividad/práctica requerida	El total de productores (355):
Encauce	No sabe cómo hacerlo (67.6%). No lo requiere por ser plantación nueva (26.6%). No lo realiza por falta de tiempo (5.8%).
Fertilización del suelo	No sabe cómo hacerlo (76.3%). No lo realiza porque no frecuenta el vainillal (16.1%). No lo considera necesario o no tiene material para hacerlo (7.6%)
Fertilización foliar	No sabe cómo hacerlo (87.1%). No la realiza porque es muy caro (7.1 %). No lo considera necesario (5.8%).
Capado	No sabe cómo hacerlo (51.7%). No se considera necesario (32.8%) Tiene plantación nueva (15.5%).
Polinización	No sabe cómo hacerlo (64.6%). Tiene plantación nueva (33.3%). No la realiza por lo laborioso y edad avanzada del productor (2%).
Riego de auxilio	No sabe cómo hacerlo (40.4%). No lo considera necesario (36.8%). Carece de fuentes de agua (8.6%). No lo realiza por falta tiempo (7.7%). No tiene equipo de riego (6.2%).
Regulación de sombra	No sabe cómo hacerlo (59.4%). No lo considera necesario (17.2%). No lo realiza porque no frecuenta el vainillal (14.1%). Tiene tutores en desarrollo (8.2%). Aprovecha los tutores como cultivo (1%).
Control de plagas	No sabe cómo hacerlo (71.3%). Desconoce las plagas que afectan la vainilla (25.3%). No hay presencia de plagas o no lo realiza por falta tiempo (3.4%).
Control de enfermedades	No sabe cómo hacerlo (83.3%). No hay presencia de enfermedades (16.7%).
Control de malezas	No sabe cómo hacerlo (95.3%). No lo realiza por falta tiempo o no lo considera necesario (4.7%).

Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos y trabajo de campo.

Tabla 2. Variables de manejo que definen cada grupo derivado del análisis de conglomerados.

Tipo de Práctica	Grupo 1 160 productores	Grupo 2 78 productores	Grupo 3 115 productores
Encauce	No saben cómo hacerlo (100%)	No lo requiere por ser plantación nueva (61.5%) No sabe cómo hacerlo (30.8%) Sí lo realiza (7.7%)	No lo requiere por ser plantación nueva (33%) No sabe cómo hacerlo (30.5%) Sí lo realiza (20%) No lo realiza (16.5%)
Poda	No lo realiza (100%)	No lo realiza (94.9%) Sí lo realiza (5.1%)	No lo realiza (100%)
Fertilización edáfica	No sabe cómo hacerlo (100%)	Sí lo realiza (42.3%) No sabe cómo hacerlo (35.9%) No lo considera necesario (21.8%)	Sí lo realiza (62.6%) No frecuenta el vainillal (32.2%) No sabe cómo hacerlo (3.4%) No lo considera necesario (1.8%)
Fertilización foliar	No sabe cómo hacerlo (65%) Sí lo realiza (22.5%) Alto costo de inversión (12.5%)	No sabe cómo hacerlo (48.7%) Sí lo realiza (30.8 %) No lo considera necesario (19.2%) Alto costo de inversión (1.3%)	No sabe cómo hacerlo (98.3%) No lo considera necesario (1.7%)
Capado	No sabe cómo hacerlo (100%)	No lo requiere por ser plantación nueva (69.2 %) No sabe cómo hacerlo (30.8%)	No lo requiere por ser plantación nueva (100 %)
Polinización	No sabe cómo hacerlo (96.2%) Sí la realiza (3.8%)	No lo requiere por ser plantación nueva (92.3%) Sí la realiza (5.1%) No la realiza por la edad avanzada del productor (2.6%)	No sabe cómo hacerlo (58.3%) No lo requiere por ser plantación nueva (36.5%) No la realiza (4.3%) Sí la realiza (0.9%)
Riego de auxilio	No sabe cómo hacerlo (85%) No tiene equipo (12.5%) Sí lo realiza (2.5%)	No lo considera necesario (70.5%) Carece de fuentes de agua (19.2%) Sí lo realiza (9 %) No tiene equipo para riego (1.3%)	No lo considera necesario (59.2%) No lo realiza (23.3 %) Carece de fuentes de agua (12.3%) Sí lo realiza (5.2 %)
Regulación de sombra	No sabe cómo hacerlo (91.9%) Sí lo realiza (8.1%)	No lo considera necesario (55.1%) No sabe cómo hacerlo (28.2%) Sí lo realiza (7.7%) Tutores en desarrollo (6.4%) No frecuenta el vainillal (2.6%)	Sí lo realiza (40 %) No frecuenta el vainillal (33%) Tutor en desarrollo (16.5%) No lo considera necesario (5.2%) El tutor se aprovecha como cultivo (2.7%) No sabe cómo hacerlo (2.6%)
Control de insectos	No sabe cómo hacerlo (93.1%) Sí lo realiza (6.9%)	Sí lo realiza (60.3%) No sabe cómo hacerlo (30.8%) No hay presencia de plagas (8.9%)	Desconoce las plagas de la vainilla (65.2%) No sabe cómo hacerlo (32.2%) No lo hace por falta de tiempo (1.7%) Sí lo realiza (0.9%)

Control de enfermedades	No sabe cómo hacerlo (100%)	No tiene problemas de enfermedades (74.4%) No sabe cómo hacerlo (23%) Sí lo realiza (1.3%) No lo hace por falta de tiempo (1.3%)	No sabe cómo hacerlo (100%)
Control de malezas	No sabe cómo hacerlo (63.1%) Sí lo realiza (35.6%) No lo considera necesario (1.3%)	Sí lo realiza (100%)	Sí lo realiza (97.4%) No lo hace por falta de tiempo (2.6%)

Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos y análisis estadístico.

1 **Efecto de extractos orgánicos naturales sobre la micropropagación *in vitro* de *Vanilla***
2 ***planifolia* Jacks. ex Andrews (Orchidaceae)**

3 **Effect of natural extracts on the *in vitro* micropropagation of *Vanilla planifolia* Jacks.**
4 **ex Andrews (Orchidaceae)**

5
6 Karina Lizbeth Trinidad-García¹, Humberto Reyes-Hernández², Luis Jesús Castillo-Pérez¹,
7 Candy Carranza-Álvarez^{3*}, Javier Fortanelli-Martínez⁴

8
9 ¹ Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad
10 Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P., México

11 ² Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
12 San Luis Potosí, S.L.P., México

13 ³ Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Huasteca, Universidad Autónoma de San Luis
14 Potosí. Ciudad Valles, S.L.P., México

15 ⁴ Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis
16 Potosí. San Luis Potosí, S.L.P., México

17

18

19

20

21 *Autor de correspondencia

22 Correo electrónico: candy.carranza@uaslp.mx

23

24

25

26 **Resumen:**

27 *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews es una especie de la familia Orchidaceae que, al igual
28 que otras orquídeas, presenta problemas para su reproducción natural; lo anterior, aunado a
29 la deforestación de su hábitat y la presión de selección para el establecimiento de nuevos
30 cultivos, ha causado que la vainilla se vea amenazada. Por lo anterior, el objetivo general de
31 esta investigación fue generar un protocolo de regeneración *in vitro* de *V. planifolia* a través
32 del uso de extractos naturales. Para ello, se cultivaron semillas estériles en medio MS sin
33 reguladores de crecimiento vegetal para obtener protocormos como explantes. Una vez
34 formados los protocormos, estos se sembraron en los medios de cultivo suplementados con
35 los extractos naturales, MPL (plátano), MPI (piña), MCO (agua de coco) y en el medio
36 control. Los resultados mostraron que el mejor tratamiento fue el MPI, en donde se observó
37 la formación de 5.7 ± 3.5 brotes de 36.9 ± 7.3 mm de altura, y la formación de 2.2 ± 0.5
38 yemas por brote. Además, se logró la formación de 13.0 ± 1.1 raíces por brote con la adición
39 de 0.5 mg L^{-1} de AIA, y la preaclimatación de las plantas *in vitro*.

40 **Palabras-clave:** vainilla, micropropagación, extractos naturales.

41

42 **Abstract:**

43 *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews is a species of Orchidaceae family that presents
44 problems with its natural reproduction; this, in addition to the deforestation of its habitat and
45 the selection pressure for the establishment of new crops, has caused vanilla to be threatened.
46 Therefore, the main objective of this research was to generate an *in vitro* regeneration
47 protocol of *V. planifolia* through the use of natural extracts. For this, sterile seeds were grown
48 in MS medium without plant growth regulators to obtain protocorms as explants. Once the

49 protocorms were formed, they were grown in the culture media supplemented with natural
50 extracts, MPL (banana), MPI (pineapple), MCO (coconut water) and in the medium control.
51 The results showed that the best treatment was MPI, where the formation of 5.7 ± 3.5
52 shoots of 36.9 ± 7.3 mm height was observed, and the formation of 2.2 ± 0.5 buds per shoots.
53 In addition, the formation of 13.0 ± 1.1 roots per outbreak was achieved with the addition of
54 0.5 mg L^{-1} of AIA, and *in vitro* pre-acclimatization of plants was achieved.

55 **Keyword:** vanilla, micropropagation, natural extracts.

56

57

INTRODUCCIÓN

58 La vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) es una orquídea trepadora
59 hemiepífita que se caracteriza por un tallo flexible y hojas elípticas planas, desarrolla
60 inflorescencias a partir de los brotes de las hojas y su fruto es alargado y dehiscente (Damián,
61 1994). *V. planifolia* se desarrolla en lugares con clima cálido, en condiciones de luz y sombra
62 y bajo temperaturas que oscilan entre 20 y 30 °C. Para su desarrollo, esta orquídea necesita
63 de otra planta como sostén, la cual generalmente es una especie arbórea que se denomina
64 “tutor” (Hernández-Hernández, 2011). Su ciclo de vida inicia a los dos años de crecimiento
65 vegetativo, y durante el tercer año inicia la producción de las vainas de donde se obtiene la
66 esencia comercial mundialmente conocida como vainilla (Kelso-Bucio *et al.*, 2012).

67 Las plantaciones de vainilla requieren de un proceso de polinización artificial. La
68 polinización natural por abejas Euglosinas, algunas hormigas u otros insectos es considerada
69 poco eficiente debido a la baja producción, lo cual reduce la comercialización y disminuye
70 los ingresos económicos de los productores. Aunado a lo anterior, el periodo de maduración
71 del fruto es de ocho meses (Jaramillo *et al.*, 2012; Reyes-Hernández *et al.*, 2018).

72 Esta planta posee su centro de origen en México, y los principales estados productores
73 de vainilla son Veracruz, Oaxaca, Puebla y San Luis Potosí (Luna-Guevara *et al.*, 2016). En
74 San Luis Potosí, los municipios con mayor producción de vainilla son Axtla de Terrazas,
75 Tamazunchale, Aquismón, Matlapa, Coxcatlán, Huehuetlán y Xilitla, situados en la Huasteca
76 Potosina, los cuales han desarrollado sistemas de cultivo y producción de vainilla
77 tradicionales (Vargas-Hernández y Gámez-Vázquez, 2014; Reyes-Hernández *et al.*, 2018).

78 Actualmente la vainilla es una especie que se considera amenazada debido a la
79 sobreexplotación, lo que ha reducido las poblaciones silvestres y mermado la diversidad
80 genética (Soto-Arenas 1999; SEMARNAT 2010). Además, la propagación de la vainilla se
81 encuentra limitada por problemas naturales como la reducida viabilidad de las semillas y las
82 bajas tasas de germinación (Soto-Arenas 2003; Torres-González *et al.* 2011). Por esta razón,
83 se propaga asexualmente por esquejes, sin embargo, este método no garantiza la calidad de
84 las nuevas plantaciones, y se limita a un pequeño número de esquejes por planta donante. En
85 este sentido, la micropropagación es una alternativa rápida y eficiente para la propagación a
86 gran escala de clones de alta calidad genética y fitosanitaria (Spinoso-Castillo *et al.*, 2017).

87 La micropropagación a través del cultivo de tejidos vegetales (CTV) es una
88 herramienta biotecnológica útil para producir una gran cantidad de plantas en un tiempo
89 relativamente corto, con calidad y rendimiento uniforme, con independencia de las
90 variaciones geográficas, estacionales y ambientales, y sin uso de pesticidas y/o herbicidas
91 (Rao y Ravishankar, 2002; Debnath, 2009; Espinosa-Leal *et al.*, 2018). En la actualidad,
92 mediante el CTV es posible la propagación de especies con problemas de conservación como
93 las orquídeas (Gaudencio-Sedano *et al.*, 2015).

94 Los principales índices que se consideran durante el CTV para garantizar su ejecución
95 eficiente son: el coeficiente de multiplicación del material *in vitro*, los índices de

96 contaminación y mortalidad de los explantes, los medios de cultivo debidamente elaborados,
97 el tiempo de subcultivo, el número de subcultivos y la supervivencia de las vitroplantas en la
98 etapa de aclimatización. Además, la micropropagación puede ser utilizada con fines
99 comerciales para generar un gran número de plantas en medios de cultivo sintéticos
100 adicionados con fitohormonas y en condiciones controladas (Barrera-Rodríguez *et al.*, 2016;
101 García, 2018; Nascimento *et al.*, 2019).

102 Existen diversos reportes científicos sobre la micropropagación de vainilla utilizando
103 diferentes explantes, entre los que se encuentran yemas axilares (Lozano-Rodríguez, *et al.*,
104 2015), segmentos nodales (Zuraida *et al.*, 2013; Ayele *et al.*, 2017), esquejes (De la Cruz *et*
105 *al.*, 2014; Biradar *et al.*, 2016), ápices radicales y brotes apicales (Morwal *et al.*, 2015;
106 Gätjens-Boniche *et al.*, 2018). Existen son pocos los trabajos en la literatura que reportan el
107 uso de sustratos naturales para el desarrollo de orquídeas; entre ellos se encuentran el agua
108 de coco (Arditti y Krikorian, 1996, Nongrum *et al.*, 2007, Moreno-Martínez y Menchaca-
109 García, 2007, Abbas *et al.*, 2011, Velázquez-Kú *et al.*, 2016), el jugo de piña (Rodríguez-
110 Montoya, 2002; Thejaswini y Narasimhan, 2017) y la pulpa de plátano (Moreno-Martínez y
111 Menchaca-García, 2007; Velázquez-Kú *et al.*, 2016). Estos compuestos orgánicos son ricos
112 en energía, vitaminas, aminoácidos y fitohormonas naturales y pueden ser una excelente
113 opción para la propagación masiva de orquídeas (Kitsaki *et al.*, 2004, Yam y Arditti, 2009,
114 Gnasekaran *et al.*, 2012), lo cual a su vez contribuiría a la disminución de costos en el proceso
115 de propagación. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue generar un
116 protocolo de regeneración *in vitro* de *V. planifolia* a través del uso de extractos orgánicos
117 naturales utilizando agua de coco, jugo de piña y pulpa de plátano.

118

119

120

MATERIALES Y MÉTODOS

121 **Material vegetal**

122 Los especímenes de *V. planifolia* fueron recolectados en la comunidad de Cuichapa, Matlapa,
123 San Luis Potosí, México (coordenadas: 21°19'4.00'' LN y 98°49'33.99'' LW). Las plantas
124 fueron colocadas en maceta con tierra de jardín, y mantenidas durante 60 días en condiciones
125 de invernadero (25 °C y 70 % de humedad) para su adaptación y aclimatación. La
126 polinización de estas plantas se realizó de forma manual siguiendo la metodología establecida
127 por Menchaca-García (2011). Como explantes se utilizaron semillas de capsulas antes de la
128 dehiscencia. Para inducir la germinación de las semillas se utilizó el medio basal con
129 vitaminas MS (Murashige y Skoog, 1962; Phyto Technology Laboratories) suplementado
130 con 30 g L⁻¹ de sacarosa, 5.0 g L⁻¹ de carbón activado (Karal S.A. de C.V, León, Mexico) y
131 8 g L⁻¹ de agar (Phyto Technology, Shawnee Mission, KS; Plant Tissue Culture grade). El
132 pH de los medios de cultivo se ajustó a 5.7 y se esterilizaron a 120 °C por 20 minutos
133 (1.37×10⁵ Pa). Los cultivos se mantuvieron a 25 °C con un fotoperiodo de 16 horas de luz a
134 45 μmol m⁻² s⁻¹ y 8 horas de oscuridad, la luz fue suministrada con lámparas fluorescentes
135 blanco frío (Phillips, Saltillo, Mexico).

136

137 **Asepsia de la cápsula y protocolo de germinación**

138 Las cápsulas de *V. planifolia* antes de la dehiscencia fueron esterilizadas de forma superficial
139 con jabón antibacterial al 40 % por 20 minutos, AgNO₃ al 10 % por 15 minutos, etanol al 70
140 % por dos minutos, con hipoclorito de sodio al 10 % y tres gotas de Tween® 80 en 100 mL
141 de agua durante 10 minutos. Finalmente se lavaron tres veces con agua destilada estéril. Las
142 semillas fueron cultivadas para germinar en medio MS basal adicionado con 5 % (p/v) de
143 carbón activado (Karal S.A. de C.V, León, México) sin reguladores de crecimiento vegetal.

144 Los medios de cultivo con las semillas inoculadas se mantuvieron en oscuridad por cuatro
145 semanas dentro del cuarto de cultivo del Laboratorio de Investigación en Ciencias
146 Ambientales de la U.A.S.L.P., a una temperatura de 25 °C, y posteriormente otras cuatro
147 semanas con un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad, la luz fue suministrada
148 con lámparas fluorescentes blanco frío (Phillips, Saltillo, México).

149

150 **Inducción de brotes a partir de protocormos**

151 Para inducir el desarrollo de brotes, se utilizaron protocormos de 16 semanas de edad. Las
152 vitroplantas se cultivaron en medio MS con 15 g L⁻¹ de sacarosa, 0.5 % de carbón activado,
153 8 g L⁻¹ de agar phytigel (Phyto Technology, Shawnee Mission, KS; Plant Tissue Culture
154 grade), y se suplementaron con extractos orgánicos naturales, resultando las siguientes
155 combinaciones: medio MS sin extractos (control), medio MS con 10 g L⁻¹ de extracto de
156 piña (MPI), medio MS con 10 g L⁻¹ de extracto de plátano (MPL) y medio MS con 30 mL L
157 de agua de coco (MCO). Los sustratos naturales utilizados fueron obtenidos de Phyto
158 Technology Laboratories.

159 El pH de los medios se ajustó a 5.7 con NaOH 1N y/o HCl 1N. Los protocormos se sembraron
160 en estos medios de cultivo durante 60 días, y se mantuvieron a 25 °C con un fotoperiodo de
161 16 horas de luz a 45 μmol m⁻² s⁻¹ y 8 horas de oscuridad, la luz fue suministrada con lámparas
162 fluorescentes blanco frío (Phillips, Saltillo, Mexico). Se realizaron evaluaciones mensuales
163 del número y altura de los brotes nuevos producidos.

164

165 **Enraizamiento de los brotes**

166 Los brotes de *V. planifolia* mayores a 4 cm se retiraron del medio de cultivo, se enjuagaron
167 en agua destilada estéril para eliminar por completo restos del medio de cultivo, y se

168 sembraron en recipientes de vidrio de 100 mL con diferentes tratamientos para inducir la
169 formación de la raíz. Los tratamientos fueron los siguientes: i) medio MS con 10 g L⁻¹ de
170 extracto de piña (Tratamiento Control); ii) medio MS con 10 g L⁻¹ de extracto de piña más 1
171 mg L⁻¹ de 6-bencilaminopurina (BAP) más 0.5 mg L⁻¹ de AIA (Tratamiento 0.5 AIA) y iii)
172 medio MS con 10 g L⁻¹ de extracto de piña más 1 mg L⁻¹ 6-bencilaminopurina (BAP) más
173 1.0 mg L⁻¹ de AIA (Tratamiento 1.0 AIA). Los diferentes tratamientos se preservaron en
174 condiciones del cuarto de cultivo, y se registró el número y la longitud de raíces, y el
175 porcentaje de oxidación durante 60 días.

176

177 **Preaclimatación *in vitro***

178 Las vitroplantas de *V. planifolia* mayores a 6 cm y con presencia de raíces, se retiraron del
179 medio de cultivo y se enjuagaron en agua destilada estéril. Se sembraron en frascos de vidrio
180 con capacidad de 500 mL con diferentes tratamientos: i) suelo orgánica estéril (control), ii)
181 suelo orgánico estéril con 1.0 mg L⁻¹ de AIA (Tratamiento TAIA1.0) y iii) suelo orgánico
182 estéril con 2.0 mg L⁻¹ de AIA (Tratamiento TAIA2.0). Las vitroplantas se preservaron en
183 condiciones del cuarto de cultivo, y se registró la longitud, el número de hojas, el porcentaje
184 de oxidación y el porcentaje de contaminación semanalmente durante 41 días de cultivo.

185

186 **Diseño experimental y análisis estadístico**

187 En cada tratamiento evaluado se establecieron 10 frascos como repetición, en cada frasco se
188 sembraron cinco vitroplantas, para un total de 50 vitroplantas por tratamiento. Su desarrollo
189 en cada tratamiento fue evaluado mensualmente. Se registraron tres variables en la primera
190 etapa de inducción de brotes (número de brotes, altura de los brotes, formación de yemas),
191 en la segunda etapa denominada enraizamiento se registraron dos variables (número de raíces

192 y longitud de raíces), y en la última etapa denominada preaclimatación se evaluaron dos
193 variables adicionales (altura de las plantas y formación de hojas nuevas). Todos los datos
194 fueron registrados como media \pm error estándar de la media (SEM). Posteriormente, para
195 cada variable se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía tipo modelo lineal
196 general (MLG), verificando previamente los supuestos de normalidad (prueba de
197 Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). Adicionalmente,
198 se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para comparar las medias entre los diferentes
199 tratamientos. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistic para Windows,
200 versión 8.0.

201

202

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

203 Germinación de las semillas

204 En el presente trabajo, la micropropagación *in vitro* se realizó utilizando semillas
205 inmaduras de *V. planifolia* provenientes de frutos generados en condiciones de vivero, en
206 donde se obtuvo una germinación del 90 % a los 90 días de cultivo (Figura 1). El cultivo en
207 la oscuridad durante los primeros 30 días favoreció la germinación al evitar el fenómeno de
208 fotoxidación. Posterior a los 60 días de cultivo, se observó un hinchamiento y cambio de
209 coloración de las semillas, que culminó con la formación de protocormos (PLB's: Protocorm
210 Like Bodies) a los 90 días (Figura 2A).

211

212 El uso del cultivo de tejidos *in vitro* para el establecimiento de colecciones y bancos
213 de germoplasma a partir de la germinación de semillas de vainilla es una alternativa
214 escasamente utilizada por lo complejo e ineficiente del proceso y, poco recomendable debido
215 a que la germinación es errática (Azofeifa-Bolaños *et al.*, 2014). Dado que, las semillas son
diminutas, presentan un embrión indiferenciado, tienen tegumentos muy duros (Pedroso-de-

216 Morales *et al.*, 2012) y cerosos que contienen inhibidores de germinación (Bory *et al.*, 2008).
217 Sin embargo, se han evaluado diversos protocolos de germinación *in vitro* de vainilla con
218 diferentes condiciones de cultivo y diferentes tratamientos en donde el porcentaje de
219 germinación ha sido variable y dependiente de las concentraciones de cultivo, por ejemplo,
220 33 % (Knudson, 1950), 64 % (Lugo, 1955) 85 % (Menchaca-García, 2011), y recientemente
221 hasta un 90 % (Flores-Castaños *et al.*, 2017).

222

223 **Efecto de sustratos naturales sobre la formación de brotes a partir de protocormos**

224 Como resultado de la adición de sustratos orgánicos, se observó crecimiento de pequeños
225 brotes apicales de color verde oscuro a los 28 días de cultivo en los tratamientos evaluados.

226 El porcentaje de respuesta fue dependiente del tratamiento empleado. Se observó un 100 %,
227 93.4 %, 33.5 % y 33 % de respuesta en los MCO, MPI, MPL y control, respectivamente.

228 La formación de brotes definidos se presentó hasta los 120 días de cultivo, después de dos
229 subcultivos realizados cada 60 días (Figura 2B). Se consideraron brotes definidos, aquellos
230 que presentaron al menos una yema con dos hojas. El tratamiento suplementado con extracto
231 de piña (MPI) fue en donde se observó la mayor producción de brotes (5.7 ± 3.5), resultado
232 significativamente diferente con respecto al control. El tratamiento MCO produjo 4.6 ± 2.7
233 brotes, seguido del control (4.6 ± 3.3 brotes) y el tratamiento con extracto de plátano (MPL)
234 el cual produjo 4.2 ± 2.7 brotes. Los tratamientos MCO y MPL no mostraron diferencia
235 estadística significativa, respecto al control (Figura 3).

236 En relación con la altura de los brotes, se observó un mayor incremento en los tratamientos
237 MPI y MCO, cuyas alturas oscilaron entre 36.9 ± 17.3 y 35.1 ± 18.8 mm respectivamente,
238 resultados estadísticamente significativos respecto al control ($p < 0.05$). Los brotes

239 desarrollados en el tratamiento control y el MPL alcanzaron una altura de 20 ± 19 mm y 24
240 ± 18.8 mm, respectivamente (Figura 4).

241 A los 120 días de cultivo, se presentó la formación de yemas en los brotes. El tratamiento
242 MPI desarrolló 2.2 ± 0.5 yemas, lo cual fue estadísticamente significativo ($p < 0.05$) respecto
243 al control, el cual desarrollo sólo 1.5 ± 0.3 yemas. Los tratamientos MCO y MPL registraron
244 el desarrollo de 1.5 ± 0.2 y 1.0 ± 0.3 yemas por explante, sin mostrar diferencias
245 estadísticamente significativas con respecto al control (Figura 5).

246 Lo anterior podría explicarse debido a que los compuestos orgánicos naturales como el agua
247 de coco, piña y plátano son ricos en aminoácidos, fitohormonas, vitaminas, y azúcares
248 (Kitsaki *et al.*, 2004, Yam y Arditti, 2009), lo cual favorece el crecimiento y diferenciación
249 de los brotes en el cultivo *in vitro* con resultados similares a los mostrados por las
250 fitohormonas sintéticas, pero sin causar variabilidad genética del cultivo y la acumulación
251 excesiva de dichos compuestos en el cultivo, reduciendo además, el costo de la
252 micropropagación. Los trabajos similares sobre la micropropagación de orquídeas que
253 emplean el uso de sustratos como el agua de coco (Arditti y Krikorian, 1996, Moreno-
254 Martínez y Menchaca-García, 2007; Nongrum *et al.*, 2007, Abbas *et al.*, 2011, Velázquez-
255 Kú *et al.*, 2016), el jugo de piña (Rodríguez-Montoya, 2002; Thejaswini y Narasimhan, 2017)
256 y la pulpa de plátano (Moreno-Martínez y Menchaca-García, 2007; Velázquez-Kú *et al.*,
257 2016), reportan que dichos sustratos favorecen la organogénesis en comparación al uso de
258 fitohormonas sintéticas. Además, por tratarse de un cultivo comestible y orgánico, se justifica
259 el uso de sustratos naturales en la micropropagación de la vainilla.

260 Existen algunos reportes sobre el cultivo *in vitro* de vainilla a través del uso de yemas
261 axilares (Lozano-Rodríguez, et al., 2015), segmentos nodales (Zuraida et al., 2013; Ayele et
262 al., 2017), explantes nodales (Biradar et al., 2016), ápices radicales y brotes apicales (Morwal

263 et al., 2015; Gätjens-Boniche et al., 2018) y protocormos (Flores et al., 2017). Sin embargo,
264 en dichos trabajos se utilizan fitohormonas sintéticas para la generación de brotes, y no
265 existen reportes en donde se hayan utilizado sustratos naturales en todas las etapas de la
266 micropropagación como en el presente estudio, con lo cual se contribuye a la multiplicación
267 de la especie de manera orgánica.

268

269 **Efecto de la concentración de ácido indol acético (AIA) sobre la rizogénesis de los brotes**

270 El máximo porcentaje de brotes con raíces se obtuvo a los 66 días de cultivo en el tratamiento
271 0.5 AIA el cual presentó un 61 % de respuesta, mientras que el control presentó un 41 % y
272 un 17 % en el tratamiento 1.0 AIA. Los brotes cultivados en los tratamientos 0.5 AIA
273 desarrollaron 13.0 ± 1.1 raíces por brote. Los tratamientos control y 1.0 AIA mostraron los
274 valores más bajos para la producción de raíces (5.0 ± 0.5 y 3.0 ± 0.4 mm, respectivamente).
275 Los resultados observados en el tratamiento 0.5 AIA fueron estadísticamente significativos
276 ($p < 0.05$) respecto al control (Figura 6).

277 La longitud de las raíces también fue mayor en el tratamiento 0.5 AIA en el cual se desarrolló
278 una longitud promedio de 23.0 ± 1.0 mm, mientras que en los tratamientos de 1.0 AIA y el
279 control, se registró una longitud radicular de 15.0 ± 0.5 mm y 20.0 ± 0.5 mm, respectivamente
280 (Figura 7). Los resultados del tratamiento 0.5 AIA fueron estadísticamente significativos (p
281 < 0.05) respecto al tratamiento 1.0 AIA y al control.

282

283 **Preaclimatación *in vitro* de las plántulas**

284 Las plántulas de *V. planifolia* con mayor número y longitud de raíces se retiraron de los
285 medios de cultivo, y se sometieron a un proceso de preaclimatación *in vitro* en donde se
286 sembraron en recipientes de cultivo con suelo estéril adicionado con 0.5 y 1.0 mg L⁻¹ de AIA,

287 esto para ir proporcionando las condiciones naturales de forma gradual a las plántulas antes
288 de sembrarlas en macetas y llevarlas a condiciones de vivero.

289 Después de 45 días se observó en el tratamiento TAIA0.5 un incremento en la altura de las
290 vitroplantas de 18.0 ± 1.2 mm, de 15.0 ± 1.0 mm para el control y de 14.0 ± 0.8 mm para el
291 tratamiento TAIA1.0 (Figura 8). La respuesta observada en el tratamiento TAIA0.5 fue
292 estadísticamente diferentes respecto al control ($p < 0.05$).

293 En cuanto a la formación de hojas nuevas en las plantas (Figura 9), se observó la producción
294 de 1.8 ± 0.5 hojas por planta en los tratamientos TAIA0.5 y TAIA1.0, a diferencia del control
295 (1.0 ± 0.5), resultando estadísticamente significativos ($p < 0.05$).

296

297

298

CONCLUSIONES

299 En el presente trabajo se logró la regeneración *in vitro* de *V. planifolia* a través de la inducción
300 y multiplicación de brotes generados a partir de protocormos. La adición de extractos
301 naturales a los medios de cultivo favoreció notablemente la formación de brotes y de plantas
302 *in vitro*, reduciendo así el uso de fitohormonas sintéticas. El extracto de piña (MPI) mostró
303 resultados estadísticamente significativos en la formación y altura de los brotes, y en el
304 número de yemas. La adición de 0.5 mg L^{-1} de AIA favoreció el enraizamiento de las
305 vitroplantas, logrando así la preaclimatación *in vitro* en tierra orgánica estéril. Los resultados
306 obtenidos en esta investigación permitirán la propagación masiva de plantas de *V. planifolia*,
307 y en un futuro establecer un mecanismo para transferir la tecnología a los productores de
308 vainilla.

309

310 **AGRADECIMIENTOS**

311 Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el financiamiento del proyecto
312 269491/2016. La primera autora agradece al CONACYT por la beca otorgada para realizar
313 los estudios de posgrado.

314

315 **CONFLICTO DE INTERESES**

316 Los autores de este trabajo no tienen ningún conflicto de intereses.

317

318 **REFERENCIAS**

319 Abbas, B., Heningtyas, F., Amriati, B. 2011. In vitro seeds germination and plantlets
320 development of *Grammatophyllum scriptum* Lindl. (Orchidaceae). International Research
321 Journal of Plant Science, 2, 154-159.

322 Arditti, J., Krikorian, A.D. 1996. Orchid micropropagation: the path from laboratory to
323 commercialization and an account of several unappreciated investigators. Botanical Journal
324 of the Linnean Society, 122, 183-241.

325 Ayele, Y. B., Tefera, W., Bantte, K. 2017. Enhanced Protocol Development for in vitro
326 Multiplication and Rooting of Vanilla (*Vanilla planifolia* Andr.) Clone (Van. 2/05).
327 Biotechnology Journal International, 1-11.

328 Azofeifa-Bolaños, J.B., Paniagua-Vásquez, A., García-García, J.A. 2014. Importance and
329 conservation challenges of *Vanilla* spp. (Orchidaceae) in Costa Rica. *Agronomía*
330 *Mesoamericana*, 25, 189-202.

331 Barrera-Rodríguez, A.I., Espejel-García, A.A., Herrera-Cabrera, B.E. 2016. La asociatividad
332 de productores de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) como estrategia productiva
333 y comercial. *Agroproductividad*, 9, 39-42.

334 Biradar, V., Inamdar, A., Shamse, A., Patil, M. S. 2016. In vitro Studies on the influence of
335 different concentrations of growth regulators on economically important orchid, *Vanilla*
336 *planifolia*. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*, 5, 311-323.

337 Bory, S., Grisoni, M., Duval, M. F., Besse, P. (2008). Biodiversity and preservation of
338 vanilla: present state of knowledge. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 55: 551-571.

339 Damirón, R. V. 2004. El cultivo de la vainilla. Veracruz agrícola. Dirección General de
340 Agricultura y Fitosanitaria. Gobierno del estado de Veracruz, México.

341 De la Cruz, W., Dominguez, J., Viruliche, L.D. 2014. Evaluación del efecto de cinco
342 sustratos y una dosis de Ácido α . Naftalen-acético (ANA) en la propagación de esquejes de
343 vainilla (*Vanilla* sp). *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 3, 198-220.

344 Debnath, S. C. 2009. Characteristics of strawberry plants propagated by in vitro bioreactor
345 culture and ex vitro propagation method. *Engineering in Life Sciences*, 9, 239-246.

346 Espinosa-Leal, C.A., Puente-Garza, C.A., García-Lara, S. 2018. In vitro plant tissue culture:
347 means for production of biological active compounds. *Planta*, 248, 1-18.

348 Flores Castaños, O., Cuéllar Zometa, J.F., Montes de Godoy, M.E., Gámez Pastrana, M.R.,
349 González Arnao, M.T., Guevara Valencia, M., Aguilar Rivera, N. 2017. Germinación in vitro
350 de semillas de *Vanilla planifolia* Jacks y comparación de métodos de micropropagación.
351 *Avances en Investigacion Agropecuaria*, 21.

352 García, R.A.M. 2018. In vitro Propagation of Vanilla. *Handbook of Vanilla Science and*
353 *Technology*.

354 Gätjens-Boniche, O., Acuña-Matamoros, C.L., Montero-Carmona, W., Díaz, C., Torres, S.
355 2018. Propagación masiva y formación de callos protocórmicos de vainilla a partir de ápices
356 radicales. *Polibotánica*. 45: 157-180.

357 Gaudencio-Sedano C., Manzo-Alejandro G., Reymundo-Roldán H, Castellanos J.A. 2015.
358 Propagación in vitro de orquídeas y otras ornamentales. Revista Mexicana De Ciencias
359 Agrícolas. 12: 451–456.

360 Gnasekaran, P., Poobathy, R., Mahmood, M., Samian, M.R., Subramaniam, S. 2012. Effects
361 of complex organic additives on improving the growth of PLBs of Vanda Kasem's Delight.
362 Australian Journal of Crop Science, 6, 1245.

363 Hernández, J. 2011. Paquete tecnológico vainilla (*Vanilla planifolia* Jackson).
364 Establecimiento y mantenimiento (Programa Estratégico para el desarrollo Rural Sustentable
365 de la Región Sur-Sureste: Trópico Húmedo). Tlapacoyan, Veracruz: SAGARPA-INIFAP.

366 Jaramillo, J.L., Escobedo, J.S., Barrera, A. 2012. Competitividad de Sistemas de Beneficiado
367 de Vainilla (*Vanilla Planifolia* J.) en la Región del Totonacapan, México. Panorama
368 Socioeconómico, 30, 80-93.

369 Kelso-Bucio, H.A., Bâ, K.M., Sánchez-Morales, S., Reyes-López, D. 2012. Estimación in
370 situ del Kc ini de la vainilla (*Vanilla planifolia* A). Agrociencia, 46, 499-506.

371 Kitsaki, C.K., Zygouraki, S., Ziobora, M., Kintzios, S. 2004. In vitro germination, protocorm
372 formation and plantlet development of mature versus immature seeds from several *Ophrys*
373 species (Orchidaceae). Plant cell reports, 23, 284-290.

374 Knudson, L. 1950. Germination of Seeds of Vanilla. American Journal of Botany. 37(3): 241.

375 Lozano-Rodríguez, M.Á., Menchaca-García, R.A., Alanís-Méndez, J.L., Pech-Canché, J.M.
376 2015. Cultivo in vitro de yemas axilares de *Vanilla planifolia* Andrews con diferentes
377 citocininas. Revista Científica Biológico-Agropecuaria Tuxpan, 4, 1153–1165.

378 Lugo, H.L. 1955. The effect of nitrogen on the germination of *Vanilla planifolia*. American
379 Journal of Botany, 679-684.

380 Luna-Guevara, J.J., Ruiz-Espinosa, H., Herrera-Cabrera, E.B., Navarro-Ocaña, A., Delgado-
381 Alvarado, A., Luna-Guevara, M.L. 2016. Variedad de microflora presente en vainilla
382 (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) relacionados con procesos de beneficiado.
383 *Agroproductividad*, 9, 3-9.

384 Menchaca-García R.A. 2011. Manual para la propagación de orquídeas. 1st ed. Comisión
385 Nacional Forestal. México.

386 Menchaca-García, R.A., Ramos, J.M., Moreno, D., Luna, M., Mata, M., Vázquez, L.M.,
387 Lozano, M.A. 2011. Germinación in vitro de híbridos de *Vanilla planifolia* y *V. pompona*.
388 *Revista colombiana de biotecnología*, 13, 80-84.

389 Moreno-Martínez, D., y Menchaca-García, R.A. 2007. Efecto de los compuestos orgánicos
390 en la propagación in vitro de *Stanhopea tigrina* Bateman (Orchidaceae). *Foresta veracruzana*,
391 9, 27-32.

392 Morwal, G., Jadhav, S.J., Shinde, A., Mandge, N., Mandge, N. 2015. Conservation of *Vanilla*
393 *Planifolia* by in vitro micropropagation method. In Special issue national conference “ACGT
394 (pp. 13-14).

395 Nascimento, T.A.D., Furtado, M.D.S.C., Pereira, W.C., Barberena, F.F.V.A. 2019. *Vanilla*
396 *bahiana* Hoehne (Orchidaceae): studies on fruit development and new perspectives into crop
397 improvement for the *Vanilla planifolia* group. *Biota Neotropica*, 19.

398 Nongrum, I., Kumaria, S., Tandon, P. 2007. Influence of in vitro media on asymbiotic
399 germination, plantlet development and ex vitro establishment of *Coelogyne ovalis* Lindl. and
400 *Coelogyne nitida* (Wall. ex Don) Lindl. *Proceedings-Indian National Science Academy*, 73,
401 205.

402 Norma Oficial Mexicana “Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna
403 silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista

404 de especies en riesgo". [Consultado 21 noviembre 2019] 2010. Disponible en:
405 http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091.

406 Pedroso-de-Moraes, C., Souza-Leal, T. D., Panosso, A. R., & Souza, M. C. D. 2012. Effect
407 of chemical scarification and concentration of nitrogen on the germination and in vitro
408 development of *Vanilla planifolia* Jack ex Andr. (Orchidaceae: Vanilloideae). *Acta Botanica*
409 *Brasilica*, 26, 714-719.

410 Rao, S. R., & Ravishankar, G. A. 2002. Plant cell cultures: chemical factories of secondary
411 metabolites. *Biotechnology advances*, 20, 101-153.

412 Reyes-Hernández, H., Trinidad-García, K.L., Herrera-Cabrera, B.E. 2018. Caracterización
413 del ambiente de los vainillales y área potencial para su cultivo en la Huasteca Potosina.
414 *Biotecnia*, XX:49-57.

415 Rodríguez Montoya, L. 2002. Micropropagación de orquídeas silvestres (*Encyclia oxypetala*
416 (Lindl.) Acuña y *Encyclia phoenicea* (Lindl.) Neum) (Doctoral dissertation, Universidad
417 Central" Marta Abreu" de Las Villas).

418 Soto-Arenas M.A. 2003 *Vanilla*. En: Pridgeon AM, Cribb PJ, Chase MW, Rasmussen FN
419 (ed) *Genera orchidacearum: Orchidoideae*, Oxford University Press, EUA.

420 Soto-Arenas, M.A. 1999. Filogeografía y recursos genéticos de las vainillas de México.
421 Project J101, CONABIO, México.

422 Spinoso-Castillo, J.L., Chavez-Santoscoy, R.A., Bogdanchikova, N., Pérez-Sato, J.A.,
423 Morales-Ramos, V., Bello-Bello, J.J. 2017. Antimicrobial and hormetic effects of silver
424 nanoparticles on in vitro regeneration of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) using
425 a temporary immersion system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 129, 195-207.

426 Thejaswini, R.,Narasimhan, S.2017. Undefined organic additives stimulates in vitro seed
427 germination of *Dendrobium ovatum* (Willd.) Kraenzl, a medicinal orchid. *Int J Pharma Med*
428 *Biol Sci*, 6, 29-31.

429 Torres-González, M.J., Aguirre-Medina, J.F., Iracheta-Donjuan, L. 2011. Germinacion de
430 semilla y obtencion de plantulas de *Vanilla planifolia* Andrews en condiciones in vitro.
431 *Agroproductividad*, 4, 3-9.

432 Trinidad-García, K.L. 2014 Caracterización agroecológica de la vainilla (*Vanilla* spp.) en la
433 Huasteca Potosina. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P.,
434 México. 105 pp.

435 Vargas Hernández, J., Gámez Velázquez, H.G. 2014. Producción de vainilla en tres sistemas
436 de producción en la Sierra Huasteca Potosina. Instituto Nacional de Investigaciones
437 Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 31 pp.

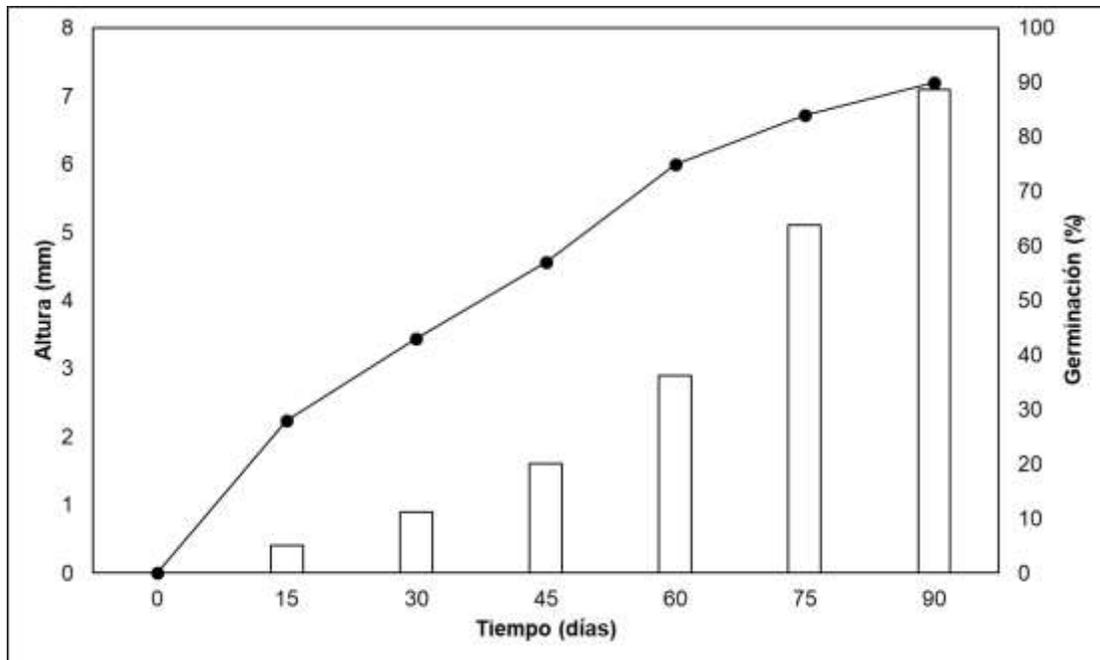
438 Velazquez-Kú, N.V., Quijano-Ávila, J. C.,Rodríguez-Ávila, N.L. 2016. Análisis de
439 diferentes sustratos en la germinación y multiplicación in vitro de orquídeas silvestres del
440 estado de campeche. *Revista del centro de graduados e investigación*, 31, 27-31.

441 Yam, T.W., Arditti, J. 2009. History of orchid propagation: a mirror of the history of
442 biotechnology. *Plant Biotechnology Reports*, 3, 1.

443 Zuraida, A., Fatin Liyana Izzati, K., Nazreena, O., Wan Zaliha, W., Che Radziah, C., Zamri,
444 Z., Sreeramanan, S. 2013. A Simple and Efficient Protocol for the Mass Propagation of
445 *Vanilla planifolia*. *American Journal of Plant Sciences*, 4: 1685–1692.

446 **Figuras**

447



448

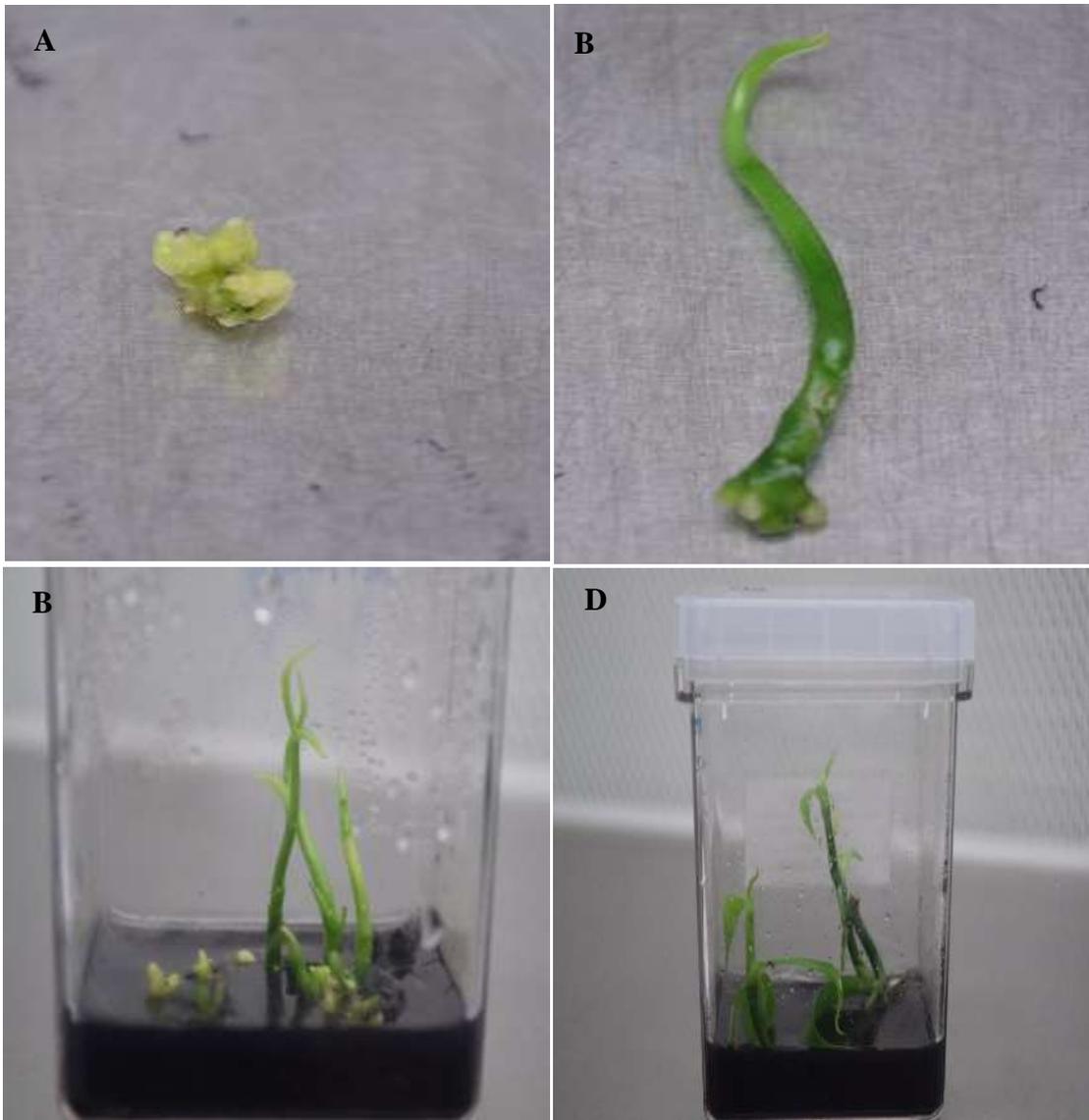
449 **Figura 1.** Germinación y crecimiento de semillas de *Vanilla planifolia* Jacks ex. Andrews.

450 Las semillas germinaron en medio MS basal adicionado con 1 % (p/v) de carbón activado.

451 **Figure 1.** Germination and growth of *Vanilla planifolia* Jacks ex. Andrews seeds. Seeds

452 germinated in MS basal medium added with 1 % (w/v) of activated charcoal.

453



454

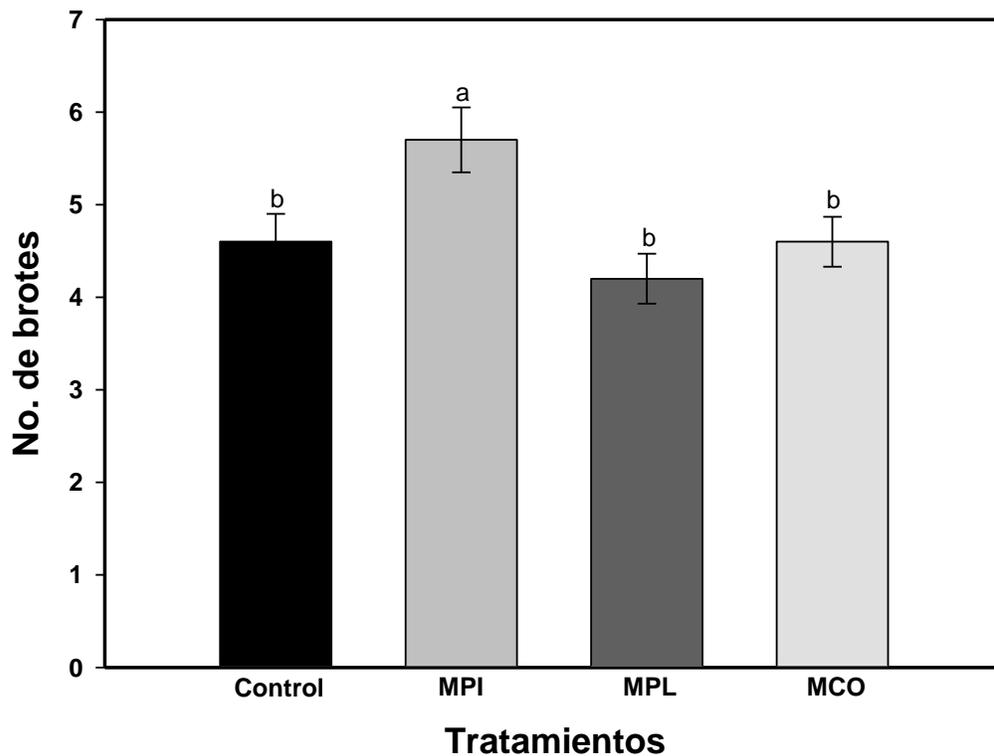
455 **Figura 2.** Desarrollo de *V. planifolia* Jacks. ex Andrews. (A) protocormo; (B) formación de
456 brote a partir de protocormo; (C) aparición de yemas en los brotes; (D), formación de hojas.

457 **Figure 2.** Development of *V. planifolia* Jacks. ex Andrews. (A) protocorm; (B) outbreak
458 formation; (C) bud appearance; (D), formation of roots and leaves.

459

460

461

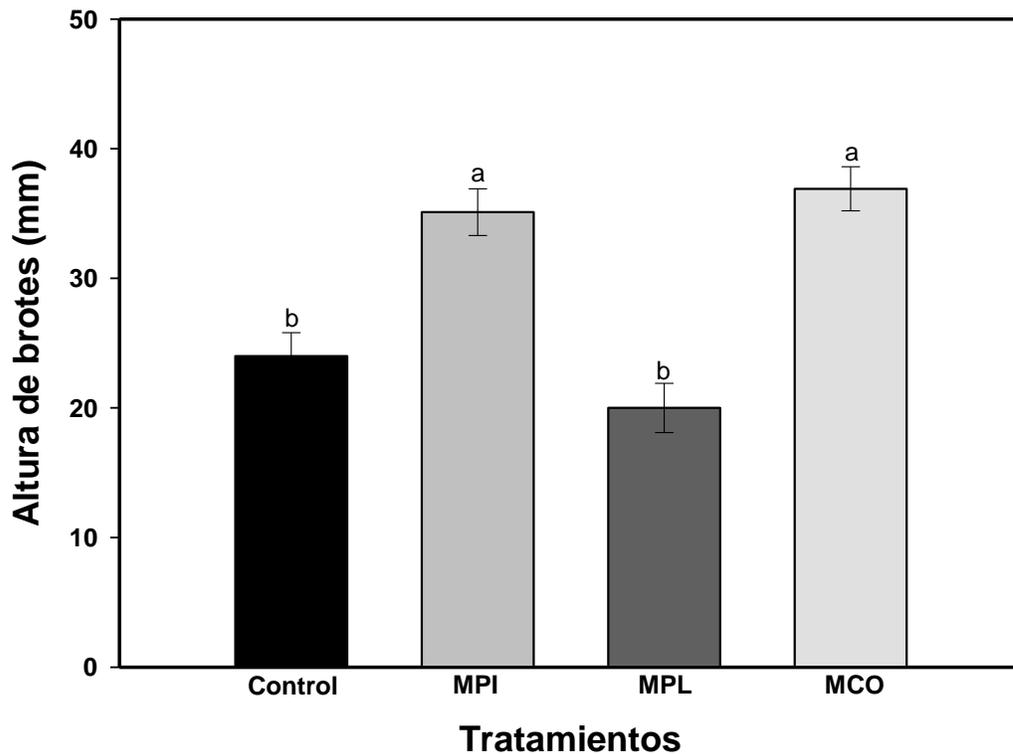


462

463 **Figura 3.** Producción media (n = 50) del número de brotes obtenidos en los tratamientos
 464 adicionados con extractos naturales: MPI (piña), MPL (plátano) y MCO (agua de coco). Las
 465 medias con diferentes letras muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

466 **Figure 3.** Average production (n = 50) of the number of shoots obtained in the treatments
 467 added with natural extracts: MPI (pineapple), MPL (banana) and (coconut water). The error
 468 bars represent the standard error of the concentrations. The means with different letters show
 469 significant differences ($p < 0.05$).

470

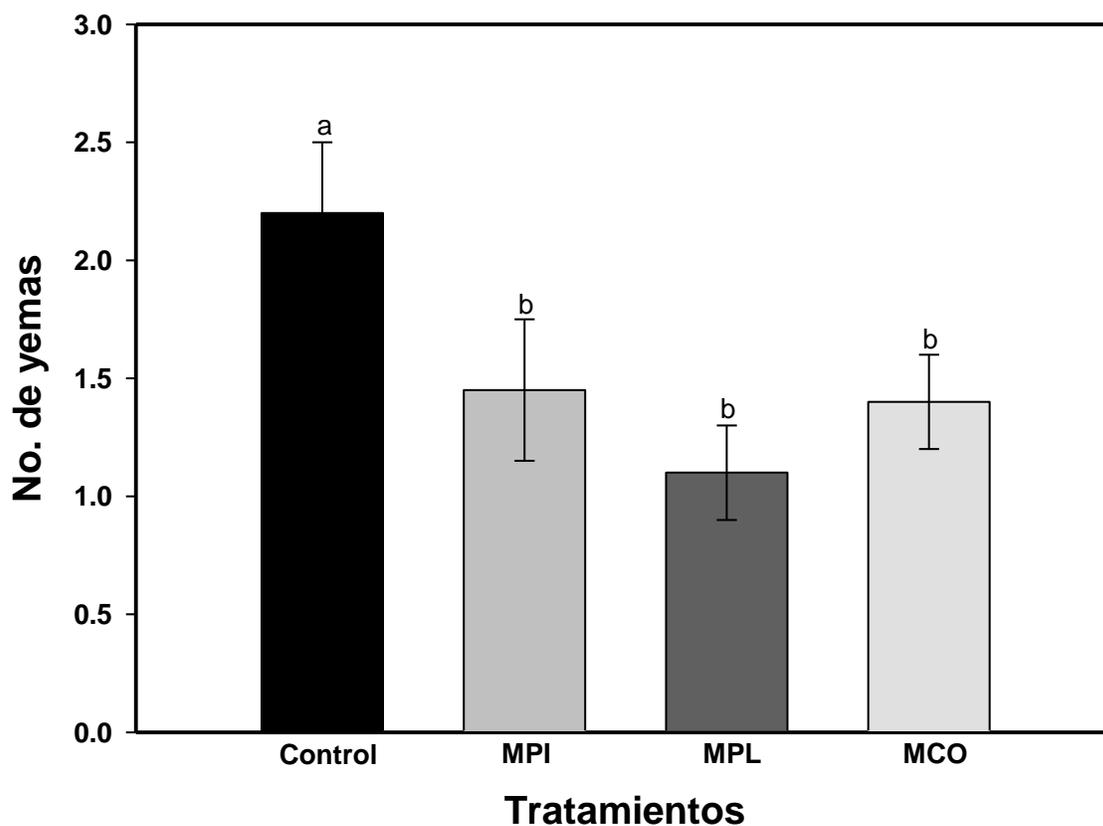


471

472 **Figura 4.** Altura de brotes (n = 50) desarrollada en los tratamientos adicionados con extractos
 473 naturales: MPI (piña), MPL (plátano) y MCO (agua de coco). Las barras de error representan
 474 el error estándar de las concentraciones. Las medias con diferentes letras muestran
 475 diferencias significativas ($p < 0.05$).

476 **Figure 4.** Average leaf length (n = 50) developed in the treatments added with natural
 477 extracts: MPI (pineapple), MPL (banana) and (coconut water). The error bars represent the
 478 standard error of the concentrations. The means with different letters show significant
 479 differences ($p < 0.05$).

480



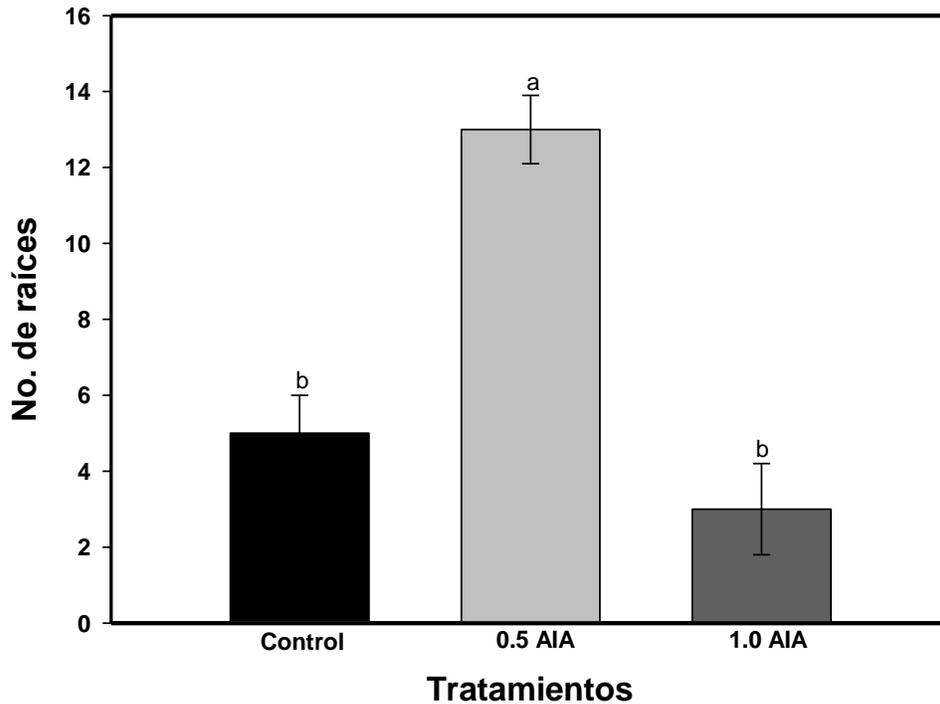
481

482 **Figura 5.** Producción media (n = 50) del número de yemas desarrolladas en los tratamientos
 483 adicionados con extractos naturales: MPI (piña), MPL (plátano) y MCO (agua de coco). Las
 484 barras de error representan el error estándar de las concentraciones. Las medias con diferentes
 485 letras muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

486

487 **Figure 5.** Average production (n = 50) of the number of YEMAS developed in the treatments
 488 added with natural extracts: MPI (pineapple), MPL (banana) and (coconut water). The error
 489 bars represent the standard error of the concentrations. The means with different letters show
 490 significant differences ($p < 0.05$).

490



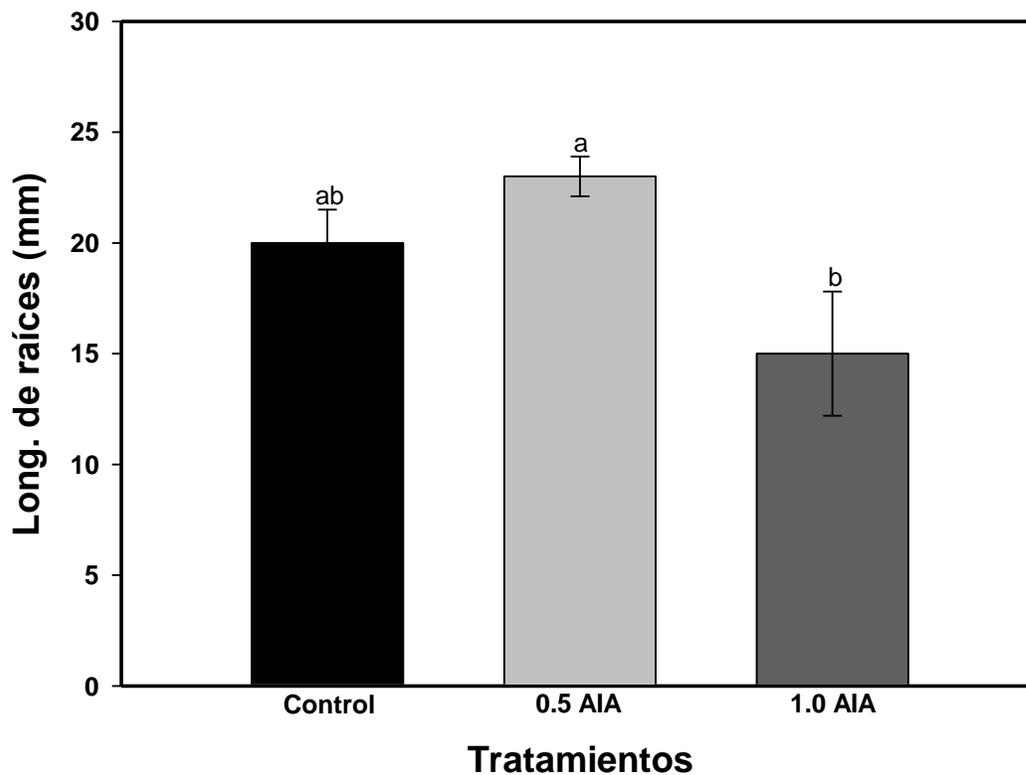
491

492 **Figura 6.** Producción media (n = 50) del número de raíces desarrolladas durante el
 493 enraizamiento de los brotes en los tratamientos adicionados con: 0.5 mg L⁻¹ de AIA (0.5 AIA)
 494 y 1.0 mg L⁻¹ de AIA (1.0 AIA). Las barras de error representan el error estándar de las
 495 concentraciones. Las medias con diferentes letras muestran diferencias significativas (p <
 496 0.05).

497

Figure 6. Average production (n = 50) of the number of buds developed in the treatments
 498 added with: 0.5 mg L⁻¹ de AIA (0.5 AIA) and 1.0 mg L⁻¹ de AIA (1.0 AIA). The error bars
 499 represent the standard error of the concentrations. The means with different letters show
 500 significant differences (p < 0.05).

501

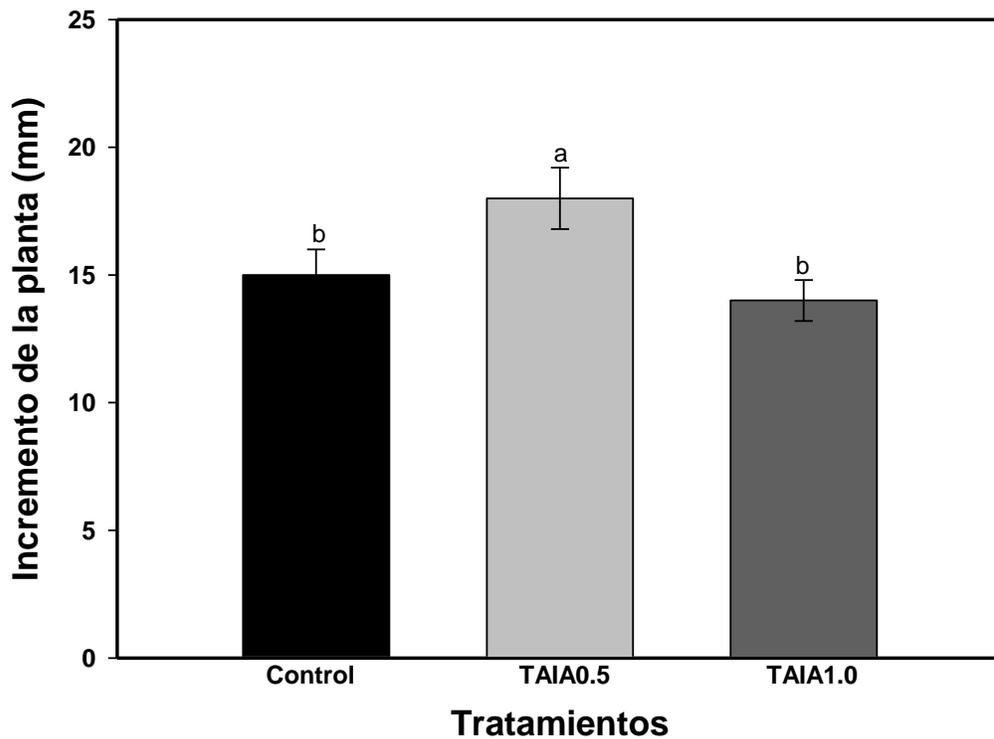


502

503 **Figura 7.** Longitud radicular media (n = 50) desarrollada en los tratamientos adicionados:
 504 0.5 mg L⁻¹ de AIA (0.5 AIA) y 1.0 mg L⁻¹ de AIA (1.0 AIA). Las barras de error representan
 505 el error estándar de las concentraciones. Las medias con diferentes letras muestran
 506 diferencias significativas (p < 0.05).

507 **Figure 7.** Mean root length (n = 10) developed in the treatments added with: 0.5 mg L⁻¹ de
 508 AIA (0.5 AIA) and 1.0 mg L⁻¹ de AIA (1.0 AIA). The error bars represent the standard error
 509 of the concentrations. The means with different letters show significant differences (p <
 510 0.05).

511

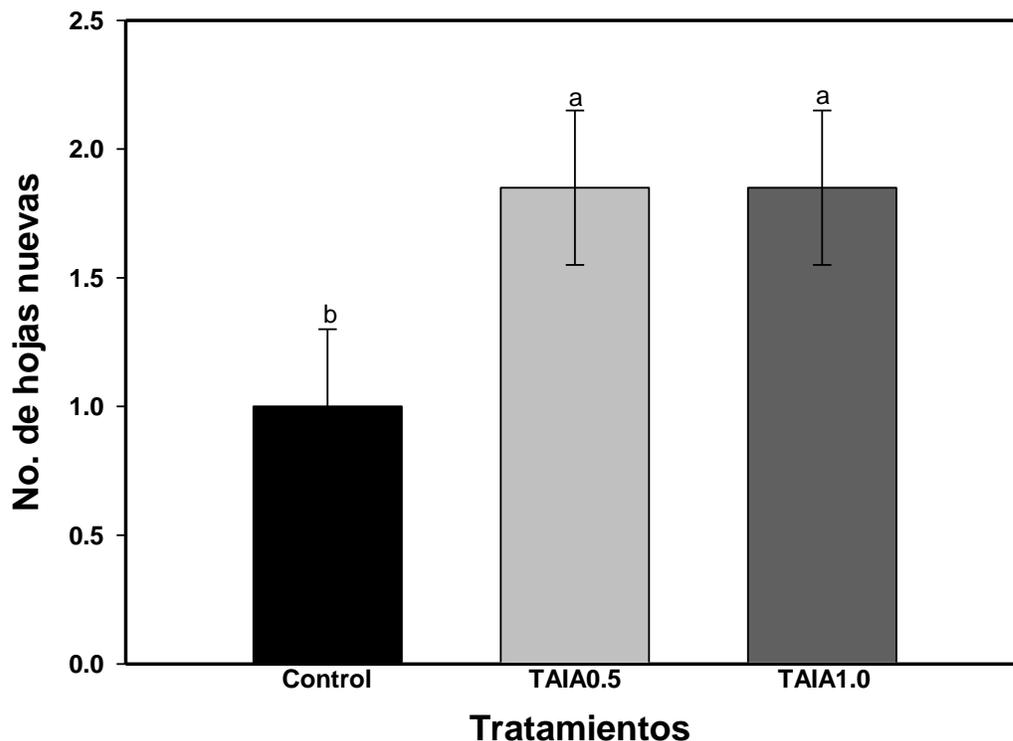


512

513 **Figura 8.** Incremento de la altura de las plantas (n = 50) desarrolladas en los tratamientos
 514 adicionados con: control (tierra orgánica estéril); TIAIA (tierra orgánica estéril con 0.5 mg
 515 L-1 de AIA); TAIA 1.0 (tierra orgánica estéril con 0.5 mg L-1 de AIA). Las barras de error
 516 representan el error estándar de las concentraciones. Las medias con diferentes letras
 517 muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

518 **Figure 8.** Increase in plant size (n = 50) developed in the treatments added with: Control
 519 (sterile organic soil); TIAIA (sterile organic with 0.5 mg L-1 de AIA); TAIA 1.0 (sterile
 520 organic with 0.5 mg L-1 de AIA). The error bars represent the standard error of the
 521 concentrations. The means with different letters show significant differences ($p < 0.05$).

522



523

524 **Figura 9.** Número de hojas nuevas (n = 50) desarrolladas en los tratamientos adicionados
 525 con: control (tierra orgánica estéril); TIAIA (tierra orgánica estéril con 0.5 mg L⁻¹ de AIA);
 526 TAIA 1.0 (tierra orgánica estéril con 0.5 mg L⁻¹ de AIA). Las barras de error representan el
 527 error estándar de las concentraciones. Las medias con diferentes letras muestran diferencias
 528 significativas (p < 0.05).

529 **Figure 9.** Mean of new leaves (n = 50) developed in the treatments added with: Control
 530 (sterile organic soil); TIAIA (sterile organic with 0.5 mg L⁻¹ de AIA); TAIA 1.0 (sterile
 531 organic with 0.5 mg L⁻¹ de AIA). The error bars represent the standard error of the
 532 concentrations. The means with different letters show significant differences (p < 0.05).

DISCUSIÓN GENERAL

La vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews), ha sido aprovechada desde tiempos precolombinos por las antiguas civilizaciones de la región del Totonacapan, a partir de la recolección de los frutos silvestres encontrados en las selvas de la región del Golfo de México. En México la producción de la vainilla tuvo un enorme auge para la mitad del siglo XVI, sin embargo, el descubrimiento de la polinización artificial, su reproducción en otros países y el desarrollo de la vainillina sintética, provocaron la caída su producción (Herrera Cabrera *et al.*, 2016).

Actualmente existe una demanda insatisfecha de alrededor de 3,500 ton (FIDECAP, 2016), lo cual implica un mercado potencial que debe ser cubierto. En los últimos años se han destinado recursos económicos para aumentar su producción y productividad a través del incremento de la superficie sembrada y número de productores (PIDETEC, 2014). Simultáneamente se han dirigido diversos esfuerzos de generación y aplicación del conocimiento para identificar los principales factores que inciden en la producción y calidad de vainilla a nivel nacional, como los que aquí se han documentado.

Las regiones tropicales del país poseen gran potencial para aprovechar la variabilidad genética en la selección de plantas más resistentes y con mejores características, así como las condiciones ambientales propicias en diferentes regiones del país (Herrera Cabrera, 2013; Herrera Cabrera *et al.*, 2016). En México la vainilla se cultiva principalmente en cuatro sistemas de producción: i) el aprovechamiento tradicional de la vainilla en "Acahuales", ii) como monocultivo con tutores de *Erythrina spp.* o *Gliricidia spp.*, iii) en asociaciones con cítricos, y, iii) en casas malla sombra (Hernández *et al.*, 2010; Barrera *et al.*, 2011; Hernández, 2011). Para San Luis Potosí se han reportado tres sistemas de producción: sistema

agroforestal tradicional (*te'lom* – tenek; *cuayo* – náhuatl), los sistemas de asociación con cítricos y las casas malla-sombra (Reyes *et al.*, 2016).

En particular, los sistemas agroforestales tradicionales (SAT), conocidos como “te'lom” o “cuayo” donde se produce la vainilla, destacan por resguardar un conocimiento ancestral sobre el manejo de los recursos naturales, asociados principalmente a los grupos indígenas predominantes (Alcorn, 1983). Dichos sistemas de producción, han demostrado su resiliencia a lo largo del tiempo en un paisaje heterogéneo determinado por las condiciones ambientales y de tenencia de la tierra (Baca del Moral, 1995; de Vidas, 2009).

Las razones de su persistencia se deben a que estos sistemas son los más biodiversos por unidad de superficie, lo que permite a los productores y sus familias tener mayor cantidad de especies con fines alimenticios, medicinales, comerciales y de otros tipos durante todo el año (Alcorn, 1983). Asimismo, demandan menor cantidad de insumos externos, además de los servicios ecosistémicos que provee. Son por otro lado, una alternativa a la introducción de variedades modernas que no han logrado prosperar debido a las altas variaciones microambientales que predominan en la región.

Sin embargo, en fechas recientes los SAT de la Huasteca se encuentran en un proceso de transición hacia sistemas de producción más especializados. Al respecto, se advierte una diferencia entre los sistemas productivos de las comunidades Tének del norte de la Huasteca, con respecto a los SAT de sus congéneres en el sur, quienes han optado por la transformación e innovación de sus sistemas. La razón, los productores del sur tienen una mayor cohesión, autonomía, organización y experiencia en la gestión de proyectos agrícolas.

En términos económicos, la implementación de un sistema de producción de vainilla en un sistema tradicional es mucho más eficiente que en el cualquiera de los otros sistemas. Así por ejemplo el costo inicial estimado en un sistema tradicional llega a ser de \$78,000, mientras que como monocultivo en una casa malla-sombra su costo se duplica hasta cerca de \$154,170. Además, el costo de implementación en malla puede incrementarse durante los primeros cuatro años y llegar hasta \$300,000 por cada 2,500 m², convirtiéndolo en un sistema costoso e insostenible si no se maneja adecuadamente (Hernández, 2011).

Como parte del proceso, el productor debe contemplar la adquisición de esquejes, la incorporación de tutores y las actividades de manejo. Situación que se asocia a la incorporación de los productores a la dinámica del mercado y se ve reflejado en los diferentes grupos analizados, destacando la influencia de las capacitaciones y la asistencia técnica recibida por los productores. Al respecto, se ha documentado que algunos programas de asistencia técnica fomentan el uso regional de paquetes tecnológicos, lo cual incide en la pérdida de prácticas y conocimientos tradicionales (Maceda, 2015).

Es claro que las capacitaciones y la asistencia técnica recibida por los productores han influido en el manejo ancestral que se tenía de estos sistemas. De acuerdo con las recomendaciones de los técnicos regionales del Sistema Producto Vainilla, para mejorar la producción y productividad de la vainilla se requiere llevar a cabo al menos diez prácticas de manejo. Entre las más importantes se encuentran: i) encause, ii) fertilización, iii) polinización, iv) regulación de sombra, y, v) control de plagas enfermedades y malezas. Al respecto, el 70% de los productores no sabe cómo realizar el control de plagas, de enfermedades y de malezas, además de la fertilización del suelo y foliar. Dos aspectos fundamentales que influyen en la

producción y productividad de la vainilla son la polinización y la suplementación de riego en la etapa más crítica del cultivo.

En este sentido, los productores agrupados en el conglomerado 2 presentan un mayor acercamiento a la dinámica económica vigente, aunque esto traería beneficios en el corto plazo, también incrementa el riesgo que los conocimientos agrícolas ancestrales se diluyan y con ello su agrobiodiversidad asociada (Altieri 1991). En términos potenciales la erosión genética es más devastadora cuando la complejidad del hábitat agrícola se pierde bajo los patrones de una agricultura industrial (Toledo y Barrera, 2008).

Algunos trabajos señalan que la implementación de casas malla sombra requiere una inversión elevada, lo que representa una limitante para su desarrollo en la región. Aunque temporalmente ha sido subsidiada, no contempla acciones de seguimiento y continuidad a mediano y largo plazo. El sitio adecuado para el establecimiento de viveros, malla sombras y otro tipo de infraestructuras es uno de los factores de mayor importancia para determinar su viabilidad (Del Amo et al., 2009), que lo convierte en un sistema costoso e insostenible si no se maneja adecuadamente.

Por otro lado, la pérdida de la variabilidad genética de los agroecosistemas, aumenta la vulnerabilidad por la homogeneización de las poblaciones, disminuye la productividad, aumento en la incidencia de plagas y enfermedades, y el consecuente incremento en la adquisición de insumos externos (Vara y Cuéllar, 2013; Toledo y Barrera, 2008). Esto además, implica la protección de sus áreas de origen y hábitat actual, lo cual justifica la preservación de los sistemas tradicionales, como es el caso actual. Aunque la tendencia de los sistemas de producción ha sido hacia la especialización en cultivos tropicales, los sistemas tradicionales se resisten a este

cambio. Una de las razones es el incremento de la vulnerabilidad al depender de un solo cultivo (Hernández, 2007).

Los sistemas de producción no son estáticos, de hecho, la adopción y adaptación de nuevas variedades persiste en esos sistemas de producción, mezclando incluso variedades modernas y tradicionales. Lo cual ha dado al carácter tradicional una dicotomía de moderno-tradicional. Es por ello que en esta nueva dinámica de producción que alterna los conocimientos y manejo tradicional con la innovación agrícola, se propongan modelos que permitan conservar la agrobiodiversidad y los conocimientos vinculados a estos, pero a la vez le permitan al campesino integrarse a las dinámicas del mercado con el fin de mejorar su fuente de ingreso. Este panorama obliga a diseñar modelos apropiados a cada contexto socioambiental, para aumentar la resiliencia de los campesinos.

El uso del cultivo de tejidos *in vitro* para el establecimiento de colecciones y bancos de germoplasma a partir de la germinación de semillas de vainilla es una alternativa escasamente utilizada por lo complejo e ineficiente del proceso y, poco recomendable debido a que la germinación es errática (Azofeifa-Bolaños *et al.*, 2014). Dado que, las semillas son diminutas, presentan un embrión indiferenciado, tienen tegumentos muy duros (Pedroso-de-Morales *et al.*, 2012) y cerosos que contienen inhibidores de germinación (Bory *et al.*, 2008). Sin embargo, se han evaluado diversos protocolos de germinación *in vitro* de vainilla con diferentes condiciones de cultivo y diferentes tratamientos en donde el porcentaje de germinación puede alcanzar hasta un 90 % (Flores-Castaños *et al.*, 2017).

Los compuestos orgánicos naturales como el agua de coco, piña y plátano favorecen el crecimiento y diferenciación de los brotes en el cultivo *in vitro* con resultados similares a los mostrados por las fitohormonas sintéticas, pero sin causar variabilidad

genética del cultivo y la acumulación excesiva de dichos compuestos en el cultivo, reduciendo, además, el costo de la micropropagación. Algunos trabajos sobre la micropropagación de orquídeas que emplean el uso de sustratos como el agua de coco (Arditti y Krikorian, 1996, Moreno-Martínez y Menchaca-García, 2007; Nongrum *et al.*, 2007, Abbas *et al.*, 2011, Velázquez-Kú *et al.*, 2016), el jugo de piña (Rodríguez-Montoya, 2002; Thejaswini y Narasimhan, 2017) y la pulpa de plátano (Moreno-Martínez y Menchaca-García, 2007; Velázquez-Kú *et al.*, 2016), documentan sus beneficios en comparación al uso de fitohormonas sintéticas.

Se considera que estos sustratos naturales pueden ser empleados en los SAT de la Huasteca, con buenos resultados, tal como se demostró en esta investigación. Además, por tratarse de un cultivo comestible y orgánico, se justifica el uso de sustratos naturales en la micropropagación de la vainilla. Aunque deberá de considerarse el contexto en el que se desenvuelven cada uno de los grupos de productores de vainilla en la región.

En San Luis Potosí, desde el año 2003, se ha incrementado el interés por el cultivo de *V. planifolia* en la Huasteca Potosina, esto por su valor económico en el mercado (Sedarh, 2012; Reyes *et al.*, 2018); sin embargo, existen pocas iniciativas para lograr su conservación. Las principales amenazas que enfrenta la especie son el saqueo de sus poblaciones silvestres para establecer nuevas plantaciones y la deforestación (Flanagan y Mosquera 2016). La disminución o desaparición de sus poblaciones silvestres se acentúa, principalmente, en lugares donde se intensificó su cultivo, predominan hábitats severamente fragmentados, o por la introducción de otros cultivos (Azofeifa-Bolaños *et al.*, 2014; Flores *et al.*, 2017).

Si bien, el principal interés de los habitantes por la vainilla es de tipo económico, también es posible inferir un tipo de relación económico-cultural, ya que su conservación data, al menos, desde hace dos siglos (Alcorn, 1983; Moreno-Calles *et al.*, 2013). La mayoría de las poblaciones sin manipulación humana encontradas en los *te'lom/cuayo*, de la Huasteca se han mantenido gracias al manejo que se hace de sus recursos naturales basado en un conocimiento ancestral resguardado por los productores (Moreno-Calles *et al.*, 2013). Al mismo tiempo, dicho sistemas albergan la mayor cantidad de especímenes silvestres, comparados con el resto de los sistemas de producción presentes en la región. Al respecto, existe un amplio consenso para lograr la conservación y el uso sostenible de los parientes silvestres de una especie, mediante la aplicación, en forma integrada, de estrategias *in situ* y *ex situ*. Además de conservar dichos taxa es necesario respetar, preservar y mantener los conocimientos indígenas y locales asociados (FAO, 2017). En México, son insuficientes las estrategias para la conservación de vainilla silvestre (March *et al.*, 2009). Destacan algunas iniciativas de conservación *in situ* y *ex situ*, pero la mayoría con escasa participación de los habitantes locales.

La conservación *in situ* basada en el agricultor y combinada con esquemas de aprovechamiento legal podría aplicarse para fortalecer la economía, la cultura y los sistemas de producción locales (Salazar *et al.*, 2014). Si se considera que *V. planifolia*, está presente en una buena parte del sur de la Huasteca Potosina, donde se concentra la producción de vainilla (Reyes *et al.*, 2018), dicha estrategia resultaría ser la más adecuada. Los SAT al funcionar como un reservorio para la conservación de especies, garantizan el mantenimiento de la diversidad biológica y cultural (Toledo y Barrera, 2008). El valor estratégico del mantenimiento y ampliación de la diversidad genética de los cultivos y animales domesticados radica en que dichos procesos incrementarían la seguridad y autosuficiencia alimentaria (Altieri y Toledo 2011).

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

CONCLUSIONES

En esta tesis se documentó por primera vez para San Luis Potosí, después de cuarenta años, la presencia de *Vanilla planifolia* en 28 sitios pertenecientes a 17 localidades de ocho municipios de la Huasteca Potosina. Además de, los sitios georreferenciados, se identifica y cuantifica un área potencial superior a 85 km², que reúne las características ambientales propicias para el desarrollo de la especie. La relación economía-cultura-conservación de la vainilla en la región tiene una antigüedad de al menos dos siglos.

Si bien, los habitantes realizan un manejo empírico de sus poblaciones, se requiere complementarlo con conocimientos científicos que permitan una mejor conservación de la especie. Además de impulsar esquemas de aprovechamiento regulado que fortalezcan los medios de vida local y diversifiquen, al mismo tiempo, los sistemas de producción tradicionales.

En la Huasteca Potosina, se clasificaron tres tipos de sistema de producción: a) El sistema agroforestal tradicional, el cual conserva la biodiversidad y sirve de reservorio para la vainilla, la cual es aprovechada junto con otras especies silvestres y cultivadas; b) el sistema agroforestal en transición, en el cual hay una disminución en la cantidad de tutores y especies aprovechables, además de la vainilla; y c) el sistema modificado, de origen reciente y tendente a la simplificación genética de la vainilla y a la reducción en el número de tutores.

La apropiación del territorio y el contexto cultural explican las características de los SAT de la Huasteca y las características particulares definen su nivel de diversificación. Destaca el hecho que los sistemas productivos de las comunidades Tének del norte de la Huasteca, se han mantenido prácticamente sin cambios, lo que contrasta con los SAT del sur, cuya tendencia es hacia la especialización, que podría

incrementar la vulnerabilidad de las comunidades. Aunque este grupo es el más dinámico en su organización y gestión de recursos y han logrado aumentar su producción y productividad, es claro que el uso regional de paquetes tecnológicos, está incidiendo en la pérdida de prácticas y conocimientos tradicionales.

Los sistemas tradicionales de cultivo huastecos "te'lom/cuayo" albergan la mayor agrobiodiversidad en la Huasteca. Estos "agrobosques" se encuentran fuertemente conservados y resguardan un conocimiento ancestral sobre el manejo de los recursos naturales de la región, mismos que están siendo simplificados lo que podría afectar su resiliencia.

La adición de extractos naturales a los medios de cultivo favoreció notablemente la formación de brotes y de plantas *in vitro*, reduciendo así el uso de fitohormonas sintéticas. El extracto de piña mostró resultados estadísticamente significativos en la formación y altura de los brotes, y en el número de yemas. La adición de 0.5 mg L⁻¹ de AIA favoreció el enraizamiento de las vitroplantas, logrando así la preaclimatación *in vitro* en suelo orgánico estéril. En el presente trabajo se logró la regeneración *in vitro* de *V. planifolia* a través de la inducción y multiplicación de brotes generados a partir de protocormos.

Los resultados obtenidos en esta investigación permitirán la propagación masiva de plantas de *V. planifolia*, y en un futuro establecer un mecanismo para transferir la tecnología a los productores de vainilla.

BIBLIOGRAFIA

- Abbas, B., Heningtyas, F., Amriati, B. 2011. In vitro seeds germination and plantlets development of *Grammatophyllum scriptum* Lindl. (Orchidaceae). *International Research Journal of Plant Science*, 2, 154-159.
- Alcorn, J. 1983. El Te'lom Huasteco: presente, pasado y futuro de un sistema de silvicultura indígena. *Biótica* 8 (3): 315-325.
- Altieri, M.A. 1991. "How best can we use biodiversity in agroecosystems?" *Outlook on Agriculture*, 20, pp.15-23.
- Altieri, M. A. 1995. *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Westview press. Boulder. Colorado.
- Altieri, M. A. 1999. *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Ecoteca 20, Ed. Nordan-comunidad.
- Altieri, M. A., Toledo, V. M. 2011. The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. *Journal of peasant studies* 38(3): 587-612.
- Altieri, M. A. 2013. *Agroecología: principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria*. Universidad de California, Berkeley. Visitado en mayo de 2013.
- Altieri, M.A., Nicholls, C. I. 2000. *Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. PNUMA, Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental.
- Arditti, J., Krikorian, A.D. 1996. Orchid micropropagation: the path from laboratory to commercialization and an account of several unappreciated investigators. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 122, 183-241.
- ASERCA. 2002. *Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. La Vainilla, un "extracto" ampliamente utilizado por la industria de alimentos en el mundo*. ASERCA-Coordinación General de Administración de Riegos de Precios. Ciudad de México.
- Ayele, Y. B., Tefera, W., Bantte, K. 2017. Enhanced Protocol Development for in vitro Multiplication and Rooting of Vanilla (*Vanilla planifolia* Andr.) Clone (Van. 2/05). *Biotechnology Journal International*, 1-11.

- Azofeifa-Bolaños, J.B., Paniagua-Vásquez, A., García-García, J.A. 2014. Importance and conservation challenges of *Vanilla* spp. (Orchidaceae) in Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 25, 189-202.
- Baca del Moral, J. 1995. "La producción piloncillera en la Huasteca potosina". *Revista de Geografía Agrícola*, 21, pp. 89-96.
- Baldwin, R. 2009. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy* 11:854-866. Doi: 10.3390/e11040854.
- Barrera-Rodríguez, A.I., Espejel-García, A.A., Herrera-Cabrera, B.E. 2016. La asociatividad de productores de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) como estrategia productiva y comercial. *Agroproductividad*, 9, 39-42.
- Barrera-Rodríguez, A., Jaramillo, J., Escobedo., Herrera B. 2011. Rentabilidad y competitividad de los sistemas de producción de vainilla (*Vanilla planifolia* j.) en la región del Totonacapan, México. *Agrociencia* 45: 625-638.
- Barrera-Rodríguez, A., Jaramillo Villanueva, J.L., Herrera Cabrera, B.H. 2010. Competitividad de la vainilla en la región del Totocanapan, México. *Competitividad de los sistemas de producción-beneficiado de vainilla en Puebla y Veracruz*. LAP LAMBERT Academic Publishig. 129 pp.
- Bawa, Perry, Bullock, Coville, Grayum. 1985. Reproductive biology of tropical lowland rain forest trees. I y II. Pollination mechanisms. *American Journal of Botany* 72: 331-356.
- Bello-Bello, J. J., G. G. García-García y L. Iglesias-Andreu. 2015. Conservación de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) bajo condiciones de lento crecimiento in vitro. *Revista Fitotecnia Mexica* 38(2):165-171.
- Benito, B. y J. Peñas. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus*. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* 7:100-119.
- Biradar, V., Inamdar, A., Shamse, A., Patil, M. S. 2016. In vitro Studies on the influence of different concentrations of growth regulators on economically important orchid, *Vanilla planifolia*. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*, 5, 311-323.

- Boege Schmidt, E. 2008. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. 344 p. Primera edición 2008. ISBN: 978-968-03-0385-4.
- Bory, S., Grisoni, M., Duval, M. F., Besse, P. 2008. Biodiversity and preservation of vanilla: present state of knowledge. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 55: 551-571.
- Boshier, D., J. E. Gordon and A. J. Barrance. 2004. Chapter 16. Prospects for Circa Situm Tree Conservation in Mesoamerican Dry-Forest Agro-ecosystems. In: Frankie, G. W., A. Mata and S. Bradleigh V. (eds.). *Biodiversity conservation in Costa Rica, Learning the lessons in a seasonal dry forest*. University of California Press, Berkeley, CA, USA. pp. 210-226.
- Cabrelli, D., Rebottaro, S., Effron, D. 2006. Caracterización del dosel forestal y del microambiente lumínico en rodales con diferente manejo, utilizando fotografía hemisférica. *Quebracho (Santiago del Estero)* n. 13. Santiago del Estero.
- Cadot, O., Dutoit, L., de Melo, J. 2006. The Elimination of Madagascar's Vanilla Marketing Board, Ten Years On. World Bank research project. 47 pp.
- Canuto, J. C. 2009. La investigación en agroecología: instituciones, métodos y escenarios futuros para la sustentabilidad rural. En *la agroecología en la construcción de alternativas hacia la sustentabilidad rural*. Morales Hernández J. (coordinador). México, Siglo XXI, 2011. Edición 1, páginas 318.
- Cassini, M. H. 2011. Ecological principles of species distribution models: the habitatmatching rule. *Journal of Biogeography* 38(11):2057-2065. Doi: 10.1111/j.1365-2699.2011.02552.x.
- Castro Bobadilla. 2008. Evaluación del cultivo y producción de la vainilla en la zona de Papantla, Veracruz, México. Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias en ecología y recursos naturales. Instituto de ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México.
- CESPVESLP. 2012. Plan Rector del Sistema Producto Vainilla del Estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México: Comité Estatal del Sistema Producto Vainilla del Estado de San Luis Potosí.

- Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2010. Vanilla planifolia (vainilla). Distribución conocida. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/vanpla_dcgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no (9 de enero de 2016).
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2009. Manejo de Vida Silvestre. Manual Técnico para Beneficiarios. Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico. Gerencia de Educación y Capacitación. Primera edición. Guadalajara, Jal., México. 34 p.
- CONAPO. 2010. Consejo Nacional de población. Recuperado el 2015, de Índice de Marginación por entidad federativa y por municipio: <http://www.conapo.gob.mx>
- COPLADE. 2010. Plan Estatal de Desarrollo 2009-2015. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México: Comité de Planeación del Desarrollo Estatal. Gobierno del Estado de San Luis Potosí.
- Damirón, R. V. 2004. El cultivo de la vainilla. Veracruz agrícola. Dirección General de Agricultura y Fitosanitaria. Gobierno del estado de Veracruz, México.
- Dawson, I. K., M. R. Guariguata, J. Loo, J. C. Weber, A. Lengkeek, D. Bush, J. Cornelius, L. Guarino, R. Kindt, C. Orwa, J. Russell and R. Jamnadass. 2013. What is the relevance of smallholders' agroforestry systems for conserving tropical tree species and genetic diversity in circa situm, in situ and ex situ settings? A review. *Biodiversity and Conservation* 22(2):301-324. Doi :10.1007/s10531-012-0429-5.
- De la Cruz, W., Dominguez, J., Viruliche, L.D. 2014. Evaluación del efecto de cinco sustratos y una dosis de Ácido α . Naftalen-acético (ANA) en la propagación de esquejes de vainilla (*Vanilla sp*). *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 3, 198-220.
- De la Fuente, Santiago. 2011. Análisis conglomerados. Madrid, España. Universidad Autónoma de Madrid.
- De Vidas, Anath. 2009. Huastecos a pesar de todo. Breve historia del origen de las comunidades teenek (huastecas) de Tantoyuca, norte de Veracruz. Centro de estudios mexicanos y centroamericanos, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Publicaciones.
- Debnath, S. C. 2009. Characteristics of strawberry plants propagated by in vitro bioreactor culture and ex vitro propagation method. *Engineering in Life Sciences*, 9, 239-246.

- Elorza Martínez P., López Herrera, M., Hernández Fuentes, A. D., Olmedo Pérez, G., Domínguez Barradas, C., Maruri García, J. M. 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 Científica UDO Agrícola*. Vol. 7, Núm. 1, 2007, pp. 228-236. Consultado el 29 de mayo de 2014.
- Espinosa-Leal, C.A., Puente-Garza, C.A., García-Lara, S. 2018. In vitro plant tissue culture: means for production of biological active compounds. *Planta*, 248, 1-18.
- Exley, R. 2010. Vanilla production, processing and packaging. International ISS Institute/DEEWR Trades Fellowship. 25 pp.
- Exley, R. 2011. Vanilla Production in Australia. En *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Editado por Havkin Frenkel D., y F. Belanger. Wiley Blackwell. 1° edición. Pp 69 – 78.
- Farrell, John y Altieri, Miguel. 1999. "Sistemas agroforestales". En: Miguel A. Altieri, John G. Farrell, Susanna B. Hecht, Matt Liebman, Fred Magdoff, Richard B. Norgaard, Thomas O. Sikor (eds). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Editorial Nordan–Comunidad. pp. 229-243.
- Figuerola, J., M. Stucchi y R. Rojas, R. 2016. Modelación de la distribución del oso andino *Tremarctos ornatus* en el bosque seco del Marañón (Perú). *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87:230-238. Doi: 10.1016/j.rmb.2016.01.008.
- Flanagan, N. and A. Mosquera. 2016. An integrated strategy for the conservation and sustainable use of native vanilla species in Colombia. *Lankesteriana* 16(2):201-218. Doi: 10.15517/lank.v16i2.26007.
- Flanagan, N., N. Ospina, L. García, M. Mendoza and H. Mateus. 2018. A new species of *Vanilla* (Orchidaceae) from the North West Amazon in Colombia. *Phytotaxa* 364(3):250–258. Doi: 10.11646/phytotaxa.364.3.4.
- Flores Castaños, O., Cuéllar Zometa, J.F., Montes de Godoy, M.E., Gámez Pastrana, M.R., González Arnao, M.T., Guevara Valencia, M., Aguilar Rivera, N. 2017. Germinación in vitro de semillas de *Vanilla planifolia* Jacks y comparación de métodos de micropropagación. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 21.

- Flores J., A., D. Reyes L., D. Jiménez G., O. Romero A., J. A. Rivera T., M. Huerta L. y A. Pérez Silva. 2017. Diversidad y perfiles bioclimáticos de *Vanilla* spp. (Orchidaceae) en México. *Revista de Biología Tropical* 65(3):975-987. Doi: 10.15517/rbt.v65i3.29438.
- García N, J., 2013. Exploración etnobotánica y alternativas de conservación de la vainilla (*Vanilla planifolia* J.) en la sierra Nororiental de Puebla, México.
- García R, A.M. 2018. In vitro Propagation of Vanilla. *Handbook of Vanilla Science and Technology*.
- Gätjens-Boniche, O., Acuña-Matamoros, C.L., Montero-Carmona, W., Díaz, C., Torres, S. 2018. Propagación masiva y formación de callos protocórmicos de vainilla a partir de ápices radicales. *Polibotánica*. 45: 157-180.
- Gaudencio-Sedano C., Manzo-Alejandro G., Reymundo-Roldán H, Castellanos J.A. 2015. Propagación in vitro de orquídeas y otras ornamentales. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*. 12: 451-456.
- Gnasekaran, P., Poobathy, R., Mahmood, M., Samian, M.R., Subramaniam, S. 2012. Effects of complex organic additives on improving the growth of PLBs of *Vanda Kasem's Delight*. *Australian Journal of Crop Science*, 6, 1245.
- Gobierno del Estado de San Luis Potosí. 2014. Tancanhuitz. Monografía de los municipios de México. Coordinación Estatal para el Fortalecimiento Institucional de los Municipios.
- González de Molina, M. 2011. Introducción a la agroecología. Cuadernos técnicos SEAE, serie agroecología y ecología agraria. Sociedad Española de Agricultura Española. 37 pp.
- González Jácome, A. 2004. Ambiente y cultura en la agricultura tradicional de México: casos y perspectivas. *Ciencia Ergo* 11 (2): 153-163.
- Gretzinger N., Dean, D. 2011. Vanilla Production in the Context of Culture, Economics, and Ecology of Belize. En *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Editado por Havkin Frenkel D., y F. Belanger. Wiley Blackwell. 1° edición. Pp 50 – 67.
- Hair, J. F., et al. 2004. Análisis multivariante. 5a edición. Prentice Hall Iberia. Madrid, España.
- Hart, R. 1985. Conceptos básicos sobre agroecosistemas. Serie Materiales de Enseñanza no. 1. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. 159 pp.

- Hecht, S. 1995. La evolución del pensamiento agroecológico. En agroecología, bases científicas para una agricultura sustentable. Miguel A. Atieri. 1995. Editorial nordan comunidad.
- Herlihy P. and G. Knapp 2003. Maps of, by, and for the Peoples of Latin America. Human Organization. Journal of the society for applied anthropology 62(4):303-314. Doi: 10.17730/humo.62.4.8763apjq8u053p03.
- Hernández, C. G. 2007. "Tenek lab teje. Etnicidad y transformaciones agrarias en el ejido de la Concepción, Tanlajas, San Luis Potosí". Tesis El Colegio de San Luis, A.C. San Luis Potosí, S.L.P.
- Hernández Hernandez, J. 2011. Mexican Vanilla Production. En Handbook of Vanilla Science and Technology. Editado por Havkin Frenkel D., y F. Belanger. Wiley Blackwell. 1° edición. Pp 3 – 25.
- Hernández, J. 2011. Paquete tecnológico vainilla (*Vanilla planifolia* Jackson). Establecimiento y mantenimiento (Programa Estratégico para el desarrollo Rural Sustentable de la Región Sur-Sureste: Trópico Húmedo). Tlapacoyan, Veracruz: SAGARPA-INIFAP.
- Hernández, Juan, 2011. Mexican Vanilla Production. En Havkin-Frenkel D y Belanger, F.C. eds. Handbook of Vanilla Science and Technology. Wiley-Blackwell. p. 3-24.
- Hernández-Ruiz. J., B. E. Herrera-Cabrera, A. Delgado-Alvarado, V. M. Salazar-Rojas, Á. Bustamante-Gonzalez, J. E. Campos-Contreras y J. J. Ramírez-Juarez. 2016. Distribución potencial y características geográficas de poblaciones silvestres de *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) en Oaxaca, México. Revista de Biología Tropical 64(1):235-246. Doi: 10.13140/RG.2.1.2744.3601. Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 10 (55) Septiembre –Octubre (2019)
- Hernández Xolocotzi, E. 1988. La agricultura tradicional en México. Comercio exterior. 38 (8): 673-678.
- Herrera, B.E., Hernández, J. y Delgado, A. 2016. "Variación de aroma en *Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews silvestre y cultivada". Agroproductividad, 9, vol 1, pp. 10-17.
- Herrera-Cabrera, B. E. 2013. Estrategia de investigación aplicada para el fortalecimiento, innovación y competitividad de la producción de vainilla en México. Informe Técnico No. 1 Proyecto 2012-04-190442. Puebla, México: SAGARPA-CONACYT. Colegio de Postgraduados.

- Herrera-Cabrera, B. E., V. M. Salazar-Rojas, A. Delgado-Alvarado, J. Campos-Contreras and J. Cervantes-Vargas. 2012. Use and conservation of *Vanilla planifolia* J. in the Totonacapan region, México. *European Journal of Environmental Sciences* 2(1):43-50. Doi: 10.14712/23361964.2015.37.
- INEGI. 2000. Indicadores de desarrollo sustentable en México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geográfica. Recuperado el 22 de Mayo de 2015, de Censo de Población y Vivienda 2010
- INEGI. 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geográfica. Recuperado el 22 de Mayo de 2015, de Censo de Población y Vivienda 2010.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2017. Anuario estadístico y geográfico del estado de San Luis Potosí. Aguascalientes, Ags., México. 623 p. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2018. Metadatos geográficos. <https://www.inegi.org.mx/datos/?t=0150000000000000> (3 de mayo de 2018).
- Jacinto-Flores, N. E., L. A. Sánchez-González and R. C. Almazán-Núñez. 2017. Patrones de distribución y zonas prioritarias para la conservación de la avifauna de la costa del Pacífico de Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88(4):960–977. Doi: 10.1016/j.rmb.2017.10.038.
- Jaramillo, J.L., Escobedo, J.S., Barrera, A. 2012. Competitividad de Sistemas de Beneficiado de Vainilla (*Vanilla Planifolia* J.) en la Región del Totonacapan, México. *Panorama Socioeconómico*, 30, 80-93.
- Kelso-Bucio, H.A., Bâ, K.M., Sánchez-Morales, S., Reyes-López, D. 2012. Estimación in situ del Kc ini de la vainilla (*Vanilla planifolia* A). *Agrociencia*, 46, 499-506.
- Kitsaki, C.K., Zygouraki, S., Ziobora, M., Kintzios, S. 2004. In vitro germination, protocorm formation and plantlet development of mature versus immature seeds from several *Ophrys* species (Orchidaceae). *Plant cell reports*, 23, 284-290.
- Knudson, L. 1950. Germination of Seeds of Vanilla. *American Journal of Botany*. 37(3): 241.
- Kourí, E. 2000, "La vainilla de Papantla: agricultura, comercio y sociedad rural en el siglo XIX". *Signos históricos II.3.*, pp. 105-130.

- Loiselle, B. A., C. A. Howell, C. H. Graham, J. M. Goerck, T. Brooks, K. G. Smith and P. H. Williams. 2003. Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. *Conservation Biology* 17:1591-1600. Doi: 10.1111/j.1523-739.2003.00233.x.
- Lozano-Rodríguez, M.Á., Menchaca-García, R.A., Alanís-Méndez, J.L., Pech-Canché, J.M. 2015. Cultivo in vitro de yemas axilares de *Vanilla planifolia* Andrews con diferentes citocininas. *Revista Científica Biológico-Agropecuaria Tuxpan*, 4, 1153–1165.
- Lubinsky, P., S. Bory, J. Hernández, S. Kim y Gómez-Pompa, A. 2008. "Origins and Dispersal of Cultivated Vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. [Orchidaceae])". *Economic Botany*, 62, vol. 2, pp. 127-138.
- Lugo, H.L. 1955. The effect of nitrogen on the germination of *Vanilla planifolia*. *American Journal of Botany*, 679-684.
- Luna-Guevara, J.J., Ruiz-Espinosa, H., Herrera-Cabrera, E.B., Navarro-Ocaña, A., Delgado-Alvarado, A., Luna-Guevara, M.L. 2016. Variedad de microflora presente en vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) relacionados con procesos de beneficiado. *Agroproductividad*, 9, 3-9.
- Maceda Rodríguez, A. 2015. Distribución potencial, caracterización morfológica y conocimiento tradicional de *Vanilla planifolia* J. en la región de la Huasteca Hidalguense, México. Tesis. Colegio de Postgraduados Campus Puebla.
- Madueño Paulette, R. 2000. La Huasteca Hidalguense: pobreza y marginación social acumulada. *Sociológica*. 15(44): 97-131.
- March, I. J., M. A. Carvajal, R. M. Vidal, J. E. San R. y G. Ruiz. 2009. Planificación y desarrollo de estrategias para la conservación de la biodiversidad. In: Dirzo, R, R. González e I. J. March. (comps.). *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio. México, D.F., México. pp. 545-573.
- Mateo, R. G., A. M. Felicísimo y J. Muñoz. 2011. Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* 84:217-240. Doi: 10.4067/S0716-078X2011000200008.
- Menchaca-García R.A. 2011. Manual para la propagación de orquídeas. 1st ed. Comisión Nacional Forestal. México.

- Menchaca-García, R.A., Ramos, J.M., Moreno, D., Luna, M., Mata, M., Vázquez, L.M., Lozano, M.A. 2011. Germinación in vitro de híbridos de *Vanilla planifolia* y *V. pompona*. *Revista colombiana de biotecnología*, 13, 80-84.
- Miranda Aragón, L., Treviño Garza, E., Jimenez Perez, J., Aguirre Calderón, E., González Tagle, M., Pompa García, M. 2013. Tasa de deforestación en San Luis Potosí, México (1993-2007). *Revista Chapingo*. 19 (2): 201-215.
- Morales Hernández, J. 2013. Cambio climático y construcción de alternativas: hacia una agricultura sustentable para enfriar el planeta. *Observatorio del Desarrollo, investigación, reflexión y análisis*. Vol. II No. 7 julio-septiembre 2013. Unidad Académica en estudios del desarrollo. Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Morales, V., Chirveches, M. 2010. Gestión sustentable de la diversidad biocultural. Estrategias y metodologías de incidencia política para vivir bien. AGRUCO. Bioandes. Plural Editores. Bolivia.
- Moreno-Calles, A. I., V. M. Toledo y A. Casas. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences* 91(4):375-398. Doi: 10.17129/botsci.419.
- Moreno Calles, A. I., Galicia Luna, V., Casas, A., Toledo, V. M., Vallejo Ramos, M., Santos Fita, D., Camou Guerrero, A. 2014. La Etnoagroforestería: el estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología* 12 (3), 2014.
- Moreno-Martínez, D., y Menchaca-García, R.A. 2007. Efecto de los compuestos orgánicos en la propagación in vitro de *Stanhopea tigrina* Bateman (Orchidaceae). *Foresta veracruzana*, 9, 27-32.
- Morwal, G., Jadhav, S.J., Shinde, A., Mandge, N., Mandge, N. 2015. Conservation of *Vanilla Planifolia* by in vitro micropropagation method. In Special issue national conference "ACGT (pp. 13-14).
- Muñoz, J. and M. A. Felicísimo. 2004. A comparison between some statistical methods commonly used in predictive modeling. *Journal of Vegetation Science* 15:285-292. Doi:10.1111/j.1654-1103.2004.tb02263.x.
- Nascimento, T.A.D., Furtado, M.D.S.C., Pereira, W.C., Barberena, F.F.V.A. 2019. *Vanilla bahiana* Hoehne (Orchidaceae): studies on fruit development and new perspectives into crop improvement for the *Vanilla planifolia* group. *Biota Neotropica*, 19.

- Nates Parra. 2005. Abejas silvestres y polinización. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica). 75: 7-20.
- Nielsen Chat, J. R. 2007. The story of vanilla. Nielsen Massey Vanillas. 19 pp.
- Nongrum, I., Kumaria, S., Tandon, P. 2007. Influence of in vitro media on asymbiotic germination, plantlet development and ex vitro establishment of *Coelogyne ovalis* Lindl. and *Coelogyne nitida* (Wall. ex Don) Lindl. Proceedings-Indian National Science Academy, 73, 205.
- Norma Oficial Mexicana "Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo". [Consultado 21 noviembre 2019] 2010. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091.
- Obregón, R., S. Arenas, F. Gil, D. Jordano y J. Fernández. 2014. Biología, ecología y modelo de distribución de las especies del género *Pseudophilotes* Beuret, 1958 en Andalucía (Sur de España) (Lepidoptera: Lycaenidae). SHILAP Revista de Lepidopterología 42(168):501-516.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2017. Directrices voluntarias para la conservación y el uso sostenible de parientes silvestres de cultivos y plantas silvestres comestibles. Roma, Italia. 110 p.
- Paredes, D., A. Ramírez y M. Martínez. 2011. Distribución y representatividad de las especies del género *Crotalus* en las áreas naturales protegidas de México. Revista Mexicana de Biodiversidad 82(2):689-700. Doi: 10.22201/ib.20078706e.2011.2.464.
- Pedroso-de-Moraes, C., Souza-Leal, T. D., Panosso, A. R., & Souza, M. C. D. 2012. Effect of chemical scarification and concentration of nitrogen on the germination and in vitro development of *Vanilla planifolia* Jack ex Andr. (Orchidaceae: Vanilloideae). Acta Botanica Brasilica, 26, 714-719.
- Pérez Martínez, A. 2005. La obra de Stuart Kauffman. Aportaciones a la biología del siglo XXI e implicaciones filosóficas. Universidad complutense de Madrid. Facultad de filosofía. 194 pp.
- Peters, E., S. Arizaga, C. Martorell, R. Zaragoza y E. Ezcurra. 2014. Distribución geográfica y estado de conservación de las poblaciones de *Mammillaria pectinifera*. Revista Mexicana de Biodiversidad 85(3):942-952. Doi: 10.7550/rmb.36338.

- Pichardo González, B. 2006. La revolución verde en México. *Agrária, São Paulo*, 4: 40-68.
- PRSPVSLP. Plan Rector para la Competitividad del Sistema Producto Vainilla del Estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí 2009-2012, C. E. (2012).: SAGARPA, SEDARH, Sistema Producto.
- Rao, S. R., & Ravishankar, G. A. 2002. Plant cell cultures: chemical factories of secondary metabolites. *Biotechnology advances*, 20, 101-153.
- Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (Remib). 2018. Red Mundial de información sobre Biodiversidad. Conabio. http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html (26 de abril de 2018).
- Reyes H., H., K. L. Trinidad G. y B. E. Herrera C. 2018. Caracterización del ambiente de los vainillales y área potencial para su cultivo en la Huasteca Potosina. *Biotecnia* 20 (3):49-57. Doi: 10.18633/biotecnia.v20i3.714. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* Vol. 10 (55) Septiembre –Octubre (2019).
- Reyes H., H., N. Montoya T., J. Fortanelli M. M. Aguilar-Robledo y J. García. 2013. Metodologías participativas aplicadas al análisis de la deforestación del bosque de niebla en San Luis Potosí, México. *Bios et forets des tropiques* 318(4):27-39. Doi:10.19182/bft2013.318.a20515.
- Reyes H., H., M. Aguilar R., J. R. Aguirre R. e I. Trejo V. 2006. Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México. *Investigaciones Geográficas* 59:26-42. Doi:10.14350/rig.30019.
- Ricker, M. 2014. Manual para realizar las colectas botánicas del Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Comisión Nacional Forestal. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F., México. 42 p.
- Rodríguez-Montoya, L. 2002. Micropropagación de orquídeas silvestres (*Encyclia oxypetala* (Lindl.) Acuña y *Encyclia phoenicea* (Lindl.) Neum) (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas).
- Roux-Cuvelier, M. y Grisoni, M. 2011. Conservation and Movement of Vanilla Germplasm. En: Odoux, E. y Grisoni, M (eds). *Vanilla, medicinal and aromatic plants. Industrial profiles*. CRC Press. Taylor and Francis group.

- Ruvalcaba, J., Zevallos, P., Manuel, J. 1996. La Huasteca en los albores del tercer milenio. Textos, temas y problemas, México, CEMCA, IPN, CIESAS, CIHSLP e INI.
- Sabogal, C., de Jong, W., Pokorny, B., Louman, B. 2008. Manejo forestal comunitario en America Latina. Experiencias, lecciones aprendidas y retos para el futuro. Belém, Brasil: CIFOR-CATIE.
- Sáez Domingo, A. M. 2010. La agricultura y su evolución a la agroecología. Obra propia. Editorial, S.L. Valencia. 66 pp.
- SAGARPA. 2015. Sistemas agroforestales. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Documentos de consulta.
- SAGARPA. 2017. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Vainilla Mexicana.
- Salazar-Rojas, V. M., B. E. Herrera-Cabrera, A. Delgado y J. Campos. 2014. Planeación estratégica para la conservación del recurso genético vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews. Orchidaceae) en su centro de domesticación, región Totonacapan, México. In: Araya F., C., R. Cordero S., A. Paniagua V y J. B. Azofeifa B. (eds). Seminario Internacional de Vainilla. Promoviendo la investigación, la extensión y la producción de vainilla en Mesoamérica. Primera edición. INISEFOR. Heredia, Costa Rica. 194 p.
- Santillán-Fernández, A., Salas-Zúñiga, A., Vásquez-Bautista, N. 2018. La productividad de la vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) en México de 2003 a 2014. Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 9 (47). DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.165>
- Schlüter, P. M., M. A. Soto A. and S. A. Harris. 2007. Genetic Variation in *Vanilla planifolia* (Orchidaceae). *Economic Botany* 61(4): 328-336. Doi: 10.1663/0013-0001(2007)61[328:GVIVPO]2.0.CO;2.
- Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos (Sedarh). 2012. Plan Rector para la Competitividad del Sistema Producto Vainilla del estado de San Luis Potosí. Comité Estatal del Sistema Producto Vainilla del Estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí, SLP., México. 95 p.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Sermarnat). 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas.

- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2018. Ley General de Vida Silvestre. Última reforma. Cámara de Diputados. Diario Oficial de la Federación. 19 de enero 2018. México, D.F. 68 p.
- SIAP. 2018. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://www.gob.mx/siap>
- Soto A., M. 2003. Vanilla. In: Pridgeon, A.M., P.J. Cribb, M.W. Chase y F.N. Rasmussen (eds.) *Genera Orchidacearum*. Oxford University Press. Oxford UK. pp. 321–334.
- Soto A., M. and R. L. Dressler. 2010. A revision of the Mexican and Central American species of *Vanilla plumier* ex Miller with a characterization of their region of the nuclear ribosomal DNA. *Lankesteriana* 9(3):285-354. Doi: 10.15517/LANK.V0I0.12065.
- Soto Arenas, M. A., 1999. Filogeografía y recursos genéticos de las vainillas de México. Instituto Chinoín AC. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. J101. México D. F. 106pp.
- Soto Arenas, M. A., 2006. La vainilla: retos y perspectivas de su cultivo. CONABIO. *Biodiversitas* 66:1-9.
- Soto Arenas, M. A. 2009. Recopilación y análisis de la información existente sobre las especies mexicanas del género *Vanilla*. Herbario AMO, Instituto Chinoín, A.C.
- Spinoso-Castillo, J.L., Chavez-Santoscoy, R.A., Bogdanchikova, N., Pérez-Sato, J.A., Morales-Ramos, V., Bello-Bello, J.J. 2017. Antimicrobial and hormetic effects of silver nanoparticles on in vitro regeneration of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) using a temporary immersion system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 129, 195-207.
- Thejaswini, R., Narasimhan, S. 2017. Undefined organic additives stimulates in vitro seed germination of *Dendrobium ovatum* (Willd.) Kraenzl, a medicinal orchid. *Int J Pharma Med Biol Sci*, 6, 29-31.
- Tobar y Espinosa 2008. "Estructura de abordaje del mercado mexicano con fines de exportación de la vainilla (*vainilla planifolia andrews*) para la empresa inversiones perdomo & cía s. En c." Universidad de la Salle facultad de administración de empresas agropecuarias Bogotá D.C.
- Toledo, V. M. 2015. Red etnoecología y patrimonio biocultural de México.

- Toledo, V. M., Alarcón, P., Barón, L. 1999. Estudiar lo rural desde una perspectiva interdisciplinaria: una aproximación al caso de México. *Estudios agrarios* 12: 55-90.
- Toledo, V., Barrera-Bassols, N. 2008. La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Icaria Editorial. Barcelona, España.
- Torres-González, M.J., Aguirre-Medina, J.F., Iracheta-Donjuan, L. 2011. Germinación de semilla y obtención de plántulas de *Vanilla planifolia* Andrews en condiciones in vitro. *Agroproductividad*, 4, 3-9.
- Trinidad-García, K.L. 2014. Caracterización agroecológica de la vainilla (*Vanilla* spp.) en la Huasteca Potosina. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P., México. 105 pp.
- Vara, I. y Cuéllar, M. 2013. "Biodiversidad cultivada: una cuestión de coevolución y transdisciplinariedad". *Ecosistemas*, 22, vol, 1, pp. 1-5.
- Varela Quiróz, E. 2011. *Vanilla Production in Costa Rica*. En *Handbook of Vanilla Science and Technology*. Editado por Havkin Frenkel D., y F. Belanger. Wiley Blackwell. 1° edición. pp 40-49.
- Vargas Hernández, J., Gámez Velázquez, H.G. 2014. Producción de vainilla en tres sistemas de producción en la Sierra Huasteca Potosina. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 31 pp.
- Velázquez-Kú, N.V., Quijano-Ávila, J. C., Rodríguez-Ávila, N.L. 2016. Análisis de diferentes sustratos en la germinación y multiplicación in vitro de orquídeas silvestres del estado de Campeche. *Revista del centro de graduados e investigación*, 31, 27-31.
- Villaseñor, J. L. y O. Téllez-Valdés. 2004. Distribución potencial de las especies del género *Jefea* (Asteraceae) en México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica* 75(2):205–220.
- Xochipa M, R. C., Delgado A. A., Herrera C, B. E., Escobedo G, J. S. y Arévalo G. L. 2016. "Influencia del proceso de beneficiado tradicional mexicano en los compuestos del aroma de *Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews". *Agroproductividad*, 9, vol. 1, pp. 55-62.
- Yam, T.W., Arditti, J. 2009. History of orchid propagation: a mirror of the history of biotechnology. *Plant Biotechnology Reports*, 3, 1.

Zuraida, A., Fatin Liyana Izzati, K., Nazreena, O., Wan Zaliha, W., Che Radziah, C., Zamri, Z., Sreeramanan, S. 2013. A Simple and Efficient Protocol for the Mass Propagation of *Vanilla planifolia*. *American Journal of Plant Sciences*, 4: 1685–1692.