

Producción y caracterización de vainilla (*Vanilla planifolia*) en función de la concentración de vainillina

Braulio Edgar Herrera-Cabrera^{1*}, Rafael Salgado Garciglia², Victor Manuel Ocaño Higuera³, Hebert Jair Barrales-Cureño⁴, Adriana Delgado Alvarado¹, Jorge Montiel-Montoya⁵, Maximino Diaz-Bautista⁶, Renato Almorin Albino⁶ y César Reyes⁶

Colegio de Postgraduados, Campus Puebla¹, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo², Universidad de Sonora³, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora⁴, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional⁵, Universidad Intercultural del Estado de Puebla⁶

*Autor de correspondencia: behc@colpos.mx

Abstract— In this work we performed a characterisation of the production of *Vanilla planifolia* beans from tree communities of the Totonacapan region in Mexico and three cultivars' systems: traditional or coffee type, semitechnified or acahual and technician or mesh shadow. 95% of the traditional cultivars have been historically safely sheltered by the totonaca culture. From an economic point of view, the traditional cultivars are profitable, considering that vanilla beans are commercialized without a curing process. Knowledge of the aromatic profile of local vanilla beans allows cost improvement. In this research, the concentration of vanillin was analyzed, finding a considerable variation among cultivars, being necessary to consider differential pricing according to the location of the cultivars.

Keyword— *Cultivar type; deterministic model; economic analysis; market price; Vanilla planifolia; vanillin.*

Resumen— En este trabajo se realizó una caracterización de la producción de *Vanilla planifolia* de comunidades arbóreas de la región del Totonacapan en México y de tres sistemas de cultivares: tradicional o tipo café, semitecnificado o acahual y técnico o malla sombra. El 95% de los cultivares tradicionales son protegidos por los totonacas. Desde el punto de vista económico, los cultivares tradicionales son rentables, dado que las vainas de vainilla se comercializan sin curación. El conocimiento del perfil aromático de las vainillas locales permite mejorar el costo. En esta investigación se analizó la concentración de vainillina, encontrando una variación considerable entre cultivares, siendo necesario considerar una fijación de precios diferenciales según la ubicación de los cultivares.

Palabras claves— *Tipo de cultivo, modelo determinista, análisis económico, precio de mercado, Vanilla planifolia, vainillina.*

I. INTRODUCCIÓN

El aroma característico de la vainilla se atribuye a la presencia de la molécula de vainillina (4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído) [1] y la cantidad de esta molécula determina la calidad de los cultivos de vainilla [2]. Entre las aplicaciones industriales más importantes de los extractos de vainilla se encuentran: los preparados de helado, las bebidas no alcohólicas, la producción de yogur, los artículos de panadería, las confiterías, los cereales y los productos del tabaco [3]. En la industria farmacéutica y química, la vainillina sirve como molécula prima para sintetizar L-dopa, metil-dopa, papaverina, trimetoprim, hidrazonas y agentes antiespumantes [4]. Por lo tanto, existen varios métodos analíticos para evaluar la calidad de las semillas de vainilla, tales como el análisis isotópico de la vainilla [5], la cromatografía de gases [6], la cromatografía líquida de alta presión [7], la electroforesis capilar [8], y el protocolo de prueba sensorial [9].

En la región del Totonacapan de México, la orquídea más cultivada es *Vainilla planifolia* debido a su alta concentración de vainillina [10] y por lo tanto los cultivos resultantes de *V. planifolia* tienen altas propiedades organolépticas deseables [11]. Sin embargo, los cultivos de vainilla se cosechan en estado verde inmaduro y en este punto es necesario un proceso de curado para obtener su olor característico [12].

La calidad de los cultivos de vainilla se determina por una proporción de ciertos compuestos químicos entre los que se encuentran la vainillina, el p-hidroxibenzaldehído (pHBAId), el ácido vanílico y el hidroxibenzoico (pHBAcid), aunque el perfil de sabor de los extractos de vainilla tiene más de 200 componentes [13].

La vainillina (4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído) se considera un componente clave de la fragancia de la vainilla [14] y la Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes la considera el componente más importante. Esta última afirmación está respaldada por un informe de análisis cuantitativo anterior; por ejemplo, Jagerdeo (2000) informó de que la vainillina se encuentra normalmente entre el 1,52 y el 2,42% del peso seco de la vaina [15] y Pérez-Silva et al (2006) informaron de que los extractos de vainillina de las vainas de vainilla curadas representan el 85% del total de compuestos volátiles [16]. Además, en la literatura se encuentran varias investigaciones que abordan la cuantificación de la vainillina y sus moléculas de sabor relacionadas [17]. Aunque México representó menos del 3% de la producción mundial de vainilla, la denominación de origen de la vainilla se debe a que *Vanilla planifolia* es una orquídea nativa de la selva tropical del este de México [18] y la producción de vainilla se asocia comúnmente a la cultura totonaca, que la ha cultivado en un sistema tradicional desde su descubrimiento [19].

La calidad de los granos de *V. planifolia* de la región del Totonacapan ha sido abordada por algunos autores, por ejemplo, Salazar-Rojas et al. (2012) reportaron una diferencia significativa en la cantidad de vainillina, ácido vanílico, p-hidroxibenzaldehído y ácido p-hidroxibenzoico en los cultivares del Totonacapan debido a la pérdida de diversidad del pool genético primario de *V. planifolia* y que significa que prevalece un polimorfismo [20]. Por otro lado, Sánchez-Galindo et al. (2018) reportaron diferencias en las características de sabor mencionadas anteriormente en cultivares cosechados en diferentes épocas y por lo tanto en el perfil de aroma de los cultivos de vainilla de curado [21].

De acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-074-1996, el tiempo de cosecha de la vainilla en la región del Totonacapan podría realizarse a los 224 días de cultivo, sin embargo, las variaciones en las condiciones agroecológicas de la región del Totonacapan varían ampliamente, por ejemplo, en el Estado de Veracruz, los cultivares de *V. planifolia* se realizan entre los 10 a 250 msnm y en el Estado de Puebla de 500 a 1000 msnm.

El objetivo de este trabajo fue determinar la productividad, los rendimientos y los costos de producción (mano de obra, costo de materiales, polinización) de tres diferentes cultivares, se propone un modelo económico determinístico para evaluar los cultivares tradicionales (tipo café), semitecnificados (acahual) y tecnificados (malla sombra) y así conocer los ingresos netos en cada cultivar evaluado. Se determinaron los principales factores que influyen en la productividad y rendimientos de *V. planifolia*, todo esto debido a que, en la región estudiada, el 95% de los cultivares son tradicionales. Finalmente, se cuantificó el contenido de vainillina de las vainas curadas a través de Cromatografía Líquida de Alto Rendimiento (HPLC) en todos los cultivares, se analizó el costo diferencial de las vainas curadas, dependiendo de su ubicación y condiciones agroecológicas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Área de estudio y muestreo

El área de estudio se ubica en la Sierra Noroeste del estado de Puebla en México. Los cultivos se localizan en el municipio de Olintla (Vicente Guerrero y Bibiano Hernández) y en el municipio de Huehuetla. El Municipio de Olintla se encuentra entre las coordenadas geográficas $20^{\circ} 02'18''$ y $29^{\circ} 10'30''$ de latitud norte del Trópico de Cáncer y las coordenadas $97^{\circ} 36'54''$ y $97^{\circ} 43'06''$ de longitud oeste del meridiano de Greenwich (Figura 1).

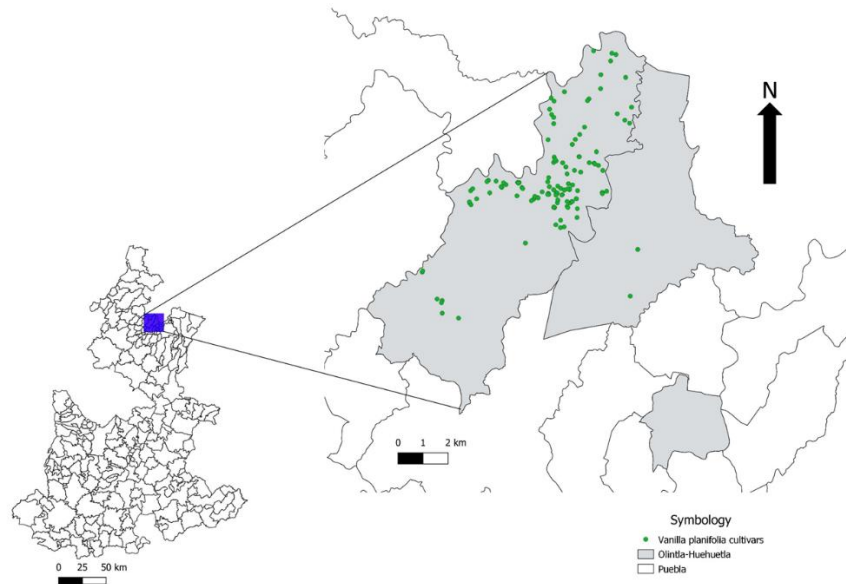


Fig. 1. Ubicación de los sitios de estudio en la región del Totonacapan en Puebla, México.

Durante la investigación se realizaron tres cosechas de *V. planifolia*: a) la primera se realizó en los cultivares de Vicente Guerrero (VGC) el 10 de diciembre de 2017, b) la segunda cosecha se realizó en los cultivares de Bibiano Hernández (BHC) el 5 de marzo y c) la tercera se realizó en los cultivares de Lipuntahuaca (LC) el 18 de abril. Así, se analizaron 113 cultivares: 95 de VGC, 8 de BHC y 10 de LC. El 95% corresponde a cultivares tradicionales y el 5% restante a cultivares tecnificados y semitecnificados. Todos los cultivares están establecidos en el tipo de suelo Leptosol con clima semicálido y húmedo con lluvias durante todo el año [23]. Las características de los granos de *V. planifolia* recolectados fueron de acuerdo con la norma mexicana BMX-FF-074-1996, es decir, libres de plagas y enfermedades, bien sombreados y plantas con estado reproductivo. En esta investigación se siguió el proceso de curado tradicional de los granos de *V. planifolia* según la antigua cultura totonaca. Después de recoger las vainas de *V. planifolia*, se sumergieron en agua caliente durante 5 a 8 segundos, un proceso conocido como muerte vegetativa [33]. Después, los cultivos se expusieron directamente a la luz solar durante una o dos horas hasta alcanzar 48 a 50 °C de temperatura superficial. Los cultivos fueron envueltos y colocados dentro de cajas para estimular la transpiración, paso que se realiza para favorecer la actividad enzimática para la biosíntesis de la vainillina.

B. Determinación de vainillina por HPLC

Los cultivos de *V. planifolia* se molieron en un molino manual y se tamizaron (malla n° 40) para obtener el extracto tamizado. A continuación, se pesaron 0,05 g de extracto y se adicionó un litro de metanol al 80 %, la solución se mezcló en un baño de ultrasonido (Branson, EE.UU.) durante 10 minutos. La concentración de vainillina se determinó en una precolumna (columna de empaquetamiento de 5 µm, columna de 125 nm x 4 nm, de intercambio catiónico Nucleosil 100 A) (sistema HPLC de Agilent Technologies) con un detector UV a 472 nm y un software de la versión B.02.01. La fase móvil consistió en metanol al 80%, con un flujo de 1,0 mL/min y una presión isocrática de 185 psi (bomba isocrática Varian 9002). Las columnas se calibraron con vainillina estándar (C₈H₈O₃; 153 g/mol; PhytoLab). Antes de la inyección, las muestras de vainillina se filtraron en acrodisco de 0,45 µm. Se introdujo un volumen de 10 µl en el HPLC mediante una jeringa. La concentración de vainillina se determinó extrapolando los valores de absorbencia mediante una curva de calibración estándar.

C. Modelo económico determinista

En este estudio se adoptó el modelo determinista utilizado en la industria farmacéutica. El beneficio neto de la producción de vainas de *V. planifolia* en cada tipo de cultivar se estimó sobre la base de una superficie de 20 x 20 metros. Para estimar el coste anual de la mano de obra se tuvo en cuenta cada una de las tareas específicas realizadas en los diferentes cultivares, como el control de las malas hierbas, la canalización de las guías de las orquídeas, el establecimiento y la poda de las plantas que soportan el crecimiento de las mismas, los pasos del proceso de curado, la polinización, la aplicación de plaguicidas, la fertilización, la recogida del cultivo, el riego y el establecimiento de la red de sombra de malla.

III. RESULTADOS

A. Cuantificación de vainillina por HPLC

Después del proceso de curado en tres cultivares de la región del Totonacapan de México bajo los siguientes sistemas de cultivo: Tradicional o "tipo café", Semitecnificado o "acahual" y tecnificado o malla sombra, se determinó la calidad de la vainilla mediante la cuantificación de vainillina con cromatografía HPLC [22] Los perfiles de los cromatogramas se muestran en la Fig. 2, donde el tiempo de elución de la vainillina se produjo a los 5.35 minutos, el último comportamiento fue similar en todas las pruebas realizadas (Figura 2).

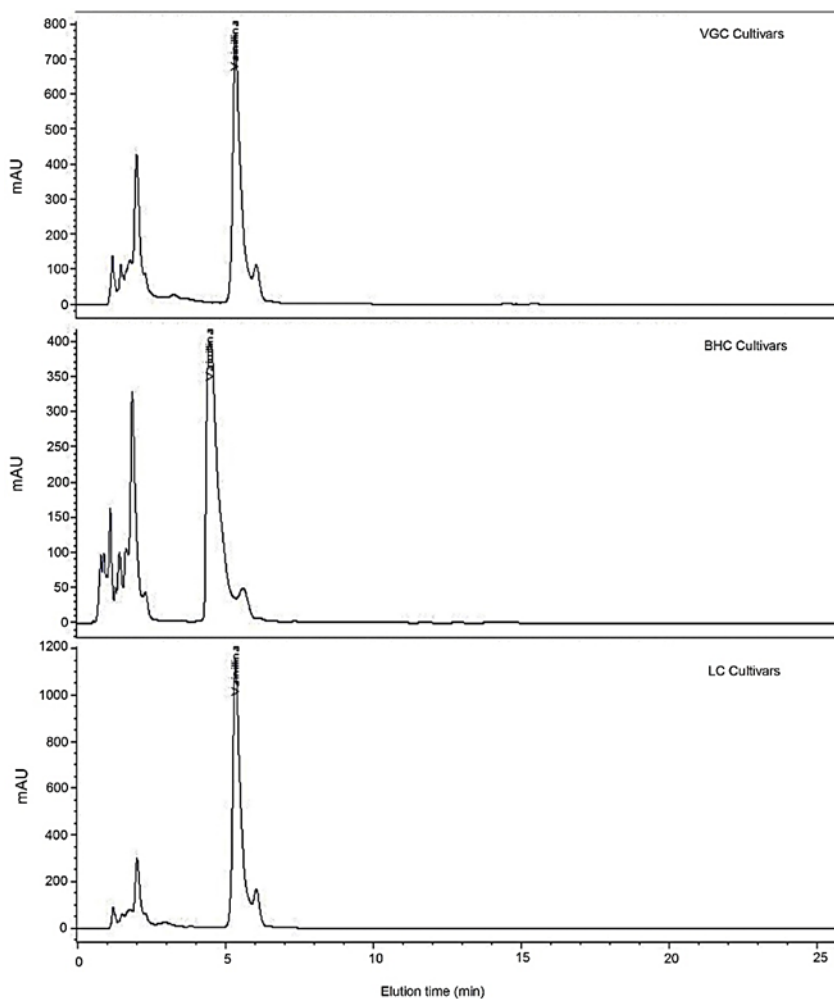


Fig. 2. Perfiles de los cromatogramas HPLC de vainillina de los granos curados de tres cultivares de *V. planifolia*.

La mayor concentración de vainillina se encontró en los cultivares Vicente Guerrero (VGC) (1.42g/100g) seguido de los cultivares Lipuntahuaca (LC) (0.97 g/100g) y Bibiano Hernández (BHC) (0.78 g/100g) en promedio.

Los datos de la concentración de vainillina se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Rendimiento y concentración de vainillina de cultivares de *V. planifolia* del Totonacapan.

Tipo de cultivar	Rendimiento (kg)	Rendimiento del curado (kg)	Vainillina (g/100g)	Vainillina total (g/kg)
Tipo tradicional (LC)	5	1	0.97 ±0.3	9.73
Tipo tradicional (BHC)	5	1	0.78 ±0.2	7.86
Tipo tradicional (VGC)	5	1	1.42 ±0.4	14.26
Acahual (LC)	22	4.4	0.97 ±0.3	42.8
Acahual (BHC)	22	4.4	0.78 ±0.2	34.58
Acahual (VGC)	22	4.4	1.42 ±0.4	62.74
Malla sombra (LC)	75	15	0.97 ±0.3	146.25
Malla sombra (VHC)	75	15	0.78 ±0.2	117.90
Malla sombra (VGC)	75	15	1.42 ±0.3	213.90

Como rasgo característico, el área de dimensión de todos los cultivares de *V. planifolia* en este estudio fue de 20 x 20 m, rasgo característico de la práctica del cultivo totonaco. Los rendimientos de los cultivos verdes observados en los cultivares de tipo café son relativamente bajos en todos los cultivares analizados (5 kg), en los sistemas acahuales fue de 22 kg y 75 kg en los cultivares de totonaco, respectivamente; las relaciones entre los cultivos verdes de *V. planifolia* respecto a los granos de curado es de 1:5, por lo tanto, se observan bajos rendimientos.

B. Polinización de *Vainilla planifolia*

Todos los cultivares fueron polinizados en abril de 2017. Los granos de *V. planifolia* fueron recolectados en diferentes fechas, por ejemplo, el 10 de diciembre 2017 se cosechó el cultivar VGC, el 05 de marzo de 2018 el cultivar BHC y los cultivares LC en abril 2018.

Las principales características de los cultivares analizados en el presente estudio fueron: el sistema tradicional o tipo café, el cual se caracteriza porque se cultiva *V. planifolia* usando plantas nativas que se utilizan como soporte, por lo tanto, las densidades de *V. planifolia* son bajas en estos sistemas, los agricultores totonacos tienen un control de malezas pero no tienen un control y manejo de plagas y la polinización se realiza de forma natural por abejas (*Melipona* sp.) y colibríes desde abril a mayo [23]. La tasa de polinización natural es relativamente baja, sólo alrededor del 1%, por lo tanto, para asegurar el 100% de la polinización de las orquídeas en los cultivares tradicionales y no tradicionales, la polinización se realiza manualmente por manos expertas [24]. Gassenmeier et al (2008) informaron que un polinizador entrenado es capaz de manejar entre 1000 y 2000 flores por día [25]. Por otro lado, en la región de nuestro estudio, el sistema tecnificado se introdujo en los últimos años, pero requiere grandes cantidades de agua, fertilizantes y plaguicidas. La Norma Oficial Mexicana (NMX-FF-076-1996) clasifica la calidad de los granos curados de *V. planifolia* en base a su contenido de humedad y vainillina. Pero esta norma no tiene en cuenta los niveles de aldehído, ácido p-hidroxibenzaldehído u otros constituyentes del aroma como indicador de la calidad de la vaina de vainilla curada para fines comerciales [16].

C. Ingresos económicos de la vainilla

V. planifolia (Jacks ex Andrews) es una de las especies más utilizadas para la extracción del aroma característico de la vainilla [11]. A pesar de que México es considerado el centro de origen de la vainilla, sólo produce el 2 % del mercado mundial, según estos autores, la calidad de la vainilla producida en México es relativamente baja en comparación con la extraída de otras regiones del mundo como Madagascar. En el mercado internacional, las vainas de vainilla curadas se clasifican según su fuente geográfica o su origen, donde la producción del país se conoce como "vainas mexicanas". La producción de vainilla a partir de orquídeas en México es a través de *V. planifolia* y una de las regiones más rentables es el Totonacapan, aunque su producción sigue teniendo una relevancia cultural más que planteamientos económicos. Así, la producción de vainilla se lleva a cabo mediante un sistema tradicional conocido como "tipo café", sin embargo, en los últimos años se han introducido otros sistemas de cultivo tecnificados y semitecnificados como el umbráculo, naranjos bajos y casas de sombra [22, 26] con el fin de aumentar la productividad de *V. planifolia*. La Fig. 3 muestra el análisis económico a través de un modelo determinista propuesto en este trabajo mediante la ganancia total en dólares estadounidenses.

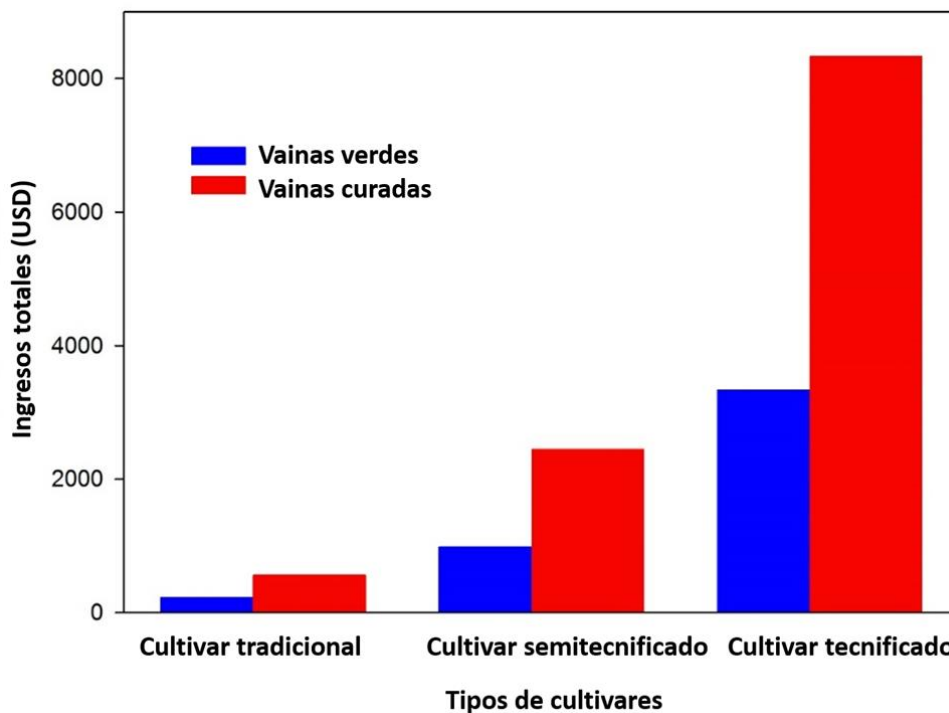


Fig. 3. Ingresos totales por venta de vainilla en tres cultivares diferentes de *V. planifolia* (vainilla verde y curada).

Para evidenciar claramente que el proceso adicional de curado aumenta considerablemente los ingresos totales, el análisis consideró el precio de la vainilla verde (44,4 USD/Kg) y 555,00 USD por kg de vainilla curada (precios de costo de 2017). La producción total de *V. vainilla* varía considerablemente entre los cultivares analizados, por lo que el ingreso total es de alrededor de 14:1 entre los sistemas tradicionales y tecnificados. Sin embargo, prevalece la pérdida de rentabilidad y competitividad [26]. La diferencia de costos entre la vainilla verde y la curada podría deberse al delicado y tradicional proceso de curado que se realiza relativamente con tecnología de bajo costo para completar las etapas de maduración, sudoración, secado y acondicionamiento [27].

Los cultivadores de la región del Totonacapan utilizan dos métodos diferentes de curado en seco de las vainas de vainilla, el primero consiste en una exposición al sol y después de las semillas de la colza en un cajón de madera utilizando un horno rústico (horno de ladrillo); por otro lado, el sistema de secado tecnificado consiste en un horno calorífico que es operado a 60°C durante 48 horas por 45 días [28].

En este estudio, el rendimiento de la vainilla en grano verde fue de 1:5 respecto a las vainas de curado y el proceso de curado se realizó por el método tradicional. La rentabilidad de la vainilla de curado respecto a la vainilla verde fue superior al 40% en todos los tipos de cultivo analizados (Figura 4).

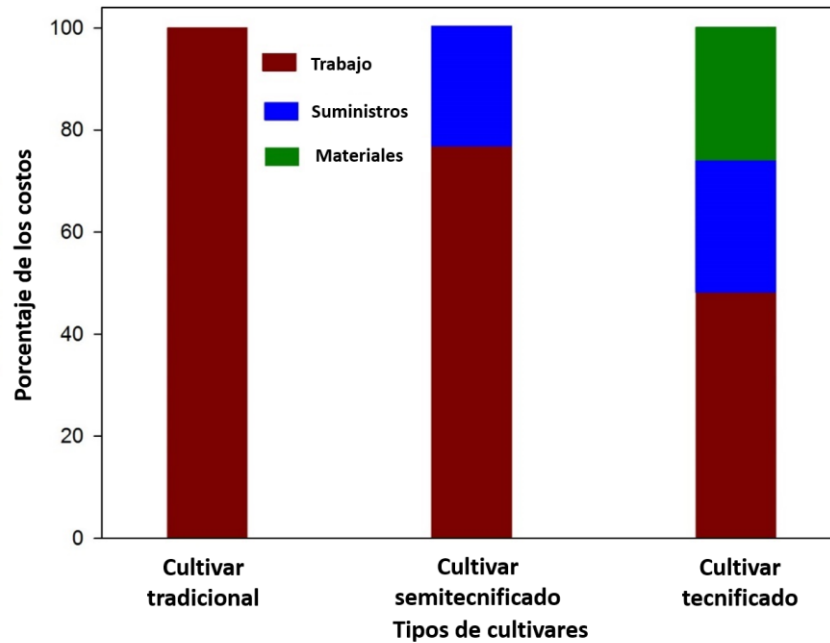


Fig. 4. Porcentaje de inversión de la producción de *V. planifolia* en tres tipos de cultivares.

Barrera (2009) reportó un 50% de rentabilidad respecto a la vainilla sin curar, lo cual es bastante similar a los resultados reportados en este trabajo; por otro lado, utilizando un horno de calor (sistema tecnificado) la rentabilidad alcanza el 66% respecto a la vainilla sin curar [29]. En la región donde se llevó a cabo la presente investigación, más del 95% de la vainilla se vende comúnmente como vainilla verde, en 2017 la cosecha total fue comprada por una empresa alemana. Los agricultores totonacos producen vainas de vainilla bajo un cultivo de tipo tradicional y técnico, por lo tanto, su comercialización es realizada por intermediarios u organizaciones de vainilleros en la cadena de valor que no realizan el proceso de curado. Esta situación, se debe a la falta de conocimiento y equipo para realizar el proceso de curado, entonces se pierde el valor agregado, además de los bajos rendimientos obtenidos especialmente en los cultivares tradicionales [30]. Sin embargo, en el mercado internacional, la vaina curada mexicana se clasifica de mayor a menor calidad de la siguiente manera: "primera", "buena primera", "buena", "regular" y "ordinaria".

De acuerdo con el examen general, las vainas curadas obtenidos en esta investigación pudieron alcanzar un grado de "buena prima" debido a su longitud, color, mancha superficial y calidad de aroma. Como factor clave importante, en los cultivares tecnificados la polinización manual representa aproximadamente el 50% de la producción de vainilla, y de acuerdo con nuestras observaciones, las

vainas fruidas de *V. planifolia* tienen características competitivas como el tamaño (de 15 a 30 cm) de longitud y el peso de 20 gramos.

El modelo económico determinista nos permite conocer las principales labores realizadas en los cultivares analizados en el Totonacapan, México. Los cultivares tradicionales utilizan como mano de obra el control de malezas y la polinización es realizada por abejas y otros insectos. Los cultivares semitecnificados invierten el 78 % en mano de obra: control de malezas, manejo, polinización y aplicación de plaguicidas y fertilizantes; los plaguicidas se utilizan contra la chinche roja (*Tentecoris confusus*) y las enfermedades fúngicas (*Fusarium* sp. y Antracnosis) los fitopatógenos más comunes [31], los insumos ocupan el 22 % de la inversión total. Los últimos cultivares tecnificados invierten un 27% en material (sombra de malla), un 44% en mano de obra y un 29% en adquisición de suministros. En otras palabras, la inversión total es de 117,0 USD para el cultivar tradicional, 485 y 1034 USD para los cultivares semitecnificados y tecnificados, respectivamente (Fig. 4). La Fig. 5 muestra una comparación entre el monto de la inversión y las ganancias de la venta de vainilla verde y curada a una empresa alemana por parte de los productores de vainilla de la región de estudio y considerando los tres cultivares analizados: tipo tradicional, semitecnificado y tecnificado.

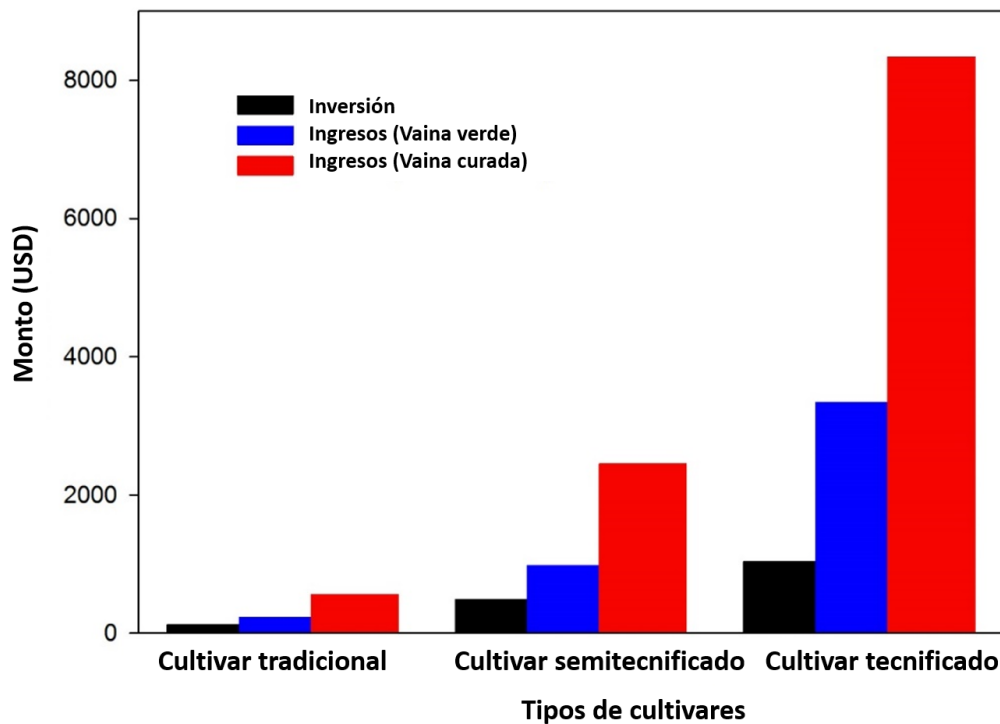


Fig. 5. Balance financiero de la inversión y venta de vainilla verde y curada de 3 tipos de cultivares en el Totonacapan, Pue.

En los sistemas tradicionales, el rendimiento de la inversión de la vainilla verde fue del 88,78% y el de la vainilla curada del 371%; para los cultivares semitecnificados, el rendimiento de la inversión de la vainilla verde fue del 101,4% y el de la vainilla curada del 404%; finalmente, para los cultivares tecnificados, el rendimiento de la inversión fue del 222% para la vainilla verde y del 706% para la vainilla curada. Desgraciadamente, más del 95% de la producción de vainilla se vende como vainilla verde y toda la producción de vainilla se obtiene a partir de cultivares tradicionales, por lo que existe un

alto potencial en los beneficios económicos, especialmente si se pudiera introducir la tecnología del proceso de curado y adaptar los cultivares semitecnificados y tecnificados.

D. Producción específica de cultivares V. planifolia

En la región del Totonacapan aún prevalece la producción tradicional de *V. planifolia* [32]; este sistema ha sido utilizado debido a la herencia cultural por parte de la cultura totonaca, por lo que se asocian a una gran diversidad florística (más de 20 especies diferentes de árboles y arbustos) debido a que estas plantas son utilizadas para apoyar el crecimiento de la orquídea se utilizan también como material de leña, frutos comestibles, especias, madera para la construcción de casas (Espinoza-Pérez et al. 2019) [22], el sistema de producción de la vainilla tiene un carácter familiar y étnico y se cultiva comúnmente en pequeñas superficies de tierra, no más de 0,25 hectáreas [28].

Por otro lado, los sistemas tecnificados como el cultivar de malla sombra se ha introducido para aumentar los rendimientos, pero con la concomitante disminución de la biodiversidad (menos de 10 especies asociadas a estos tipos de cultivares) (Espinoza-Pérez et al. 2019) y algunos de ellos utilizan un sofisticado sistema de riego [22]. Además, en la región totonacapense también se cultivan otras especies de vainilla como *V. planifolia* "oreja de burro", *V. pompona*, *V. insignis* y *V. inodora* [23]; teniendo en cuenta algunas políticas para asegurar su distribución y su hábitat natural. En la Fig. 6 se muestra la relación entre el tipo de cultivo contra la productividad y los rendimientos de *V. planifolia* en el Estado de Puebla que forma parte de la región del Totonacapan, como se puede apreciar, la productividad aumenta gradualmente a medida que se implementa la tecnología, pero con un deterioro perjudicial de la biodiversidad, la erosión del suelo y la contaminación del agua.

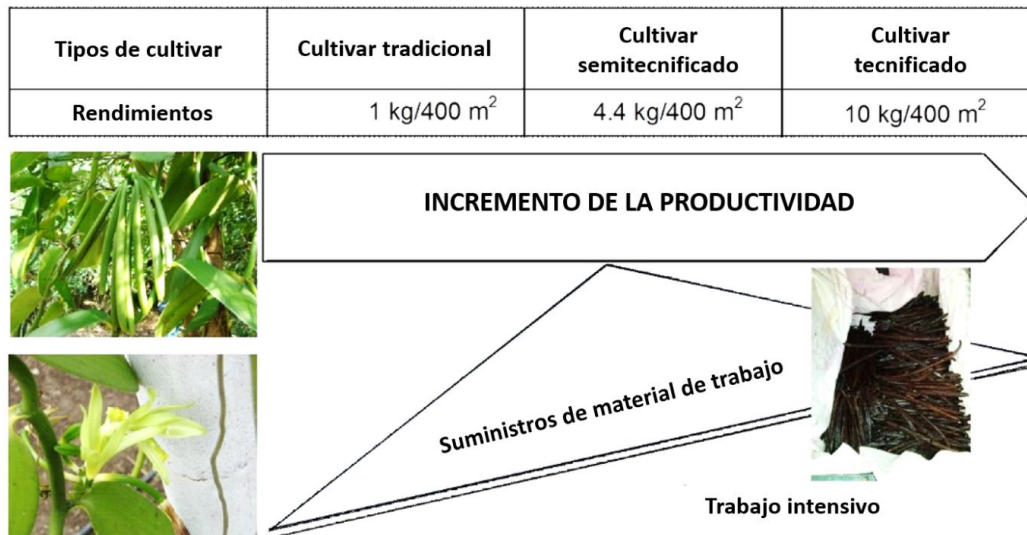


Fig. 6. Relación entre el tipo de cultivo de *V. planifolia* y la productividad.

E. Producción volumétrica de vainillina

El último análisis de la presente investigación se basa en la producción volumétrica de vainillina en los cultivares analizados. La concentración de vainillina de las vainas curadas de *V. planifolia* en la que muestras de Madagascar resultan en 1.76g/100g, Uganda 2.0g/100g, India 1.48g/100g, Indonesia 1.1g/100g, México 1.9g/100g y Papua Nueva Guinea 1.34g/100g, a pesar de que la vainillina es el principal constituyente del sabor de la vainilla e indicador de calidad, estos autores reportaron que no había una clara relación entre el contenido de vainillina y el perfil sensorial de los extractos de vainilla.

En la región del Totonacapan México, Salazar (2011) [12] reportó concentraciones de vainillina entre 1,72 a 1,86 g/100g y Pérez-Silva et al. (2006) en la región de Oaxaca México reportaron concentración de 1,91 g/100g de vainillina en vainas de vainilla curadas [16]. La Fig. 7 muestra la productividad de vainillina en cada cultivar analizado, de acuerdo con los rendimientos de las vainas de vainilla y la concentración de vainillina, podemos ver que los cultivares tecnificados muestran altos valores de productividad, por ejemplo, los cultivares VGC mostraron la mayor productividad con 2.2 mg/m²*día, y la menor productividad se obtuvo con los cultivares LC con 0.06 2.2 mg/m²*día.

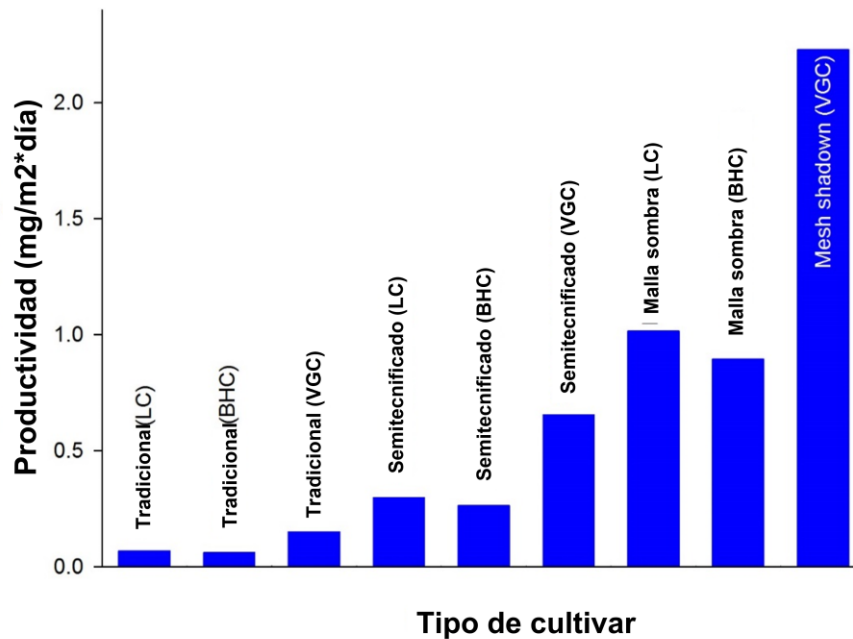


Fig. 7. Productividad de vainillina en los diferentes cultivares de *V. planifolia* en el Totonacapan, Pue.

En general, los rendimientos y productividades de la vainillina son relativamente bajos debido a que la mayor parte de la producción de judías de *V. planifolia* (95%) es de tipos de cultivo tradicionales. Desde este punto de vista existe un alto potencial de producción de vainas curadas de *V. planifolia*, sin embargo, la falta de tecnología y el cultivo tradicional causan un reto importante. Finalmente, de acuerdo con la concentración de vainillina en los tres cultivares evaluados, a pesar del bajo costo de producción de vaina de *V. planifolia* en los cultivares tradicionales, pero dependiendo de la concentración de vainillina se podría requerir más superficie de terreno para obtener un kg de vainillina. De Guzman y Zara (2012) sostienen que el rendimiento de la vainillina depende básicamente de las condiciones agroclimáticas, el sistema de cultivo, la polinización, la cosecha y el curado [33]. Por otro lado, Ramachandra y Ravishankar (2000) estimaron que, para producir 1 kg de vainillina son necesarios 500 kg de granos (basados en 2,0 g/Kg de vainillina); esto significa aproximadamente 40.000 flores polinizadas [34]. Pero nuestros resultados muestran que son necesarios 1030,9 kg de vainas de curado en los cultivares LC, 1282 kg en los cultivares BHC y 704,2 kg en los cultivares VGC, y de acuerdo con los rendimientos de curado nuestros resultados muestran que a medida que los rendimientos de vainas de curado aumentan, la superficie cultivada disminuye drásticamente (Tabla 2).

Tabla 2. Peso en kilogramos de vainas de curación necesarios para obtener 1 kg de vainillina.

Tipo de cultivo	Total de vainas curadas requeridas (kg.)	Superficie requerida (Hectárea)
Tipo tradicional (LC)	1030.9	41.2
Tipo tradicional (BHC)	1282.0	51.3
Tipo tradicional (VGC)	704.2	28.2
Achual (LC)	1030.9	9.36
Achual (BHC)	1282.0	11.7
Achual (VGC)	704.2	6.4
Malla sombra (LC)	1030.9	2.7
Malla sombra (VHC)	1282.0	3.4
Malla sombra (VGC)	704.2	1.9

La Fig. 8 muestra el valor de la cadena de *V. planifolia* en la zona de estudio, se observa claramente que más del 90% de la producción de vainas de vainilla se ofrece al mercado internacional sin un proceso de curado.

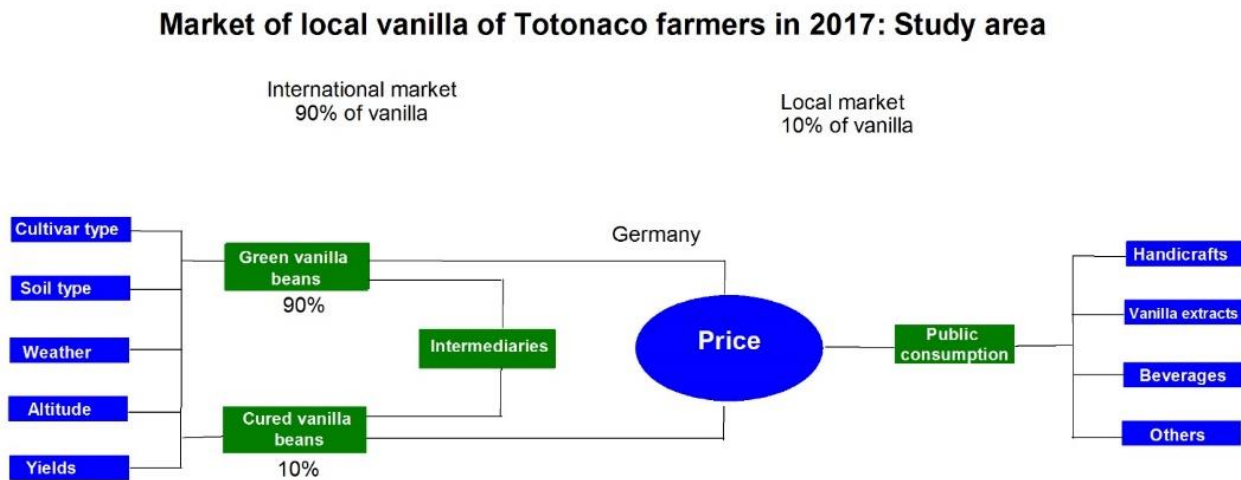


Fig. 8. Cadena de valor de *V. planifolia* en la región de estudio: Totonacapan México.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados aquí reportados sirven como base para determinar los precios en diferentes zonas debido a que hoy en día no existe una regulación de los precios de la vaina de vainilla en la región del Totonacapan de México y depende básicamente de la demanda del mercado internacional. Por último, es necesario realizar un análisis de la vainillina y otros componentes aromáticos clave de la vainilla producida en la región del Totonacapan de México para analizar la posibilidad de asignar un precio diferencial, según su ubicación de origen y otros atributos aromáticos que dependen de las condiciones agroecológicas y la altitud. Sin embargo, es necesario llevar a cabo estudios adicionales, y aprobados por la autoridad gubernamental. La producción de vainilla en México está asociada al cultivo totonaco, que ha mantenido su invaluable recurso durante los últimos 250 años [19], además de las condiciones agroecológicas de la región del Totonacapan definidas por su distribución geográfica, la variación

genética y, por lo tanto, el conocimiento etnocultural que permite la identificación de clones de *V. planifolia* con características fisicoquímicas específicas [20]. Los bajos rendimientos de *V. planifolia* que se obtienen en la región del Totonacapan están fuertemente asociados a su valor cultural-tradicional y su producción no tiene necesariamente un enfoque económico; a pesar de ello, la vainilla juega un papel clave para mantener el desarrollo sostenible de gran parte de las comunidades indígenas que pertenecen a la cultura totonaca [20]. Por lo tanto, antes de considerar la existencia de cultivares intensivos (tipos tecnificados), es necesario realizar un diagnóstico completo de la distribución de las especies silvestres de *V. planifolia* en la región debido a su recolección excesiva para establecer una nueva plantación. Debido a este último estado, el gobierno mexicano ha considerado una protección especial de la orquídea para evitar su extinción [32]. La cadena de valor del grano de *V. planifolia* en la Región del Totonacapan está integrada por productores, curadores y comercializadores donde la demanda del mercado internacional prácticamente determina los precios de la vainilla y las autoridades mexicanas no tienen una política productiva [12] y tampoco cuentan con estrategias de conservación de la vainilla, por lo que cualquier variación del estado de los cultivares podría tener un efecto adverso en la diversidad de aroma y quimiotipos [12]. Para evitar esto, el Consejo Nacional de Productores de Vainilla (CONAVI) enfoca sus esfuerzos en respetar los cultivares tradicionales en la región del Totonacapan y los cultivos tecnificados de vainilla son revisados de cerca (Secretaría de Desarrollo Rural, Gobierno del Estado de Puebla, 2012). El nivel de producción de vainilla en México se ve afectado por factores económicos y climáticos [12], por ejemplo, la intensidad de los factores meteorológicos como los huracanes, la demanda del mercado internacional (FAO STAT 2011), la pérdida de hábitat, la presencia de microorganismos fitopatógenos como *Fusarium* sp. [35], la pérdida de conocimientos locales [36]. La producción mexicana de vainilla curada en 2010 fue de alrededor de 30 toneladas [37] de las cuales, el 74% se produjo en la región del Totonacapan [12]. El valor de la cadena de la vainilla es bastante importante, en general, en la rentabilidad en cada eslabón, por lo que ofrece empleo y bienestar a las comunidades locales.

El destino de la vainilla curada es el mercado internacional (90%) y el otro 10% se distribuye en el mercado interno especialmente en la fabricación de artesanías, elaboración de extractos y preparación de bebidas (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2012). Barrera-Rodríguez et al. (2011) reportaron un 9% de tasa de retorno en cultivares de naranjo tipo *V. planifolia*, el mantenimiento de los cultivares es realizado por los miembros de la familia y los cultivares más comunes tienen un terreno superficial de 20 x 20 m [26], Salazar-Rojas et al. (2011) reportaron un subsidio al costo de la mano de obra familiar de 825 USD por hectárea [12]. Según Salazar-Rojas et al., el cultivar semitecnificado de *V. planifolia* "malla sombra" también está asociado a los suministros de mayor costo y, por lo tanto, este sistema de cultivo no es rentable [12]. Todos los suministros de cultivares "malla sombra" deben ser reemplazados cada 5 años y a veces puede causar pérdidas en el rendimiento a los productores de vainilla, además de la ocurrencia de huracanes [26].

La producción de vainilla en la región del Totonacapan es una importante fuente de empleo rural, principalmente durante la época de floración, ya que se realiza la polinización a mano, por lo que se generan de 300 a 600 empleos por hectárea, además de los focos de trabajo empleados en el proceso de curado (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2012). Hoy en día, a pesar de los avances tecnológicos en la producción de vainillina sintética, en la región del Totonacapan la producción de vainillina natural ha sobrevivido debido al cultivo y transmitido de generación en generación lo que hace que la producción de vainillina sea poco competitiva en comparación con los cultivos intensivos y tecnológicos utilizados en otros países. En nuestra región de estudio (Puebla) existen 297 hectáreas plantadas con *V. planifolia* por 869 agricultores, en México, la mayor producción de vainillina se concentra en el estado de Veracruz, donde se produce alrededor del 75% del total [37]. En México casi toda la vainilla que se consume es sintética, inclusive la industria pastelera nacional no utiliza la vainilla natural para la elaboración de helados. Sólo algunos restaurantes

exclusivos "Gourmet" de la Ciudad de México elaboran su propio helado con vainilla natural y algunas marcas de productos que se importan contienen vainilla Bourbon como sabor (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2012). Según Santillán-Fernández et al. (2018), en México la producción de vainas de *V. planifolia* entre 2003 y 2014 disminuyó como resultado de la ausencia de paquetes tecnológicos adecuados [38]. Durante los últimos años nuestro país no aumentó su exportación de vainas de vainilla debido a que no hay suficiente superficie de cultivo. Sin embargo, el consumo interno de vainilla se ha incrementado en un 2.5% de 2009 a 2014, lo cual se atribuye al aumento de los rendimientos de los sistemas de cultivo, en este periodo de tiempo la superficie cultivada se incrementó en un 1.6% y los rendimientos aumentaron en un 2.0% [39-43]. La vainilla mexicana tiene una gran oportunidad de negocio en el mercado internacional si se le da un valor agregado a través del proceso de curado e industrialización, pero esta actividad actual es normalmente realizada por los países intermediarios del comercio de la vainilla. De acuerdo con los resultados obtenidos, es claro que es necesario abordar cuatro temas claves en la producción de la *V. planifolia* en nuestra región de estudio como son los bajos rendimientos, la baja calidad, la preservación del cultivo y la biodiversidad, la ubicación geográfica de los cultivares y las políticas adecuadas para aplicar estrategias de precios diferenciados.

El problema del bajo rendimiento de las vainas de vainilla en nuestra área de estudio está estrechamente relacionado con el uso extensivo de los cultivares tradicionales de vainilla de *V. planifolia*, ya que está vinculado a la cultura totonaca donde los agricultores locales utilizan las especies locales como plantas de apoyo y las utilizan como materia prima para leña, frutos comestibles, como especias en la aromatización de alimentos, madera para la construcción de casas o la fabricación de muebles. Además, es necesario mencionar que estos cultivares no utilizan pesticidas ni fertilizantes. La calidad de las vainas de vainilla producidas en la región de estudio también se debe a la falta de asistencia técnica especializada para completar de manera adecuada el proceso de curado. Es importante mencionar que en los cultivares de vainilla analizados en esta investigación, el 95% de los agricultores no realizan ningún proceso adicional y se vende comúnmente como vainilla de grano verde y el otro 5% realiza el proceso de curado de manera tradicional y utilizando una exposición directa al sol, por lo tanto se está perdiendo una gran oportunidad para mejorar las ganancias y más específicamente para mejorar la cadena de valor de la producción de aroma natural de *V. planifolia*. Otro factor que podría afectar la calidad de la vainilla es la exposición a huracanes y otros fenómenos meteorológicos que en algunos años afectan de manera considerable a los cultivares de vainilla, y finalmente como podemos ver, la ubicación geográfica y agroecológica de los cultivares afectan la calidad. Los cultivares semitecnificados y tecnificados en nuestra región de estudio son una seria alternativa para aumentar los rendimientos y la productividad de vainilla, pero la implementación de estos tipos de cultivares han traído como consecuencia la pérdida de biodiversidad de los ecosistemas locales, por ejemplo, los cultivares de naranjo bajo y bajo sombra *Erythrina* sp. utilizan sólo 6 y 10 especies de árboles y arbustos, respectivamente. Como consecuencia, si estos cultivares se utilizan de forma extensiva en la región, podrían desplazarse especies y poblaciones de aves, mamíferos y reptiles y, además, los sistemas de riego ejercen presión sobre la dinámica de los ecosistemas locales.

V. CONCLUSIONES

La implementación de cultivares tecnificados de *V. planifolia* permite que las asociaciones de productores locales sigan de cerca la evolución y expansión de los cultivares de vainilla en la región de estudio.

La calidad de la vainilla producida en México está en función de los metabolitos secundarios responsables de su aroma característico. La evaluación de la calidad está en función de la vainilla verde y curada a través de su apariencia física, humedad, color, peso, concentración de vainillina.

Existen diferencias en las concentraciones de vainillina entre las vainas curadas de vainilla, por lo que se debe proponer un precio diferencial de acuerdo con la concentración del aroma.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a 132 productores de vainilla de las comunidades de Olintla, Vicente Guerrero y Lipuntahuaca del noroeste de la Sierra de Puebla, México, por las ayudas y orientaciones de los cultivos de vainilla y el proceso de curado de las vainas de *V. planifolia*. Esta investigación fue financiada a través del proyecto "Prácticas Bioculturales y Tecnológicas Agroforestales en las Comunidades Rurales del Totonacapan" ID 23983, Clave UIEP-CA-2 Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) y por el Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa (PFCE 2017), México. Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México), Sistema Nacional de Investigadores y al Colegio de Postgraduados.

REFERENCIAS

- [1] Arya, S.S.; Rookes, J.E.; Cahill, D.M.; Lenka, S.K. Vanillin: a review on the therapeutic prospects of a popular flavouring molecule. *Adv Trad Med* 2021.
- [2] Romero-Cortes, T.; Pérez-España, V.H.; López-Pérez, P.A.; Rodríguez-Jimenes, G.C.; Robles-Olvera, V.J.; Aparicio-Burgos, J.E.; Cuervo-Parra, J.A. Antifungal activity of vanilla juice and vanillin against *Alternaria alternata*, *CyTA. J Food* 2019, 17, 375-383
- [3] Baqueiro-Peña, I.; Guerrero-Beltrán, J.A. Vanilla (*Vanilla planifolia* Andr.), its residues and other industrial by-products for recovering high value flavor molecules: A review. *J Appl Res Med Arom Plant* 2017, 6, 1-9
- [4] Banerjee, G.; Chattopadhyay, P. Vanillin biotechnology: the perspectives and future. 2019, 99, 499-506
- [5] Geibler, K.; Greule, M.; Schafer, U.; Hans, J.; Geibler, T.; Meier, L.; Keppler, F.; Krammer, G. Vanilla authenticity control by DNA barcoding and isotope data aggregation. *Flavour Frag J* 2017, 32, 228-237.
- [6] Hernández-Fernández, M.A.; Rojas-Avila, A.; Vazquez-Landaverde, P.A.; Cornejo-Mazón, M.; Dávila-Ortiz, G. Volatile compounds and fatty acids in oleoresins from *Vanilla planifolia* Andrews obtained by extraction with supercritical carbon dioxide, *CyTA - J Food* 2019, 17, 419-430.
- [7] González-González, R.M.; Barragán-Mendoza, L.; Peraza-Campos, A.L.; Muñoz-Valencia, R.; Ceballos-Magaña, S.G.; Parra-Delgado, H. Validation of an HPLC-DAD method for the determination of plant phenolics. *Rev Brasileira Farm* 2019, 29, 689-693
- [8] Lahouidak, S.; Salghi, R.; Zougagh, M.; Rios, A. Capillary electrophoresis method for the discrimination between natural and artificial vanilla flavor for controlling food frauds. *Electroph* 2018, 39, 1628-1633.
- [9] King, S.; Gillette, M.; Titan, D.; Adams, J.; Ridgely, M. The sensory quality system: a global quality control solution. *Food Qual Prefer* 2002, 13, 385-395.
- [10] Cid, T.S.; López, A. Extractos de vainilla: una mezcla de componentes químicos de aroma y sabor. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos* 2011, 5, 51-63.
- [11] Besse, P.; Da Silva, D.; Bory, S.; Grisoni, M.; Le Bellec, F.; Duval, M.F. Rapid genetic diversity in cultivated vanilla: *Vanilla planifolia*, and relationships with *V. tahitensis* and *V. pompona*. *Plant Sci* 2004, 167, 379-385.
- [12] Frenkel, D.H.; Frenkel, C. Postharvest and handling and storage of cured beans. In: *Postharvest Review*. 2006.

- [13] Gallage, N.J.; Moller, B.L. Vanillin-Bioconversion and Bioengineering of the most popular plant flavour and its De Novo biosynthesis in the vanilla orchid. *Mol Plant* 2015, 8, 40-57.
- [14] Sinha, A.K.; Sharma, U.K.; Sharma, N.A. comprehensive review on vanilla flavor: extraction, isolation and quantification of vanillin and other constituents. *Int Food Sci Nutr* 2008, 59, 299-326.
- [15] Jagerdeo, E.P.; Passetti, S.M.; Dugar, S.M. Liquid chromatographic determination of vanilla and related aromatic compounds. *J. AOAC Int* 2000, 83, 237-240.
- [16] Perez-Silva, A.; Odoux, E.; Brat, P.; Ribeyre, F.; Rodríguez-Jimenes, G.; Robles, O.V.; García A.M.A.; Günta, Z. GC-MS and GC-olfactometry analysis of aroma compounds in a representative organic aroma extract from cured vanilla (*Vanilla planifolia* G. Jackson) beans. *Food Chem* 2006, 99, 728-735.
- [17] Kishor, K.K.; Aru, A.A.; Ahmad, R.; Adhikari, S.; Variyar, P.S.; Sharma, A. Effect of gamma-radiation on major aroma compounds and vanillin glucoside of cured vanilla beans (*Vanilla planifolia*). *Food Chem* 2010, 122, 841-845.
- [18] Soto, A. La vainilla: retos y perspectivas de su cultivo. *Biodiversitas* 2006, 66, 1-9.
- [19] Bory, S.; Grisoni, M.; Duval, M.F.; Besse, P. Biodiversity and preservation of vanilla: present state of knowledge. *Genet Resour Crop Evol* 2007, 55, 551-571.
- [20] Salazar-Rojas, V.M.; Herrera-Cabrera, B.E.; Delgado-Alvarado, A.; Soto-Hernández, M. Chemotypical variation in *Vanilla planifolia* Jack. (Orchidaceae) from the Puebla-Veracruz Totonacapan region. *Genet Resour Crop Evol* 2012, 59, 875-887.
- [21] Sanchez-Galindo, M.; Arevalo-Galarza, A.D.; Herrera-Cabrera, B.E.; Osorio-García, C. Quality of green and cured vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) fruit in relation to its age at harvest. *Rev Chap Ser Horticult* 2018, 24, 203-213.
- [22] Espinoza-Pérez, J.; Díaz-Bautista, M.; Barrales-Cureño, H.J.; Herrera-Cabrera, B.E.; Sandoval-Quintero, M.A.; Juárez-Bernabe, Y.; Reyes, C. Floristic diversity in *Vanilla planifolia* agroecosystems in the Totonacapan region of Mexico. *BioCell* 2019, 43, 440-452.
- [23] Díaz-Bautista, M.; Francisco-Ambrosio, G.; Espinoza-Pérez, J.; Barrales-Cureño, H.J.; Reyes, C.; Herrera-Cabrera, B.E.; Soto-Hernández, M. Morphological and phytochemical data of *Vanilla* species of Mexico. *Data Brief* 2018, 20, 1730-1738.
- [24] Díaz, M.; Herrera, B.E.; Castillo, F.; Soto, R.M.; Delgado, A.; Zavaleta, H.A. Caracterización de agroecosistemas con *Vanilla* spp., (Orchidaceae) en el Totonacapan, México. *Agroprod* 2018, 11, 64-69.
- [25] Gassenmeier, K.; Riesen, B.; Magyar, B. Commercial quality and analytical parameters of cured vanilla beans (*Vanilla planifolia*) from different origins from the 2006-2007 crop. *Flavour Fragr J* 2008, 23, 194-201.
- [26] Barrera-Rodríguez, A.I.; Jaramillo-Villanueva, J.L.; Escobedo-Garrido, J.S.; Herrera-Cabrera, B.E. Rentabilidad y competitividad de producción de vainilla (*Vanilla planifolia* J.) en la Región del Totonacapan, México. *Agrociencia* 2011, 45, 625-638.
- [27] Havkin-Frenkel, D.; Frenkel, C. Postharvest handling and storage of cured vanilla beans In: *Stewart Postharvest Review*. 2006.
- [28] Jaramillo-Villanueva, J.L.; Escobedo-Garrido, J.S.; Barrera-Rodríguez, A.; Herrera-Cabrera, B.E. Economic efficiency of vanilla curing (*Vanilla planifolia* J.) in the Totonacapan region, Mexico. *Rev Mexicana Cienc Agríc* 2013, 4, 477-483.
- [29] Barrera, A.I.; Herrera, B.E.; Jaramillo, J.L.; Escobedo, J.S.; Bustamante, A. Caracterización de los sistemas de producción de vainilla (*Vanilla planifolia* A.) bajo naranjo y en malla sombra en el Totonacapan. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2009, 10, 199-212.

- [30] Espinoza-Pérez, J.; Herrera-Cabrera, B.E.; Zizumbo-Villarreal, D.; Delgado-Alvarado, A.; Salazar-Rojas, V.M. Producer profile by intensity of management on vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks, ex Andrews) in the Totonacapan region, Mexico. *Agroprod* 2018, 11, 58-63.
- [31] Mata, G.B.; López, M.; González, S.; Almaguer, R.; Espinosa, K.; Badillo, O.; Fajardo, F. Agricultural con sabor cítrico y aroma de vainilla en la region del Totonacapan. CIISMER. Universidad Autónoma Chapingo. 2007. 288 p.
- [32] Sinha, A.K.; Verma, S.C.; Sharma, U.K. Development and validation of an RP-HPLC method for quantitative determination of vanillin and related phenolic compounds in *Vanilla planifolia*. *J Sep Sci* 2007, 30, 15-20.
- [33] Jadvad, D.; Recka, B.N.; Gogate, P.R.; Rathod, V.K. Extraction of vanillin from vanilla pods: a comparison study of conventional soxhlet and ultrasound assisted extraction, *J Food Eng* 2009, 93, 421-426.
- [34] Ramachandra, R.S.; Ravishankar, G.A. Vanilla flavour: production by conventional and biotechnological route. *J Sci Food Agric* 2000, 80, 289-304.
- [35] New Scientist Blight hits world's vanilla supply. *The New scientist* 2008, 200, 6.
- [36] Vergara-Tenorio, M.; Cervantes-Vásquez, J.R. Riesgo, ambiente y percepciones en una comunidad rural totonaca. *Econ, Soc Territ Vol. IX* 2009, 9, 145-163.
- [37] SIAP 2018. Sistema de Información Agrícola y Pesquera. Producción agrícola. <http://www.siap.gob.mx>
- [38] Santillán-Fernández, A.; Salas-Zuñiga, A.; Vásquez-Bautista, N. La producción de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews) en México de 2003 a 2014. *Rev Mex Cienc Flores* 2018, 9, 050-060.
- [39] Jenkins, M.; Bilsland, J.; Allsopp, T.E.; Ho, S.V.; Fraid, S.S. Patient-specific hiPSC bioprocessing for drug screening: Bioprocess economics and optimisation. *Biochem Eng Journal* 2016, 108, 84-97.
- [40] Sharma, A.; Verma, S.C.; Saxena, N.; Chadda, N.; Singh, N.P.; Sinha, A.K. Microwave and ultrasounds assisted extraction of vanillin and its quantification by high-performance liquid chromatography in *Vanilla planifolia*. *J Sep Sci* 2006, 29, 613-619.
- [41] Bensaid, F.F.; Wietzerbin, K.; Martin, G.J. Authentication of natural vanilla flavorings: isotopic characterization using degradation of vanilla into guaiacol. *JRNL Agric Food Chem* 2002, 50, 6271-6275.
- [42] Li, Y.H.; Sun, Z.H.; Zheng, P. Determination of vanillin, eugenol and isoeugenol by RP-HPLC, *Chromat* 2004, 60, 709-713.
- [43] Panossian, A.; Mamikonyan, G.; Torosyan, M.; Gabrielyan, E.; Mkhitarian, S. Analysis of aromatic aldehydes in brandy and wine by high-performance capillary electrophoresis. *Anal Chem* 2001, 73, 4379-4383.