



## REVISIÓN BREVE

## Insectos polinizadores en el género *Vanilla*. Caso de estudio *Vanilla planifolia* (Jacks ex. Andrews)

Brisa Marina Pérez-Rodas, Miguel Salvador-Figueroa, Lourdes Adriano-Anaya, Isidro Ovando-Medina, Ana Gabriela Coutiño-Cortés\*

Instituto de Biociencias, Universidad Autónoma de Chiapas. Tapachula, Chiapas, México.

### Resumen

*Vanilla planifolia* Jacks ex. Andrews, es una planta de importancia comercial de la cual se obtiene el extracto de Vainilla. Sin embargo, debido a la baja tasa de polinización por insectos se han realizado diversas técnicas de polinización manual desde hace 180 años, lo que ha ocasionado una pérdida de variabilidad genética que pone en riesgo a las plantaciones comerciales. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue realizar un análisis de la información disponible acerca de los insectos polinizadores que se han asociado a *Vanilla planifolia*. En varios estudios se ha reportado la participación de abejas del género *Euglossa* como polinizadores de *Vanilla planifolia*, y algunos otros visitantes recurrentes que podrían ser polinizadores potenciales.

### Palabras clave:

Abejas  
Euglossini  
Recompensa floral  
Vainilla

### Keywords:

Bees  
Euglossini  
Floral reward  
Vanilla

## Pollinating insects in the genus *Vanilla*. Case study: *Vanilla planifolia* (Jacks ex. Andrews)

### Abstract

*Vanilla planifolia* Jacks ex. Andrews, is a plant of commercial importance from which the Vainilla extract is obtained. However, due to the low rate of pollination by insects, manual pollination techniques have been carried out for 180 years, which has caused a loss of genetic variability that puts commercial plantations at risk. Based on the above, the objective of this work was to carry out an analysis of the available information about pollinating insects that have been associated with *Vanilla planifolia*. In several studies, the participation of bees of the genus *Euglossa* as pollinators of *Vanilla planifolia*, and some other recurring visitors that could be potential pollinators, have been reported.

### \* Autor para correspondencia:

Instituto de Biociencias,  
Universidad Autónoma de  
Chiapas.  
Boulevard Príncipe Akishino  
sin número, Colonia  
Solidaridad 2000, CP.  
30798.  
Tapachula, Chiapas, México.  
Teléfono: + 52 9626427972.  
Correo-electrónico:  
ana.cortes@unach.mx

## 1. Introducción

*Vanilla* es un género pantropical de la familia Orchidaceae que agrupa cerca de 100 especies (Pérez-Castro, 2013). Estas plantas se presentan en muchas áreas tropicales como hemiepipítas, monopodiales, con flores relativamente grandes en tonos verdes y amarillos. Dichas flores son efímeras, pues por lo general duran menos de un día (Díaz-Bautista et al., 2018). La vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex. Andrews) es una de las especies agrícolas de mayor valor comercial, ya que de ella se obtiene la popular esencia de vainillina, utilizada ampliamente en diversas industrias (Rodríguez-Deméneghi et al., 2023). Los frutos de *Vanilla* son vainas carnosas y cilíndricas de hasta 25 cm de largo, las cuales, tras pasar por procesos de curado, son comercializadas (Chambers et al., 2019).

Se ha reportado que solo tres especies de vainilla se cultivan de forma comercial, dentro de las características del género *Vanilla*, se ha descrito que estas son plantas de crecimiento hemiepífito o trepador, es decir, crecen sobre un árbol. Asimismo, se ha señalado que requieren condiciones específicas de temperatura, luz, un rango de altitud determinado, elevada humedad, entre otros factores (Soto-Arenas y Dressler, 2010). Además, su polinización es compleja y en la mayoría de los casos, se realiza de forma manual debido a que las diversas especies de vainilla carecen de recompensas florales. Por lo tanto, utilizan su similitud morfológica con otras especies de orquídeas y sus aromas para atraer a los polinizadores. Diferentes autores han identificado abejas de los géneros *Euglossa* y *Eulaema* como posibles dispersores de polen en *Vanilla* spp., sin embargo, aún no se ha logrado determinar las especies específicas. Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue realizar un análisis de la información disponible acerca de los insectos polinizadores asociados a *Vanilla planifolia*.

## 2. Vainilla, usos y aplicaciones

### 2.1. Usos de la vainilla

*V. planifolia* es una orquídea que produce frutos aromáticos comestibles y se ha convertido en el aromatizante más popular a nivel mundial. Ampliamente utilizada en el arte culinario, particularmente en la repostería y la elaboración de helados, así como en diversas industrias como la refresquera, vinícola, tabacalera y de perfumería, entre otras. Por este motivo, la vainilla se considera uno de los productos agrícolas con mayor valor comercial en el mundo (De la Cruz-Medina et al., 2009). El glucósido presente en las vainas de vainilla se convierte a glucosa durante el proceso de curado, y posteriormente se obtiene vanillina que representa apenas el 2% de su peso seco (Gallage et al., 2018). Investigaciones recientes han demostrado que la vainillina posee efectos antiinflamatorios, antitumorales, antioxidantes (Kim et al., 2019). Asimismo, se ha descubierto que la vainillina posee una potente propiedad antimicrobiana, lo que permite su uso como conservante natural de alimentos (Anuradha et al., 2013; Kim et al., 2019).

### 2.2. Países productores

*V. planifolia* se encuentra en las regiones tropicales de América; sin embargo, su principal área de producción está localizada en Totonacapan, una región integrada por 20 municipios del estado de Veracruz y 19 del estado de Puebla (Luis-Rojas et al., 2020), donde se produce cerca del 95% de vainilla mexicana (Retes-Mantilla et al., 2015). Los principales importadores de vainilla son Estados Unidos, Francia y Alemania (FAO, 2018; Retes-Mantilla et al., 2015). A pesar de que México es el centro de origen y diversidad de la vainilla y cuenta con agroecosistemas idóneos para su crecimiento y desarrollo, no es el principal productor a nivel mundial (Bory et al., 2008b; FAO, 2018; Lubinsky et al., 2008). Los mayores productores de vainilla incluyen países tropicales como Indonesia, Papúa Nueva Guinea, China y Madagascar (Quintana y Aguilar, 2020), siendo este último responsable de más de la mitad de la producción mundial (Wilde et al., 2019).

### 2.3. Volumen de producción

La producción mundial de vainilla se estima entre 5, 000 y 10, 000 ton anuales, de las cuales aproximadamente el 95% provienen de *V. planifolia*, siendo Madagascar e Indonesia los principales productores (Díez-Gómez, 2015). En el año 2018, la producción global alcanzó las 7, 575 ton, de las cuales México contribuyó con solo 495 ton (FAO, 2018). Entre 2003 y 2019, la producción nacional de vainilla aumentó de 257 ton a 521 ton, influenciada principalmente por las limitaciones en la producción de Madagascar derivadas de desastres naturales (SIAP, 2020).

Un factor crítico en la producción de vainilla es el bajo rendimiento de las vainas, lo que limita su aprovechamiento. Se estima que, para obtener 1 kg de extracto de vainilla natural, son necesarios aproximadamente 500 kg de vainas frescas, equivalentes a la polinización de 40, 000 flores. Este rendimiento tan bajo implica que únicamente el 1% de la producción mundial de vainilla procede directamente de las vainas, lo cual explica su elevado costo en el mercado (Hansen et al., 2009).

A pesar de la importancia económica y sensorial de la vainilla, la producción mundial de extracto natural asciende apenas a unas 100 ton. Este déficit se suple con sustitutos sintéticos elaborados a partir de eugenol, cumarina y subproductos de fermentación aromática, los cuales dominan el mercado global (Ciriminna et al., 2019; Retes-Mantilla et al., 2015).

### 2.4. Morfología de la planta

*Vanilla* es un género que comprende más de 120 especies y pertenece a la familia Orchidaceae (Chaipanich et al., 2020; Wilde et al., 2019). En muchas áreas tropicales, las especies del género *Vanilla* se desarrollan como lianas y hemiepipítas. Este género es ampliamente conocido por el cultivo de *V. planifolia* (Lubinsky et al., 2008); sin embargo, las especies no comercializadas representan fuentes valiosas de rasgos útiles para el mejoramiento en cuanto a resistencia a

enfermedades, calidad aromática y autopolinización (Anuradha et al., 2013).

Por lo general, la floración en las plantas de vainilla ocurre durante el tercer o cuarto año después de la siembra. En cuanto a las condiciones climáticas necesarias para su cultivo, se requieren zonas con clima cálido-húmedo, una temperatura media anual de entre 21 °C y 32 °C, y una humedad relativa del 80% o más (Quintana y Aguilar, 2020). *V. planifolia* crece preferentemente a aproximadamente 750 m.s.n.m., en regiones con sustrato kárstico que reciben más de 2,500 mm de precipitación anual (Flores-Jiménez et al., 2017; Quintana y Aguilar, 2020). También prospera en suelos ricos en humus y nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, con un pH entre 6 y 7. Se requiere sombra parcial proporcionada por arbustos o árboles que puedan servir como soporte, en caso contrario, la planta produce enredaderas con hojas más pequeñas, tallos delgados y una floración y fructificación reducidas (De la Cruz et al., 2014).

Anuradha et al. (2013) reportaron que *V. planifolia* puede alcanzar una altura de hasta 150 cm, lo que facilita la polinización manual y la recolección; sin embargo, en condiciones óptimas, puede crecer hasta 15 m. Esta especie presenta un tallo carnoso, succulento, flexible y quebradizo. Los tallos, que son largos, cilíndricos y monopodiales, pueden ser simples o ramificados. Tienen un diámetro de entre 1 y 2 cm, son de color verde oscuro, poseen estomas y son fotosintéticos. Según lo descrito por Soto-Arenas y Dressler (2010), los entrenudos miden entre 5 y 15 cm de largo. Presenta hojas grandes, planas, lisas, gruesas y carnosas, con forma oblongo-elíptica a lanceolada y color verde brillante, estas hojas crecen de forma alternada y tienen un tamaño de entre 8 y 25 cm de largo y de 2 a 8 cm de ancho. La punta de las hojas es aguda o acuminada, mientras que la base es ligeramente redondeada; el pecíolo es corto, grueso y presenta un canal en la parte superior (Anuradha et al., 2013; De la Cruz et al., 2014).

Las plantas de vainilla requieren entre dos y tres años para florecer después de la plantación de los esquejes. Las inflorescencias emergen como protuberancias de color verde claro en las axilas de las hojas, generalmente ubicadas en la parte superior de la planta, y miden entre 5 y 8 cm de largo (Anuradha et al., 2013). Las flores de vainilla son efímeras y, por lo general, su duración no excede un día o apenas unas pocas horas (Anuradha et al., 2013; Chaipanich et al., 2020). En cuanto a su morfología, se ha descrito como diversa, lo que sugiere que varios vectores bióticos podrían intervenir en la polinización de esta especie. Las abejas han sido identificadas como sus polinizadores naturales, atraídas por flores cuya apariencia es similar a otras especies de orquídeas que ofrecen recompensas florales. Las flores de vainilla presentan una tonalidad amarillo verdoso pálido, son grandes, cerosas y fragantes, con un diámetro aproximado de 10 cm y un pedúnculo muy corto.

Los sépalos y pétalos son similares en color y forma, aunque los pétalos son ligeramente más pequeños y forman parte del perianto; las flores poseen tres sépalos oblongo-lanceolados,

de entre 4 y 7 cm de largo, y de uno a 1.5 cm de ancho. El pétalo inferior está modificado en un labelo con forma de trompeta, más corto que los demás, con dimensiones de entre 4 y 5 cm de largo y entre 1.5 y 3 cm en su punto más ancho (Figura 1). La punta trilobulada del labelo tiene una tonalidad más oscura y presenta bordes irregularmente dentados. El ginostemo también conocido como columna mide 3 a 5 cm de largo y está adherido al labelo en la mayor parte de su longitud. Es piloso en la superficie interna, llevando en su punta el único estambre que contiene las 2 masas de polen o polinias cubiertas por un estigma en forma de gorro. El estigma de forma cóncava y textura pegajosa, está separado del estambre por el delgado rostelo en forma de colgajo (Díaz-Bautista et al., 2018).

La fruta es una cápsula reconocida como vaina, que mide de 10 a 25 cm de largo y de 5 a 15 mm de diámetro y es reconocida como vaina. Alcanza su tamaño final entre 10 y 15 semanas después de la polinización, los cambios en la concentración de los compuestos químicos precursores del sabor comienzan a ser significativos cuando la coloración de la fruta cambia a amarillenta, por esta razón los productores enfrentan dificultades para predecir el momento óptimo de cosecha, un factor crítico para garantizar la calidad aromática de la vainilla curada (Quintana y Aguilar, 2020; Reyes-López et al., 2014).



Figura 1. Estructura floral de *Vanilla* spp.

### 3. Problemáticas de cultivo

De la *Vanilla* se desconoce en gran medida su variación genética, así como sus interacciones específicas con polinizadores y hongos micorrízicos, su biología reproductiva especializada, requerimientos nutricionales,

manejo del cultivo, control de plagas y enfermedades, entre otros. El desconocimiento de todos estos tópicos impide realizar acciones de conservación, potencializar las características de calidad para mejorar los beneficios a los usuarios de ese recurso genético (Herrera-Cabrera et al. 2012), identificar y seleccionar clones de *V. planifolia* con características fitoquímicas específicas que se expresan en el aroma (Salazar-Rojas et al., 2012), o que, de forma indirecta, mejoran el contenido de metabolitos secundarios relacionados con la defensa contra plagas y enfermedades.

Una de las principales limitantes del cultivo de vainilla para su aprovechamiento comercial es el crecimiento tardío que presentan las plantas, las cuales requieren entre tres y cuatro años para florecer. Este cultivo enfrenta diversos problemas en su reproducción, como baja viabilidad de las semillas, floración efímera, desconocimiento de las interacciones micorrízicas específicas y ausencia de polinizadores. Soto-Arenas (2006) señaló que las condiciones climáticas del trópico exponen a las plantas a enfermedades que pueden diezmar poblaciones completas debido a la baja variabilidad genética de la especie. Es importante destacar que las plantas cultivadas en sistemas comerciales requieren polinización manual para garantizar la producción, lo que se atribuye a la escasa presencia de insectos polinizadores (Chambers et al., 2019). No obstante, existen poblaciones silvestres de otras especies del género *Vainilla* que han sido menos estudiadas y que podrían ofrecer información valiosa sobre los polinizadores naturales; esta información podría ser de utilidad para llevar a cabo acciones de conservación y reproducción de los insectos (Chaipanich et al., 2020; Gigant et al., 2014; Lubinsky et al., 2006; Soto-Arenas y Dressler, 2010).

#### 4. Polinización en *Vanilla* spp.

##### 4.1. Alogamia

Las plantas con flores han desarrollado una amplia variedad de estrategias de polinización que garantizan una transferencia eficiente de polen, promoviendo así su seguridad reproductiva. En la familia Orchidaceae, la mayoría de las especies dependen de vectores bióticos, como insectos y roedores, para lograr su polinización; reportando una notable diversidad de insectos polinizadores, incluidos lepidópteros, dípteros, himenópteros y ortópteros, así como aves, que desempeñan un papel crucial en el proceso de polinización de estas orquídeas (Bory et al., 2008a; Chaipanich et al., 2020; Costa, 2009; Dos Anjos et al., 2016; Märgäoan et al., 2019). Pansarin y Pansarin (2014) señalaron que la mayoría de las especies de orquídeas son polinizadas por abejas, las cuales son atraídas mediante diversos recursos o engañadas a través de diferentes estrategias florales. La recompensa floral más común producida por las orquídeas es el néctar, el cual es recolectado por numerosos grupos de himenópteros. Además del néctar, se han documentado otras recompensas florales como el polen, tricomas comestibles, cera, aceites comestibles y fragancias florales (Costa, 2009). Sin embargo no se conocen especies de *Vanilla* que

produzcan recompensas florales (Chaipanich et al., 2020), en su lugar, estas plantas emplean aromas específicos y aprovechan su similitud morfológica con otras especies de orquídeas para atraer a los polinizadores. Varias especies de vainilla en los trópicos americanos son polinizadas por abejas del grupo Euglossini (Figura 2), conocidas por recolectar fragancias de orquídeas que no producen néctar (Chaipanich et al., 2020; Gigant et al., 2011). *V. pompona*, *V. hameri* y *V. cribbiana* producen grandes cantidades de limoneno y son polinizadas por abejas del género *Eulaema*. Por otro lado, se ha reportado que *V. insignis*, *V. odorata* y *V. planifolia* son polinizadas tanto por abejas del género *Euglossa* como por *Eulaema*, y producen pequeñas cantidades de 1-8 cineol (Soto-Arenas, 1999).



**Figura 2.** Abeja del grupo Euglossini posada sobre una vaina de *V. planifolia*. Foto tomada por Damaris Luna Hernández en parcela “La Ceiba” en municipio de Tuzántan, Chiapas, México.

Otras especies de insectos tales como *Eulaema meriana* y algunas abejas meliponas recolectan polen, pero no logran polinizarlas debido a la poca accesibilidad al labelo (Lubinsky et al., 2006). Además, otros insectos no polinizadores también interactúan con diversas especies del género *Vanilla*, por ejemplo, en *V. siamensis* se ha observado la presencia de hormigas que buscan los nectarios. Hasta el siglo XIX se creía que el género *Vanilla* era polinado por *Melipona beecheii* Bennet y posteriormente por especies del género *Euglossa* spp. y *Eulaema* spp. (Lubinsky et al., 2006). Se ha reportado que las especies de abejas más pequeñas, *Euglossa*, son polinizadores de *V. planifolia* y *V. trigonocarpa* Hoehne, mientras que las especies de abejas más grandes *Eulaema* polinizan *V. bahiana* Hoehne (Brasil), *V. pompona* Schiede y *V. insignis* Ames (Chaipanich et al., 2020).

En Brasil, se ha reportado poblaciones de *V. edwallii* Hoehne polinizadas por abejas del género *Epicharis* (Apidae: Centridini). Esta especie carece de recompensa floral, pero los machos de *Epicharis* son atraídos por sus flores a través de su fragancia (Pansarin et al. 2012), en *V. siamensis* se ha encontrado polinización por abejas del género *Thrinchostoma* las cuales se ven atraídas por el olor

(Chaipanich et al., 2020). Gigant et al. (2016) reportan que hembras de *Allodapula variegata*, *A. rufogastra* y *Anthophorini* han sido encontradas con polinias en las patas traseras, provocando movimiento de polen en *V. roscheri* (Gigant et al., 2014) mientras que en *V. mexicana* se reporta como polinizadores potenciales a las abejas carpinteras del género *Xylocopa* spp. (Gigant et al., 2016).

#### 4.2. Autopolinización

Algunas especies de vainilla producen frutos por autopolinización espontánea, ésta mecanismo de autogamia se ha documentado para *V. griffithii* Rehb.f., *V. palmarum* Lindl., *V. planifolia* Jacks. ex Andrews y *V. savannarum* Britt. (Pridgeon et al., 2003). En la Amazonía peruana, se ha identificado una población de *Vanilla bicolor* Lindl., cuyas flores son exclusivamente autógamas, produciendo frutos únicamente a través de cleistogamia (Van Dam et al., 2010).

#### 4.3. Polinización manual

Debido a la baja fructificación observada en las poblaciones naturales, las plantas cultivadas de *V. planifolia* son polinizadas manualmente para aumentar la producción de frutos, los cuales son una fuente natural de vainillina. Ante la ausencia de polinizadores naturales necesarios en las regiones del océano Índico, el profesor Charles Morren y Edmund Albius, un agricultor, desarrollaron un método de polinización manual como alternativa a la polinización natural (Berenstein, 2016; Lubinsky et al., 2008), este proceso se realizó utilizando una vara de bambú o un instrumento del tamaño de un palillo (Chaipanich et al., 2020). Las flores se sostienen en una mano y el polen se frota contra el estigma, este proceso estimula el ovario. Actualmente se contempla que un trabajador calificado, en promedio, puede polinizar unas 1,000 flores al día.

En caso de que ocurra la fertilización, los pólenes se adhieren al racimo y aumentan de tamaño, mientras que las flores no fertilizadas se marchitan en un plazo de 24 h. Posteriormente, entre las próximas seis a ocho semanas, las vainas se desarrollan a partir del ovario fertilizado y alcanzan su madurez completa en un período de seis a siete meses (Anuradha et al., 2013).

Anuradha et al. (2013) reportaron como alternativa la inducción de fructificación con hormonas. Sin embargo, se considera menos efectiva, ya que estudios demostraron que la aplicación de ácido 2, 4-diclorofenoxy acético, ácido 2-metoxi-6-dicloro benzoico, ácido indolacético y ácido indol butírico, dio como resultado, vainas partenocarpicas de menor peso, longitud y diámetro en comparación con las vainas polinizadas a mano.

## 5. Conclusión

Las plantas de *Vanilla planifolia* tienen numerosos visitantes, pero estos no contribuyen a su polinización debido a que el tamaño del labelo les impide acceder al polen. Aunque se han documentado insectos polinizadores en el género *Vanilla*, los estudios no concluyen en afirmar que estos se encarguen del

entrecruzamiento de material genético y ayuden a la preservación de las especies de vainilla, ya que su participación es mínima en estado natural, y no se refleja significativamente en la formación de frutos. En otras especies de *Vanilla*, en estado silvestre la formación de fruto es muy baja (alrededor del 20%). En numerosos estudios concluyentes se menciona a las abejas del género *Euglossa* como responsables de la polinización de varios tipos de orquídeas incluyendo *Vanilla planifolia*. Sin embargo, considerando las limitaciones de la polinización natural, la polinización manual se mantiene como la alternativa más viable a nivel comercial para garantizar la producción de vainas.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias

- Anuradha K, Shyamala BN, Naidu MM. 2013. Vanilla- Its science of cultivation, curing, chemistry, and nutraceutical properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(12), 1250-1276.
- Berenstein N. 2016. Making a global sensation: Vanilla flavor, synthetic chemistry, and the meanings of purity. *History of Science*, 54(4), 399-424.
- Bory S, Catrice O, Brown S, Leitch IJ, Gigant R, Chiroleu F, Grisoni M, Duval MF, Besse P. 2008a. Natural polyploidy in *Vanilla planifolia* (Orchidaceae). *Genome*, 51(10), 816-826.
- Bory S, Lubinsky P, Risterucci AMM, Noyer JLL, Grisoni M, Duval MFF, Besse P. 2008b. Patterns of introduction and diversification of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) in Reunion Island (Indian Ocean). *American Journal of Botany*, 95(7), 805-815.
- Chaipanich VV, Wanachantararak P, Hasin S. 2020. Floral morphology and potential pollinator of *Vanilla siamensis* Rolfe ex Downie (Orchidaceae : Vanilloideae ) in Thailand. *The Thailand Natural History Museum*, 14(1), 1-14.
- Chambers A, Moon P, Edmond VDV, Bassil E, Valdes D. 2019. Cultivo de vainilla en el sur de Florida: HS1350, 11/2019. EDIS, 2019, 6.
- Ciriminna R, Fidalgo A, Meneguzzo F, Parrino F, Ilharco LM, Pagliaro M. 2019. Vanillin: The case for greener production driven by sustainability megatrend. *ChemistryOpen*, 8(6), 660-667.
- Costa JF. 2009. Insectos polinizadores de orquídeas en los bosques nublados del parque nacional del manu (PNM) Cusco, Perú. Reporte Técnico. Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica. Cusco, Perú 40 pp.
- De la Cruz W, Dominguez J, de la A V, Viruliche L. 2014. Evaluación del efecto de cinco sustratos y una dosis de ácido  $\alpha$ . naftalen-acético (ANA) en la propagación de esquejes de vainilla (*Vanilla* sp.). *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 3(3), 198-220.
- De la Cruz-Medina J, Rodríguez-Jiménes GC, García HS, Rosado-Zarrabal TL, García Alvarado MÁ, Robles-Olvera VJ. 2009. Vanilla: Post-harvest. INPhO -Post harvest Compendium. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 51 pp.

- Díaz-Bautista M, Francisco-Ambrosio G, Espinoza-Pérez J, Barrales-Cureño HJ, Reyes C, Herrera-Cabrera BE, Soto-Hernández M. 2018. Morphological and phytochemical data of Vanilla species in Mexico. *Data in Brief*, 20, 1730-1738.
- Diez-Gómez MC. 2015. Ecofisiología de la vainilla *Vanilla planifolia* Andrews. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Colombia. 155 pp.
- Dos Anjos AM, Barberena FFVA, Magalhães-Pigozzo C. 2016. Biología reproductiva de *Vanilla bahiana* Hoehne (Orchidaceae). *Orquidário*, 30(3-4), 67-79.
- FAO. 2018. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- Flores-Jiménez Á, Reyes-Lopez D, Jiménez-García D, Romero-Arenas O, Rivera-Tapia JA, Huerta-Lara M, Pérez-Silva A. 2017. Diversidad de *Vanilla spp.* (Orchidaceae) y sus perfiles bioclimáticos en México. *Revista de Biología Tropical*, 65(3), 975.
- Gallage NJ, Jørgensen K, Janfelt C, Nielsen AJZ, Naake T, Duński E, Dalsten L, Grisoni M, Møller BL. 2018. The intracellular localization of the vanillin biosynthetic machinery in pods of *Vanilla planifolia*. *Plant and Cell Physiology*, 59(2), 304-318.
- Gigant R, Bory S, Grisoni M, Besse P. 2011. Biodiversity and evolution in the Vanilla genus. En: Grillo O, Venora G. (eds) *The dynamical processes of biodiversity - case studies of evolution and spatial distribution*, IntechOpen. Pp. 1-27.
- Gigant RL, De Bruyn A, Church B, Humeau L, Gauvin-Bialecki A, Paillet T, Grisoni M, Besse P. 2014. Active sexual reproduction but no sign of genetic diversity in range-edge populations of *Vanilla roscheri* Rehb. f. (Orchidaceae) in South Africa. *Conservation Genetics*, 15(6), 1403-1415.
- Gigant RL, Rakotomanga N, Goulié C, Da Silva D, Barre N, Citadelle G, Silvestre D, Grisoni M, Besse P. 2016. Microsatellite markers confirm self-pollination and autogamy in wild populations of *Vanilla mexicana* Mill. (syn. *V. inodora*) (orchidaceae) in the island of Guadeloupe. En: Abdurakhmonov IY (ed). *Microsatellite Markers*. IntechOpen.
- Hansen EH, Møller BL, Kock GR, Bünner CM, Kristensen C, Jensen OR, Okkels FT, Olsen CE, Motawia MS, Hansen J. 2009. De novo biosynthesis of vanillin in fission yeast (*Schizosaccharomyces pombe*) and baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Applied and Environmental Microbiology*, 75(9), 2765-2774.
- Herrera-Cabrera BE, Salazar-Rojas VM, Delgado-Alvarado A, Campos-Contreras JE, Cervantes-Vargas J. 2012. Use and conservation of *Vanilla planifolia* J. in the Totonacapan region, México. *European Journal of Environmental Sciences*, 2(1), 37-44.
- Kim ME, Na JY, Park YD, Lee JS. 2019. Anti-neuroinflammatory effects of vanillin through the regulation of inflammatory factors and nf- $\kappa$ b signaling in lps-stimulated microglia. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 187(3), 884-893.
- Lubinsky P, Bory S, Hernández Hernández J, Kim SC, Gómez-Pompa A. 2008. Origins and dispersal of cultivated vanilla. *Economic Botany*, 62(2), 127-138.
- Lubinsky P, Van-Dam M, Van-Dam A. 2006. Pollination of Vanilla and evolution in Orchidaceae. *Orchids*, 75(12), 926-929.
- Luis-Rojas S, Ramírez-Valverde B, Díaz-Bautista M, Pizano-Calderón J, Rodríguez-López C. 2020. Vanilla (*Vanilla planifolia*) production in Mexico: analysis and forecast. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 175-187.
- Mãrgãoan R, Aradăvoaicei Ş, Cornea-Cipcigan M, Sisea CR. 2019. The role of pollinators in maintaining the biodiversity of some exotic cultures. *International Journal of Environmental Research and Technology*, 2(1), 17-23.
- Pansarin ER, Pansarin LM. 2014. Floral biology of two Vanilloideae (Orchidaceae) primarily adapted to pollination by euglossine bees. *Plant Biology*, 16(6), 1104-1113.
- Pansarin ER, Salatino A, Pansarin LM, Sazima M. 2012. Pollination systems in Pogoniceae (Orchidaceae: Vanilloideae): A hypothesis of evolution among reward and rewardless flowers. *Flora (Jena)*, 207, 849-861.
- Pérez-Castro Y. 2013. Vanillas en Cuba. *Orquideología*, 30, 5-17.
- Pridgeon A., Cribb P., y Chase MW. y Rasmussen F. 2003. *Genera Orchidacearum*. 3:279-348. Oxford University Press, Oxford, U.K.
- Quintana M, Aguilar J. 2020. Desarrollo de cultivos sostenibles de vainilla en Ecuador. *Revista de Investigación Talentos*, 7(1), 64-72.
- Retes-Mantilla RF, Torres-Mancera MT, Lugardo-Bravo MT. 2015. Ventajas económicas para la industria de alimentos y bebidas en México con el uso de la vainillina obtenida del nejayote. *Custos e @gronegocio*, 11(3), 86-105.
- Reyes-López D, Flores Jiménez A, Huerta-Lara M, Kelso-Bucio HA, Avendaño-Arrazate C, Lobato-Ortiz R, Aragón-García A, Lopez-Olguín J. 2014. Variación morfológica de fruto y semilla en cuatro especies del género Vanilla. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(3), 205-218.
- Rodríguez-Deméneghi MV, Aguilar-Rivera N, Gheno-Heredia YA, Armas-Silva, AA. 2023. Cultivo de vainilla en México: Tipología, características, producción, prospectiva agroindustrial e innovaciones biotecnológicas como estrategia de sustentabilidad. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 93-109.
- Salazar-Rojas VM, Herrera-Cabrera BE, Delgado-Alvarado A, Soto-Hernández M, Castillo-González F, Cobos-Peralta M. 2012. Chemotypical variation in *Vanilla planifolia* Jack. (Orchidaceae) from the Puebla-Veracruz Totonacapan region. *Genetic Research and Crop Evolution* 59(5):875-887.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Estadísticas de producción agrícola. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>. Consultado el 17 de marzo de 2023.
- Soto-Arenas MA. 1999. Filogeografía y recusos genéticos de las vainillas de México. *Reporte Técnico, SNIB-CONABIO*, 8 pp.
- Soto-Arenas MA. 2006. La vainilla: retos y perspectivas de su cultivo. *Biodiversitas*, 66, 1-9.
- Soto-Arenas MA, Dressler RL. 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.
- Van Dam AR, Householder JE, Lubinsky P. 2010. *Vanilla bicolor* Lindl. (Orchidaceae) from the Peruvian Amazon: auto-fertilization in *Vanilla* and notes on floral phenology. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57, 473-480.
- Wilde AS, Frandsen HL, Fromberg A, Smedsgaard J, Greule M. 2019. Isotopic characterization of vanillin ex glucose by GC-IRMS - New challenge for natural vanilla flavour authentication? *Food Control*, 106, 106735.