

Recibido: Ago. 8, 2025 | Aceptado: Sep. 22, 2025 | Publicado: Nov. 5, 2025

Análisis de la literatura científica entorno a la producción sostenible del cultivo de *Vanilla planifolia*: Desafíos y oportunidades

Analysis of the scientific literature on the sustainable production of Vanilla planifolia crops: Challenges and opportunities

DOI: <https://doi.org/10.21803/ingecana.5.5.972>

MARCO VINICIO RODRÍGUEZ-DEMÉNEGHI

Doctor en Ciencias, Universidad Veracruzana, marcorodriguez05@uv.mx
<https://orcid.org/0000-0002-0371-4434>

NOÉ AGUILAR-RIVERA

Doctor en Ciencias, Universidad Veracruzana, naguilar@uv.mx
<https://orcid.org/0000-0002-7833-6749>

MARÍA ELENA MONTES-AYALA

Maestra en Ciencias, Universidad Católica de El Salvador, maria.montes@catolica.edu.sv
<https://orcid.org/0009-0000-2293-7361>

Resumen

Vanilla planifolia es una orquídea de hábito trepador y principal fuente natural de vainillina, utilizada en diversas industrias. La bibliometría permite analizar la evolución y las brechas en la investigación. El análisis se realizó utilizando los términos “vanilla” y “sustainable” en publicaciones entre 2002 y 2025. Se utilizó Scopus y VOSviewer para construir gráficos estadísticos y mapas de concurrencia. Se estipuló un umbral de tres documentos por país y tres repeticiones por término. La literatura científica ha tenido un crecimiento notable en 2023. A nivel global, 29 países han contribuido, destacando Estados Unidos e India. A pesar de la importancia de la vainilla en Latinoamérica, la producción científica es limitada. Términos como diversificación de cultivos y aprendizaje colaborativo han ganado relevancia, lo que sugiere un enfoque en la sostenibilidad agrícola. Es indispensable fomentar entre las naciones la implementación de sistemas agrícolas sostenibles que garanticen una producción de vainilla de calidad.

Palabras clave: Bibliometría, diversificación de cultivos, sostenibilidad agrícola, vainilla de calidad.

Abstract

Vanilla planifolia is a climbing orchid and the main natural source of vanillin, used in various industries. Bibliometrics allow for the analysis of research evolution and gaps. The analysis was conducted using the terms “vanilla” and “sustainable” in publications between 2002 and 2025. Scopus and VOSviewer were used to construct statistical graphs and co-occurrence maps. A threshold of three documents per country and three repetitions per term was set. The scientific literature has seen notable growth in 2023. Globally, 29 countries have contributed, particularly the United States and India. Despite the importance of vanilla in Latin America, scientific production is limited. Terms such as crop diversification and collaborative learning have gained relevance, suggesting a focus on agricultural sustainability. It is essential to encourage nations to implement sustainable agricultural systems that guarantee quality vanilla production.

Keywords: Bibliometrics, crop diversification, agricultural sustainability, quality vanilla.

Cómo citar este artículo:

M.V. Rodríguez-Deméneghi, N. Aguilar-Rivera y M.E. Montes-Ayala «Análisis de la literatura científica entorno a la producción sostenible del cultivo de *Vanilla planifolia*: Desafíos y oportunidades». *Ingente Americana*, vol. 5, n°5, e-972, 2025. DOI: <https://doi.org/10.21803/ingecana.5.5.972>



Introducción

Vanilla planifolia es una orquídea epífita de hábito trepador, pertenece a la familia Orchidaceae y es ampliamente cultivada en regiones tropicales y subtropicales debido a su adaptación óptima a climas cálidos y húmedos. Originaria de México, esta especie ha sido domesticada y utilizada desde la época prehispánica [1]. Su cultivo se ha expandido en regiones productoras clave como México, Madagascar, Indonesia y Tahití, adoptando nombres locales como vainilla mexicana (México), vainilla bourbon (Madagascar) y vainilla tahitiana (Tahití) [2]. Así mismo, existen otros países emergentes en Centroamérica, como es el caso de El Salvador, que más recientemente ha incursionado en la investigación y producción de vainilla, encontrando algunos sitios de plantaciones nativas [3]. Este cultivo es reconocido por su importancia como fuente natural de vainillina, el compuesto aromático responsable de su característico aroma y sabor [4]. Así mismo, su fruto, conocido como vaina de vainilla, es ampliamente utilizado en la industria alimentaria como ingrediente en productos de panadería, confitería, bebidas, helados e incluso de licores [5] (Fig. 1). Las vainas contienen otros compuestos bioactivos, como polifenoles, flavonoides y taninos, que contribuyen a sus propiedades antioxidantes y conservantes [6], [7]. En la gastronomía tradicional mexicana, la vainilla se emplea en bebidas como el atole y el chocolate, mientras que en Francia y Estados Unidos es un ingrediente clave en la repostería gourmet [8].

Fig. 1. Vaina de *Vainilla planifolia* en verde, previa a ser cosechada.



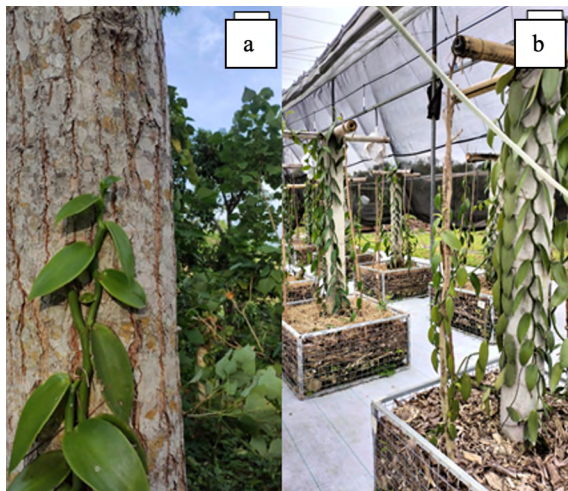
Fotografía tomada por: Marco V. Rodríguez-Deméneghi.

En el ámbito medicinal, estudios recientes han destacado las propiedades antioxidantes, neuroprotectoras y antiinflamatorias de los extractos de *V. planifolia*, sugiriendo su potencial en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer y trastornos metabólicos como la diabetes tipo 2. La vainillina ha sido evaluada por sus efectos hipoglucemiantes, lo que la convierte en un candidato prometedor para el manejo de la diabetes [9], [10]. En la industria cosmética, los extractos de vainilla se valoran por su acción hidratante, antimicrobiana y aromaterapéutica, siendo utilizados en perfumes, cremas y aceites esenciales [11].

MARCO TEÓRICO

V. planifolia es un cultivo con alto valor ecológico, ya que se desarrolla bajo sistemas agroforestales que promueven la conservación de la biodiversidad, sin embargo, también ha aumentado la producción intensiva en sistemas controlados (Fig. 2 ab). Aun este cultivo en asociación con árboles como *Erythrina* spp. y *Gliricidia sepium* en México y Madagascar favorecen la resiliencia de los ecosistemas agrícolas al proporcionar sombra, mejorar la estructura del suelo y fomentar la biodiversidad microbiana [1]. Sin embargo, la producción de vainilla enfrenta desafíos significativos, como la polinización manual, que sigue siendo un proceso laborioso debido a la ausencia de sus polinizadores naturales fuera de su hábitat original en Mesoamérica [12].

Fig. 2. Producción de vainilla bajo sistemas agroecológico (a), producción de vainilla bajo sistema controlado (b).



Fotografías tomadas por: Marco V. Rodríguez-Deméneghi.

En las últimas décadas, el cultivo de *V. planifolia* ha despertado un creciente interés en distintas partes del mundo, especialmente en países asiáticos como China e India, donde la producción ha aumentado en respuesta a la alta demanda [13]. Madagascar es el principal productor mundial, con una participación del 80% en el mercado global, seguido por Indonesia y México

[14]. El comercio global de ha evolucionado notablemente en las últimas décadas, sin embargo, la alta demanda de vainilla natural ha llevado a un aumento en los precios, lo que ha incentivado la adulteración con vainillina sintética derivada de la lignina y el guayacol [15]. Estos problemas de sostenibilidad han generado preocupaciones sobre la trazabilidad y autenticidad del producto, en este sentido, la aplicación de técnicas como la metabolómica y la genómica ha permitido identificar marcadores bioquímicos y genéticos que garantizan la calidad y autenticidad de la vainilla comercializada [16]. A pesar de su creciente importancia, *V. planifolia* ha sido objeto de un número limitado de análisis bibliométricos en comparación con otros cultivos comerciales. La bibliometría es una metodología de investigación cuantitativa que emplea técnicas estadísticas y minería de datos para identificar, analizar y visualizar patrones en la producción científica mundial [17]. Este tipo de análisis ha sido fundamental para mapear el crecimiento y la evolución de disciplinas clave como la agronomía, la biotecnología y la ciencia de los alimentos [18]. Al proporcionar un resumen conciso de los resultados más representativos de la literatura científica, la bibliometría no solo facilita el acceso a la información relevante, sino que también permite la toma de decisiones informadas para futuros desarrollos e investigaciones. El estudio de la interacción entre factores ambientales, socioeconómicos y genéticos en la sostenibilidad del cultivo de *V. planifolia* representa una brecha significativa en la investigación científica. Esta revisión busca llenar este vacío proporcionando un análisis exhaustivo de las publicaciones científicas relacionadas con la vainilla. En este contexto, la bibliometría tiene un impacto crucial, no solo para los investigadores, sino también para los actores de la industria agrícola y alimentaria, especialmente en países productores como Madagascar y México. Estos países, que representan una gran parte de la producción global de vainilla, podrían beneficiarse de una comprensión más profunda de las tendencias científicas y comerciales que rodean a este cultivo. Esta información no solo facilita su integración en mercados internacionales, sino que también podría impulsar la innovación y el desarrollo de pro-

ductos derivados, asegurando un futuro sostenible para la producción de vainilla.

METODOLOGÍA

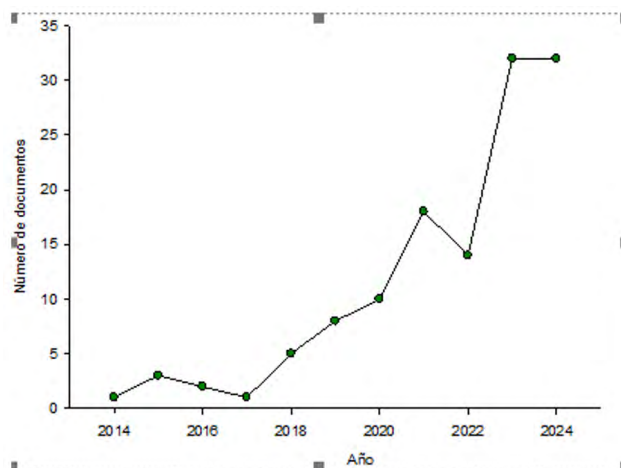
El material utilizado para el análisis se obtuvo de la base de datos Scopus que pertenece a la editorial Elsevier, seleccionado debido a su amplia cobertura multidisciplinaria, alta precisión en la indexación y la confiabilidad de sus registros, que incluyen literatura científica revisada por pares de diversas áreas del conocimiento. El 20 de febrero de 2025 se realizó una búsqueda en Scopus utilizando el término “vainilla” y “sustainable” dentro de un rango de años del 2002 a 2025. Esta búsqueda recuperó un total de 136 documentos relacionados con la temática, que fueron utilizados para construir los mapas bibliométricos y analizar las tendencias de investigación en torno a esta especie. Para la construcción y visualización de los mapas bibliométricos, se utilizó el software VOSviewer, ampliamente reconocido en estudios cuantitativos. Se elaboraron cuatro mapas, de los cuales dos representaron la distribución geográfica de los países y los otros dos de palabras claves recurrentes. En los mapas relacionados con los países, se estableció un umbral mínimo de tres documentos por país, lo que permitió incluir un total de 19 países. Para los mapas de palabras clave, se aplicó un umbral de frecuencia mínima de tres repeticiones por término relacionadas con las palabras de autor, lo que resultó en la inclusión de 18 palabras clave más relevantes. Los parámetros utilizados en la visualización fueron los siguientes: una escala de visualización de 1.0, el método de fuerza de asociación para la agrupación de elementos, y la visualización de agrupamiento con un valor de 1.0 para facilitar la identificación de las relaciones más significativas dentro de los datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción científica y naciones que contribuyeron a la investigación de vainilla y su impacto relacionado con la sostenibilidad

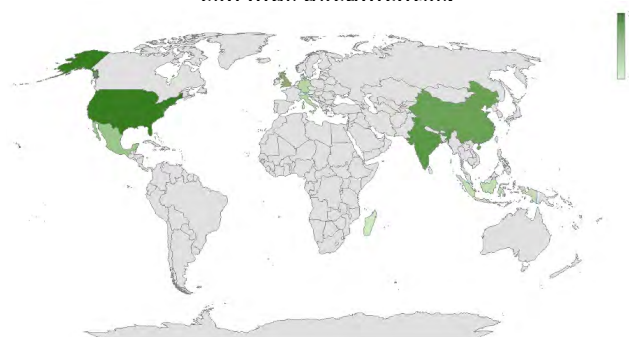
En el análisis de la producción científica generada se observa un crecimiento variable en la cantidad de publicaciones registradas (Fig. 3). Esta fluctuación sugiere un interés progresivo en este importante cultivo ancestral de relevancia para los pueblos mesoamericanos en la época prehispánica, impulsado por su relevancia en múltiples disciplinas, tales como la agroindustria, la alimentación, y la sostenibilidad. Además, dicho incremento en la producción académica se ha visto favorecido por el desarrollo de nuevas metodologías de investigación, esto ha dado paso a la implementación de estrategias innovadoras para la optimización del cultivo en contextos de resiliencia ambiental [19], [20]. A lo largo de los últimos 23 años, se observó que el 2023 y 2024 fue el año con el mayor número de documentos publicados ambos con 32, lo que indica un marcado auge en la exploración científica de esta temática durante ese período. Este comportamiento podría atribuirse un renovado interés tanto por su valor económico y farmacológico, debido por su potencial en la mejora de métodos de extracción de la vainillina, así como por los compuestos bioactivos que permiten ser agregado idóneo para crema, lociones y tratamientos de belleza [21], [22], [23].

Fig. 3. Número de publicaciones científicas vinculadas con las palabras “vainilla” y “sustainable” del 2014 hasta 2024 para todas las ciencias.



Los hallazgos indican que 2014 y 2017 fueron los años con menor producción científica, con solo un documento publicado por año, marcando un punto de inflexión. A partir de 2018, se evidencia un incremento significativo en la generación de conocimiento, reflejado en un volumen considerable de publicaciones que abordan temas innovadores sobre el valor nutricional, la producción, así como métodos de conservación y extracción. No obstante, en 2022 se documentó una reducción en la cantidad de publicaciones ($n=24$), situándose incluso por debajo del nivel alcanzado en 2021, cuando se registraron 18 documentos. Esta disminución podría estar relacionada con restricciones presupuestarias, modificaciones en las prioridades de investigación a nivel global o reajustes en las estrategias de financiamiento y divulgación científica. Estos patrones resaltan la necesidad de fortalecer la cooperación científica y garantizar un financiamiento sostenido que permita consolidar el desarrollo de conocimiento en torno a la vainilla y su producción sustentable [24]. En el mundo existen diversas especies de vainilla con alto potencial agroindustrial y ecológico, como *Vanilla planifolia*, *Vanilla pompona* y *Vanilla tahitensis*, las cuales requieren mayores estudios para su conservación, cultivo optimizado y aprovechamiento sostenible. En los últimos años, ha crecido el interés en la producción sustentable de vainilla, destacando la aplicación de técnicas agroecológicas y el uso de bioinsumos [25]. Además, la extracción de compuestos bioactivos como la vainillina natural y otros metabolitos secundarios ha cobrado relevancia en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica debido a sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas [11]. Por otro lado, el aumento de prácticas agrícolas regenerativas y la integración de pequeños productores en cadenas de valor han demostrado ser estrategias clave para fortalecer la producción de vainilla de manera equitativa y resiliente. Ante estos avances, es fundamental intensificar los esfuerzos en la investigación y el desarrollo de tecnologías innovadoras que garanticen la sostenibilidad del cultivo, asegurando así su viabilidad económica, social y ambiental a largo plazo.

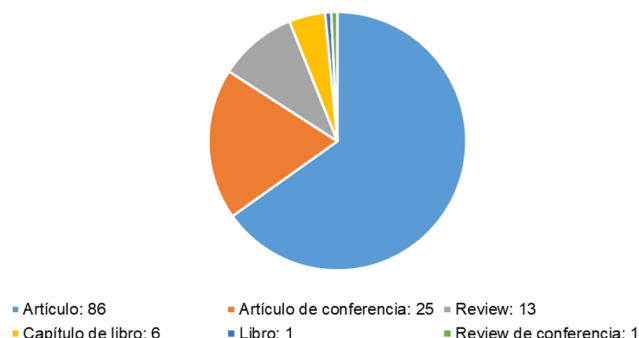
Fig. 4. Mapa mundial de los países con más de 3 documentos relacionados con la vainilla y la sustentabilidad. Tonalidad verde intenso señala los países con más documentos.



El análisis de los países que han generado una mayor cantidad de información científica pone de manifiesto la participación de 29 naciones (Fig. 4). Dentro de este grupo, destacan especialmente diez países como líderes en la producción de conocimiento sobre este tema: Estados Unidos, India, China, Reino Unido, México, Alemania, Italia, Indonesia, Madagascar y los Países Bajos. Estos países no solo reflejan las tendencias predominantes en áreas como la alimentación y la farmacología, sino que también subrayan el creciente interés por la sostenibilidad y el aprovechamiento de la vainilla en diversas ramas de la ciencia y la industria. Este panorama evidencia una diversificación de los enfoques de investigación, que abordan desde los aspectos nutricionales y medicinales hasta las aplicaciones más recientes en procesos industriales sostenibles [26]. El papel de varios de estos países en la investigación sobre la vainilla está estrechamente relacionado con su historia agrícola y la prominencia de la vainilla como cultivo esencial [27], [28]. Madagascar, Indonesia, México y Tahití han sido centros habituales de producción de vainilla, destacándose por su liderazgo en la producción de vainilla de alta calidad. Mientras tanto, países como India y China han sido pioneros en la investigación sobre la mejora genética de la vainilla, enfocándose en el desarrollo de variedades resistentes a enfermedades y adaptadas a diferentes condiciones climáticas [29], [30]. En América Latina,

Brasil y Perú han comenzado a investigar el cultivo sustentable de la vainilla, implementando prácticas agroecológicas para reducir el impacto ambiental y mejorar la resiliencia ante el cambio climático [31]. En cuanto a la sostenibilidad, la vainilla presenta características únicas que pueden contribuir a la preservación de ecosistemas frágiles, ya que su cultivo en sistemas agroforestales promueve la biodiversidad [32]. En África, la investigación sobre la vainilla ha comenzado a centrarse en el uso de métodos de cultivo orgánicos y en la conservación de especies silvestres de vainilla que podrían ofrecer alternativas resistentes a condiciones adversas [33]. Además, países como Estados Unidos y Francia han explorado la vainilla desde una perspectiva biotecnológica, enfocándose en la extracción de compuestos bioactivos como la vainillina y su uso en la industria farmacéutica y cosmética [34]. Algunos países asiáticos, por su parte, han estudiado el potencial de la vainilla para la industria nutracéutica, destacando sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias [35]. Esta creciente diversificación en las aplicaciones refleja un interés por aprovechar su potencial más allá de la industria alimentaria, lo cual ha impulsado el estudio de su valor integral. Para garantizar un aprovechamiento sostenible de la vainilla en el futuro, la conservación de sus especies endémicas y su diversidad genética se ha vuelto una prioridad [3]. Iniciativas como los bancos de germoplasma y proyectos de conservación *in vitro* e *in situ*, liderados por países como México y Madagascar están ayudando a proteger este recurso tan valioso [36], [37], [38]. Sin embargo, para consolidar su rol en la investigación y fortalecer su posicionamiento global, es esencial que se continúe fomentando la colaboración internacional, garantizando financiamiento y promoviendo la sostenibilidad en todos los niveles de la cadena de valor. De este modo, los países productores podrán contribuir al desarrollo sustentable del cultivo, maximizando sus beneficios tanto para la industria como para el medio ambiente. Este enfoque integral permitirá que la vainilla continúe siendo un recurso valioso y perdurable, con un impacto positivo tanto a nivel económico como ecológico.

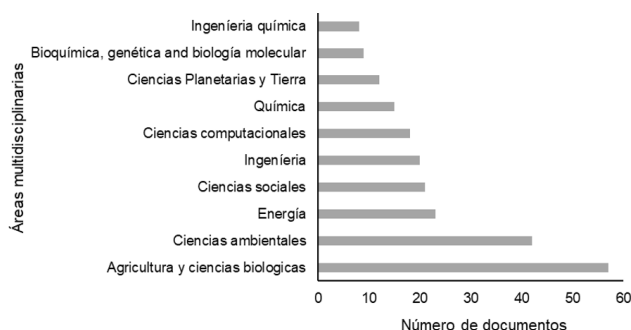
Fig. 5. Tipo de documentos involucrados en la investigación de la producción sustentable de vainilla del 2000 al 2025.



El análisis entorno al tipo de documentos publicados, revela que los artículos científicos la mayor proporción con 86 documentos, seguidos de artículos de conferencia (n=25), revisiones bibliográficas (n=13), capítulos de libro (n=6) y, en menor medida, libros y revisiones de conferencia, cada uno con un único documento (Fig. 5). Estos resultados indican que la investigación en este campo se difunde principalmente a través de artículos originales, lo que sugiere un enfoque en la generación de nuevo conocimiento. Sin embargo, el número relativamente bajo de revisión y capítulos de libros podría reflejar la necesidad de síntesis integradoras que faciliten la comprensión global del tema. La baja presencia de libros también sugiere oportunidades para consolidar el conocimiento en publicaciones más extensas y accesibles para diferentes audiencias. Las 10 áreas de investigación sobre vainilla y sustentabilidad revelan una distribución multidisciplinaria del conocimiento (Fig. 6). Predominan disciplinas como ciencias agrícolas y biológicas, ciencias ambientales, energía, ciencias sociales, ingeniería, ciencias computacionales, química, ciencias planetarias y de la Tierra, bioquímica, genética y biología molecular e ingeniería química. Esta diversidad evidencia la interconexión entre aspectos agronómicos, ecológicos, tecnológicos y económicos que influyen en el desarrollo sostenible de la vainilla. El predominio de las Ciencias Agrícolas y Biológicas sugiere que la inves-

tigación se ha centrado en optimizar la producción y mejorar las condiciones de cultivo, particularmente en respuesta a desafíos como el cambio climático y la degradación del suelo, esto concuerda con lo escrito en [19] donde de una manera holística visualiza los cambios en la distribución potencial de *V. planifolia* bajo diferentes proyecciones de cambio climático en México. La presencia significativa de estudios en ciencias ambientales refleja una creciente preocupación por la sostenibilidad del sistema productivo, incluyendo el impacto ecológico del cultivo y las estrategias para su mitigación. Por otro lado, la inclusión de disciplinas como química, bioquímica y genética resalta la importancia del análisis de los compuestos bioactivos de la vainilla, así como las oportunidades de mejoramiento genético para incrementar la calidad y resistencia de las plantas, esto comentado de igual manera por [30].

Fig. 6. Áreas multidisciplinarias que participan en las investigaciones sobre la vainilla y la sustentabilidad del 2000 al 2025.



La presencia de algunas ingenierías indica el interés en los procesos de extracción, biotransformación y verificación de compuestos de interés comercial como la vainillina, debido a que se ha encontrado presencia en el mercado de vainilla falsa y gracias a estos procesos se puede comprobar su autenticidad como lo menciona [16]. La participación de las ciencias sociales subraya la importancia del contexto socioeconómico en la producción de vainilla, especialmente en comunidades productoras donde la actividad agrícola representa una fuente clave de in-

gresos, por ende, trabajos publicados por [25] y [39] son de gran relevancia para enfoque sustentable. Esta perspectiva multidisciplinaria es fundamental para abordar la producción sustentable de la vainilla desde un enfoque integral.

TABLA I.

Autores, instituciones y programas que participan en las investigaciones sobre la vainilla y la sustentabilidad del 2000 al 2025, consultado el 20 de febrero de 2025. NdD=Número de documentos

Rank	Autores	NdD	Afiliación	NdD
1	Andrianiana, A. (Madagascar)	3	Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China (China)	6
2	Azapagic, A. (Reino Unido)	3	National Key Research and Development Program of China (China)	5
3	Cotton, S. (Reino Unido)	3	National Natural Science Foundation of China (China)	5
4	Hending, D. (Reino Unido)	3	Jiangsu Provincial Department of Science and Technology (China)	4
5	Karremans, A.P. (Alemania)	3	Engineering and Physical Sciences Research Council (Reino Unido)	3
6	Khazi, M.I. (No se encontró)	3	European Commission (Europa)	3
7	Konstantas, A. (No se encontró)	3	Fonds Wetenschappelijk Onderzoek (Bélgica)	3
8	Liaqat, F. (No se encontró)	3	Horizon 2020 Framework Programme (Estados Unidos)	3
9	Llopis, J.C. (España)	3	Instituto Politécnico Nacional (México)	3
10	Mosquera-Espinosa, A.T. (Colombia)	3	Jiangsu Provincial Key Research and Development Program (China)	3

El análisis de la autoría en la producción científica muestra que todos los investigadores analizados poseen al menos tres artículos en esta temática (Tabla 1). La mayoría de los autores provienen del Reino Unido y Madagascar, mientras que solo un autor latinoamericano, originario de Colombia, ha contribuido a este campo. Sorprendentemente, no se identificó a ningún investigador mexicano con publicaciones rele-

vantes, a pesar de que la vainilla es una especie originaria de México y su cultivo tiene una gran importancia histórica, económica y cultural en el país [38]. Esta ausencia de representación mexicana en la producción científica puede deberse a diversos factores, entre ellos la falta de financiamiento para la investigación, la poca vinculación entre la academia y el sector productivo, y una menor visibilidad de los estudios realizados en el país. La mayor presencia de investigadores del Reino Unido sugiere un interés probablemente motivado por su relevancia en la industria de sabores y fragancias. Por otro lado, la participación de autores de Madagascar es comprensible, dado que este país es el principal productor mundial de vainilla, lo que ha incentivado investigaciones sobre su cultivo, producción y sostenibilidad. Estos resultados resaltan la necesidad de fortalecer la investigación en México sobre la vainilla y su sustentabilidad, promoviendo colaboraciones internacionales y fomentando estudios que impulsen el desarrollo sostenible de este cultivo en su país de origen [39]. Las instituciones y programas que financian son clave para el progreso, en los resultados obtenidos se muestran que China encabeza la lista de países que brindan apoyo económico en esta área. Posteriormente sigue otras naciones europeas, como el Reino Unido y Bélgica, que también han destinado recursos para el estudio de este cultivo y su impacto ambiental. Sin embargo, resulta notable la ausencia de instituciones de Madagascar e Indonesia, los principales productores mundiales de vainilla, lo que sugiere una posible limitación en el acceso a financiamiento para la investigación en estos países. Esta falta de apoyo en regiones productoras podría estar relacionada con factores como la escasez de inversión en ciencia y tecnología, la priorización de la producción sobre la investigación, o la dependencia de modelos agrícolas tradicionales sin suficiente respaldo científico [40]. La ausencia de financiamiento en estas regiones podría representar una barrera para el desarrollo de prácticas más sostenibles que optimizan la producción sin comprometer los ecosistemas locales. En América, el Instituto Politécnico Nacional de México destaca como una de las pocas instituciones que han financiado estudios sobre la vainilla, lo que resalta la aún limitada inversión en esta área dentro de la región. Estos resultados evidencian la necesidad de fortalecer el finan-

ciamiento para la investigación en países productores, lo que concuerda por lo publicado por [41] para el caso particular de México.

La inclusión de los 10 artículos más citados en un análisis bibliométrico es fundamental para comprender la evolución del conocimiento científico en torno a este cultivo (Tabla 2). La cantidad de citas que recibe un artículo es un indicador clave de su impacto en la comunidad académica, lo que permite identificar las investigaciones más influyentes y cómo han contribuido a la comprensión de la relación entre la vainilla, el medio ambiente y la sociedad [42]. A través de estos estudios, se han identificado las principales estrategias para mejorar la producción de vainilla de manera sostenible, reduciendo la degradación ambiental y promoviendo el uso de prácticas agrícolas más responsables. Desde una perspectiva socioeconómica, la vainilla representa una fuente de ingresos esencial para muchas comunidades rurales, especialmente en países productores como Madagascar, Indonesia y México. Sin embargo, su cultivo enfrenta múltiples desafíos, como la variabilidad en los precios internacionales, la dependencia de técnicas de polinización manual y la vulnerabilidad ante el cambio climático [21]. La identificación de los artículos más citados ayuda a resaltar investigaciones que han abordado estos problemas, proponiendo soluciones para mejorar la rentabilidad de los productores y fortalecer la resiliencia del cultivo ante condiciones adversas. Esto no solo proporciona una visión general del estado actual de la investigación, sino que también facilita el establecimiento de redes de colaboración entre diferentes regiones. La cooperación internacional es clave para acelerar los avances en el mejoramiento genético de la vainilla, su comercialización y la diversificación de sus usos en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. En términos ambientales, la producción de vainilla debe abordarse con una visión de sustentabilidad que minimice la deforestación y fomente prácticas agroecológicas. La implementación de sistemas agroforestales, por ejemplo, ha demostrado ser una estrategia eficaz para conservar la biodiversidad y mejorar la calidad del suelo, lo que puede garantizar una producción más estable a largo plazo [43].

TABLA II.

Los 10 artículos más citados relacionados con la investigación de “vainilla” y “sustainable” entre el 2000-2025, consultado el 20 de febrero de 2025.

Rank	Título del documento	Autores	Fuente	Año	Citas	DOI
1	Bio-vanillin: Towards a sustainable industrial production	Martău, G. A., Călinoiu, L. F., & Vodnar, D. C.	<i>Trends in Food Science & Technology</i> , 109, 579-592	2021	126	https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.059
2	Catechyl lignin extracted from castor seed coats using deep eutectic solvents: characterization and depolymerization	Wang, S., Su, S., Xiao, L. P., Wang, B., Sun, R. C., & Song, G	<i>ACS Sustainable Chemistry & Engineering</i> , 8(18), 7031-7038	2020	88	https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c00462
3	Beyond the Bounty: Breadfruit (<i>Artocarpus altilis</i>) for food security and novel foods in the 21st Century	Jones, A. M. P., Ragone, D., Tavana, N. U. G., Bernotas, D. W., & Murch, S. J.	<i>Ethnobotany Research & Applications</i> , 9 pp. 129-149	2011	64	https://doi.org/10.1016/S0278-6915(01)00053-9
4	An investigation into consumer perception and attitudes towards plant-based alternatives to milk	Moss, R., Barker, S., Falkeisen, A., Gorman, M., Knowles, S., & McSweeney, M. B.	<i>Food Research International</i>	2022	61	https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111648
5	Extinction risk of Mesoamerican crop wild relatives	Goettsch, B., Urquiza-Haas, T., Koleff, P., Acevedo Gasman, F., Aguilar-Meléndez, A., Alavez, V., & Jenkins, R. K	<i>Plants, People, Planet</i> , 3(6), 775-795.	2021	53	https://doi.org/10.1002/ppp3.10225
6	The use of vanilla plantations by lemurs: encouraging findings for both lemur conservation and sustainable agroforestry in the Sava region, northeast Madagascar.	Hending, D., Andrianiana, A., Rakotomalala, Z., & Cotton, S	<i>International Journal of Primatology</i> , 39, 141-153	2018	43	https://doi.org/10.1007/s10764-018-0022-1
7	Blood glucose level prediction: advanced deep-ensemble learning approach	Nemat, H., Khadem, H., Eissa, M. R., Elliott, J., & Benaissa, M.	<i>IEEE journal of biomedical and health informatics</i> , 26(6), 2758-2769.	2022	41	https://doi.org/10.1109/JBHI.2022.3144870
8	Nutritional properties and health aspects of pulses and their use in plant-based yogurt alternatives	Boeck, T., Sahin, A. W., Zannini, E., & Arendt, E. K.	<i>Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety</i> , 20(4), 3858-3880	2021	41	https://doi.org/10.1111/1541-4337.12778
9	Extraction, purification, and applications of vanillin: A review of recent advances and challenges.	Liaquat, F., Xu, L., Khazi, M. I., Ali, S., Rahman, M. U., & Zhu, D.	<i>Industrial Crops and Products</i> , 204, 117372.	2023	39	https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117372
10	Land-use trajectories for sustainable land system transformations: Identifying leverage points in a global biodiversity hotspot.	Martin, D. A., Andrianiana, F., Fulgence, T. R., Osen, K., Rakotomalala, A. A. N. A., Raveloaritiana, E., & Kreft, H	<i>Proceedings of the National Academy of Sciences</i> , 119(7), e2107747119.	2022	38	https://doi.org/10.1073/pnas.2107747119

Análisis de las Palabras de concurrencia entorno a las palabras “vainilla” y “sustainable” entre 2002-2024

Se obtuvieron cinco grupos temáticos principales, con diferentes términos de concurrencia que se enlazan entre sí, mostrando patrones de investigación y áreas prioritarias dentro de la literatura científica

(Fig. 7a). Los grupos azul y verde fueron los que presentaron mayor densidad de términos, indicando una fuerte concentración de estudios en estas áreas. El grupo azul incluye palabras clave como uso de tierra, Madagascar, biodiversidad, sustentabilidad y plantación de vainilla, lo que refleja un enfoque integral sobre el impacto ambiental de la producción de vainilla, especialmente en Madagascar, uno de los

mayores productores a nivel mundial, esto respaldado por publicaciones hechas por [33].

La inclusión de términos como biodiversidad y sustentabilidad resalta la preocupación por equilibrar la producción del cultivo con la conservación de ecosistemas naturales. En el grupo verde contiene palabras como *V. planifolia*, conservación, cultivo de vainilla salvaje y agroforestal, indicando un enfoque en métodos agrícolas más sostenibles, como el agroforestal, que promueve la conservación de la biodiversidad y mejora la calidad del suelo, esto es relevante ya que diversos autores resaltan la importancia de sistemas sostenibles para la producción debido a la alta demanda del producto [38], [40]. El bloque rojo, compuesto por vainillina, lignina, biosíntesis y ácido ferúlico, destaca los avances en la investigación sobre los procesos bioquímicos que subyacen a la producción de compuestos clave de la vainilla, sugiriendo una tendencia creciente en estudios orientados a la mejora genética y la biotecnología del cultivo para la obtención de vainillina, dicha tendencia puede observarse en la publicación realizada por [44]. Los bloques amarillo y morado son más pequeños en términos de número de palabras. El bloque amarillo vincula sustentabilidad con aprendizaje colaborativo, lo que refleja el interés por integrar tecnologías avanzadas en la producción de vainilla dirigida enteramente a productores [24]. Por otro lado, el bloque morado conecta vainilla con logros del desarrollo sustentable, subrayando el papel del cultivo en los objetivos globales de sostenibilidad, que podrían estar vinculados a la agenda 2020-2030 propuesta por la Organización de las Naciones Unidas. En conjunto, estos resultados sugieren una investigación multidisciplinaria que abarca desde la producción agrícola y la conservación ambiental hasta los avances bioquímicos y las tecnologías de la información, lo que indica un enfoque holístico en la búsqueda de soluciones sostenibles para la industria de la vainilla. En los últimos dos años, términos como diversificación de cultivos, sustentabilidad, vainillina, ácido ferúlico, lignina y aprendizaje colaborativo han ganado relevancia en la literatura científica sobre la

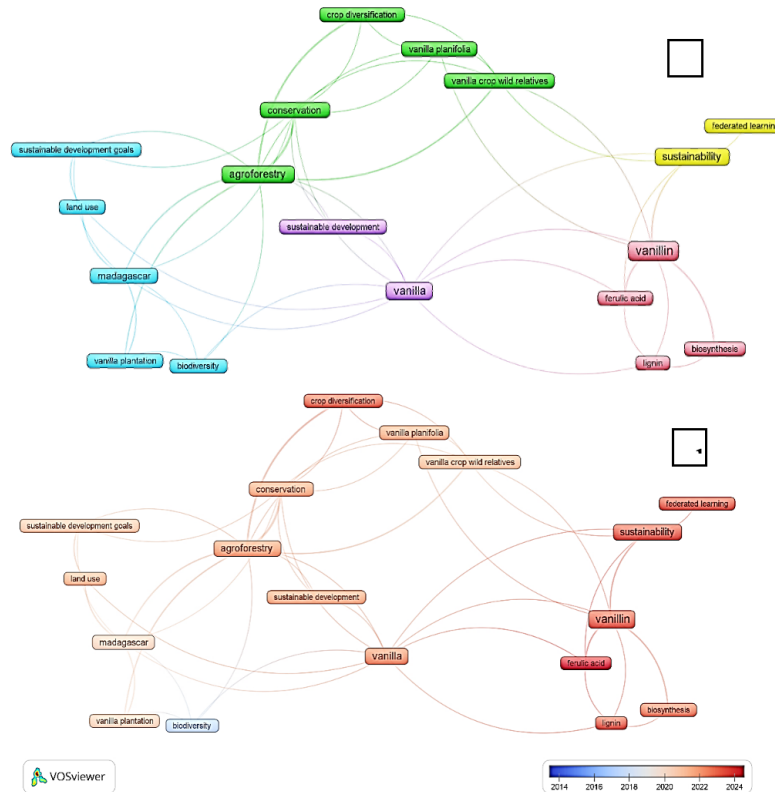
vainilla y su producción sustentable (Fig. 7b). Este patrón sugiere que la investigación se está orientando cada vez más hacia la mejora de la sostenibilidad en la producción de vainilla, abordando no solo los beneficios del cultivo, sino también los aspectos bioquímicos clave que afectan la calidad del producto. El aprendizaje colaborativo se perfila como una herramienta clave para las regiones productoras ya que la interacción de todos los involucrados en la cadena de valor de la vainilla se podrá avanzar en la investigación científica mediante la cooperación interdisciplinaria y el uso de tecnologías avanzadas.

Las palabras clave relacionadas con la biodiversidad y las plantaciones de vainilla en Madagascar, aunque siguen siendo relevantes, han mostrado una tendencia a la baja en los últimos años, esto concuerda por lo publicado por [45] donde en su libro *Madagascar's cyclone vulnerability and the global vanilla economy* enumera varios puntos clave que se han desentendido entorno a la producción y comercialización de dicho cultivo. Esto puede reflejar un cambio de enfoque hacia áreas más específicas de la producción, como la optimización genética y la mejora de la sostenibilidad agrícola, en lugar de una atención generalizada a la biodiversidad en este país. A pesar de esta disminución en el uso de ciertos términos, los resultados muestran que, desde el 2016, la mayoría de los términos claves relacionados con la vainilla y su cultivo sostenible han mantenido un aumento constante en su utilización. Esto indica un claro crecimiento en la investigación sobre la vainilla, particularmente en relación con su cultivo sostenible y la mejora de la eficiencia de producción frente a los desafíos globales (Figura 7).

Análisis de los países y sus colaboraciones a través del tiempo entorno a las palabras vainilla y sustentable entre 2002-2024

Aunque se ha avanzado significativamente en la investigación sobre la vainilla y su relación con la sustentabilidad, aún queda mucho trabajo por hacer. Las distintas naciones que han colaborado en estos

Fig. 7. Red de palabras de concurrencia relacionadas con la investigación en vainilla y sustentabilidad (a) Por número de documentos, (b) por tiempo transcurrido en las publicaciones.



estudios han mostrado un compromiso continuo con el tema, pero es esencial reconocer que la colaboración no ha sido homogénea en todos los países (Fig. 8a). En este análisis se identifican cuatro grupos principales de países involucrados en la investigación, representados por diferentes colores en el mapa. En el grupo azul, que incluye países como Bélgica, Italia, Irlanda, Países Bajos y Costa Rica, aunque estos países no son grandes productores de vainilla, se han destacado en investigaciones sobre la biodiversidad asociada al cultivo, la biotecnología, y la mejora de la sostenibilidad de los sistemas agrícolas en los que se cultiva. Su participación demuestra que la investigación sobre vainilla no solo está concentrada en los países productores, sino que hay un interés global en la mejora del cultivo y su impacto ambiental [21]. El grupo verde, que comprende a

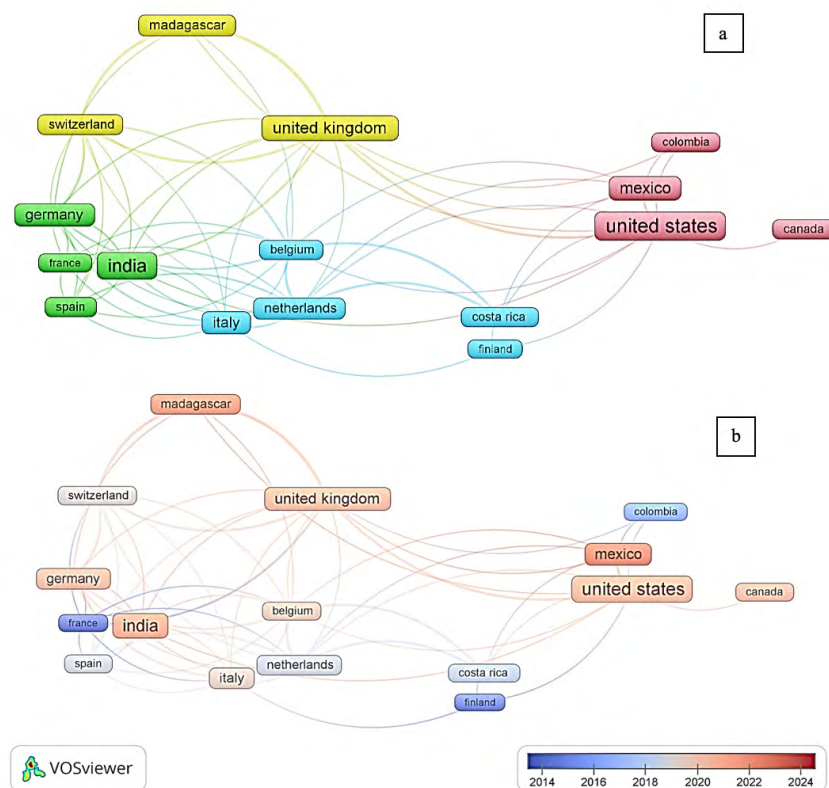
Alemania, Francia, India y España, que como anteriormente se mencionó poseen una fuerte orientación hacia la investigación aplicada en técnicas de cultivo sostenible, la mejora genética de la vainilla y su potencial en el ámbito farmacéutico. Este grupo ha mantenido un compromiso constante con la investigación, aunque algunos de estos países, como Francia, están algo rezagados comparados con otros, especialmente en los últimos años. En el grupo rojo, con países como México, Estados Unidos, Colombia y Canadá. México, siendo el país de origen de la vainilla, ha tenido un resurgimiento en su producción científica en este ámbito, particularmente en 2024, lo que refleja un interés renovado en mejorar la producción de vainilla de manera sostenible. Sin embargo, aunque se ha avanzado, la colaboración interinstitucional y el apoyo gubernamental siguen siendo

áreas clave que deben fortalecerse para generar un mayor impacto. Finalmente, en el grupo amarillo, compuesto por Madagascar, Reino Unido y Suiza, se destaca la relevancia de Madagascar como país productor de vainilla, que ha intensificado su enfoque en la conservación del cultivo y la protección de la biodiversidad. A pesar de su importancia en la producción global, Madagascar aún enfrenta desafíos en términos de investigación científica robusta sobre la sostenibilidad del cultivo, aunque en los últimos años ha comenzado a generar más publicaciones en este campo, especialmente desde 2020.

Un análisis más profundo revela que, si bien la investigación sobre la vainilla ha experimentado avances significativos en muchas partes del mundo, sin embargo, hay países que siguen rezagados y que no se les ha dado la relevancia que tienen entorno a

la producción la polinización de esta orquídea para obtener la vaina que potencialmente será empleada [14]. Esta caída en la producción de documentos podría estar relacionada con la falta de fondos o un cambio en las prioridades de investigación en estos países (Fig. 8b). Es especialmente relevante la tendencia observada en México, que es el centro de origen de la vainilla. En 2024, México ha presentado una mayor cantidad de publicaciones sobre la vainilla y la sustentabilidad, lo cual es un signo positivo para el futuro del cultivo en el país. Es crucial que México continúe fortaleciendo sus vínculos con instituciones académicas y de investigación, tanto a nivel nacional como internacional, para generar información valiosa que impulse la adopción de prácticas más sostenibles y que permita a los productores locales mejorar su competitividad y la sostenibilidad de la vainilla.

Fig. 8. Red internacional de países de coautoría de publicaciones relacionadas con la investigación en vainilla y la sustentabilidad (a) Por número de documentos, (b) por tiempo transcurrido en las publicaciones.



CONCLUSIÓN

El análisis sobre vainilla y su relación con la sustentabilidad evidencia una evolución dinámica en la producción científica, con un incremento reciente en 2023 y 2024. A pesar de ser el centro de origen de la especie, México mantiene una participación limitada en comparación con potencias como Estados Unidos, India y China, mientras que Madagascar sigue liderando el mercado global. La expansión del cultivo en Asia subraya la globalización del sector, pero también plantea desafíos críticos como la adulteración de la vainillina natural y la urgencia de implementar estrategias de producción sustentable. El panorama científico revela una creciente diversificación en las líneas de investigación, estructuradas en cinco grupos temáticos. Destacando los estudios sobre impacto ambiental, con énfasis en la conservación de la biodiversidad y el manejo sostenible del suelo en Madagascar, así como el desarrollo de sistemas agroforestales como alternativa para mejorar la resiliencia del cultivo. Paralelamente, la biotecnología ha surgido como un campo estratégico, con investigaciones centradas en la biosíntesis de vainillina y la optimización de compuestos bioquímicos como la lignina y el ácido ferúlico. Además, el vínculo entre sustentabilidad y aprendizaje colaborativo sugiere un enfoque interdisciplinario clave para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Para fortalecer la competitividad científica y productiva es imperativo consolidar la cooperación internacional, incrementar el financiamiento en investigación aplicada, y promover modelos agroecológicos que maximicen la biodiversidad y la resiliencia climática.

REFERENCIAS

- [1] M. Divakaran et al., “Vanilla. In Handbook of Spices in India: 75 Years of Research and Development”, *Singapore: Springer Nature Singapore*, pp. 2591–2685
- [2] G. Banerjee and P. Chattopadhyay, “Vanillin biotechnology: the perspectives and future: Vanillin biotechnology: perspectives,” *J. Sci. Food Agric.*, vol. 99, no. 2, pp. 499–506, 2019.
- [3] O. Flores et al. N. “Germinación in vitro de semillas de *Vanilla planifolia* Jacks y comparación de métodos de micropropagación”. *AIA* 21(2), pp. 69–83, 2017.
- [4] A. Olatunde, A. Mohammed, M. A. Ibrahim, N. Tajudeen, and M. N. Shuaibu, “Vanillin: A food additive with multiple biological activities,” *Eur. J. Med. Chem. Rep.*, vol. 5, no. 100055, p. 100055, 2022.
- [5] N. Singh and M. Sudha. “Natural food flavours: a healthier alternative for bakery industry—a review”. *Journal of food science and technology*, 61(4), pp. 642–650, 2024.
- [6] G. Andrade-Andrade, A. Delgado-Alvarado, B. E. Herrera-Cabrera, L. Arévalo-Galarza, and L. Caso-Barrera. “Variation of phenolic compounds, flavonoids and tannins in *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews in the Huasteca Hidalguense, Mexico”. *Agrociencia*, 52(1), pp. 55–66, 2018.
- [7] K. Kaur, R. Sharma and S. Singh. “Bioactive composition and promising health benefits of natural food flavors and colorants: potential beyond their basic functions”. *Pigment & resin technology*, 49(2), pp. 110–118, 2020.
- [8] J. Hernández-Hernández, “Mexican vanilla production”. *Handbook of Vanilla science and technology*, pp. 1–26, 2018.
- [9] K. W. Singletary. “Vanilla: potential health benefits”. *Nutrition Today*, 55(4), pp. 186–196, 2020.
- [10] C. Iannuzzi, M. Liccardo, and I. Sirangelo, “Overview of

- the role of vanillin in neurodegenerative diseases and neuropathophysiological conditions," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 24, no. 3, p. 1817, 2023
- [11] H. Ahmad, R. A. Khera, M. A. Hanif, M. A. Ayub, and M. I. Jilani, "Vanilla," in *Medicinal Plants of South Asia*, Elsevier, pp. 657–669, 2020.
- [12] N. J. Gallage and B. L. Møller, "Vanilla: The most popular flavour," in *Biotechnology of Natural Products*, Cham: Springer International Publishing, pp. 3–24, 2017.
- [13] E. S. Teoh, "The story of vanilla," in *Orchids as Aphrodisiac, Medicine or Food*, Cham: Springer, 2019.
- [14] A. P. A. Karremans, "A historical review of the artificial pollination of *Vanilla planifolia*: The importance of collaborative research in a changing world," *Plants*, vol. 13, no. 22, p. 3203, 2024.
- [15] P. D'Arrigo, L. A. Rossato, A. Strini, and S. Serra, "From waste to value: Recent insights into producing vanillin from lignin," *Molecules*, vol. 29, no. 2, p. 442, 2024.
- [16] G. S. Remaud, F. Thomas, and S. Akoka, "Contribution of position-specific isotope analysis for characterizing the origin of vanillin: Keeping one step ahead of the fraudster," in *Handbook of Isotopologue Biogeochemistry*, Singapore: Springer Nature Singapore, pp. 1–31, 2023.
- [17] A. Kalantari, A. Kamsin, H. S. Kamaruddin, N. Ale Ebrahim, A. Gani, A. Ebrahimi, and S. Shamshirband, "A bibliometric approach to tracking big data research trends," *Journal of Big Data*, vol. 4, pp. 1–18, 2017.
- [18] C. D. S. Robusti and M. C. Farina, "Advances and applications of biotechnology in agribusiness: An analysis of scientific production," *Em Questão*, vol. 31, e141487, 2025..
- [19] S. Armenta-Montero, R. Menchaca-García, A. Pérez-Silva, and N. Velázquez-Rosas, "Changes in the potential distribution of *Vanilla planifolia* Andrews under different climate change projections in Mexico," *Sustainability*, vol. 14, no. 5, p. 2881, 2022.
- [20] J. M. Barreda-Castillo and R. Menchaca, "Prospects in Vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) production in Mexico in relation to temperature fluctuations," *Agro Productividad*, 2024..
- [21] A. Barragán-Ocaña, P. Silva-Borjas, and E. Cecilio-Ayala, "Vanilla production in the world and Mexico: Market value and technology," *Social Sciences & Humanities Open*, vol. 10, p. 101076, 2024
- [22] P. S. Sikarwar, B. Vikram, J. D. Sengupta, A. Singh, N. Kumar, A. Mishra, and V. Kumar, "Vanilla: A review of powerful herb with Ayurvedic medicinal properties," *International Journal of Environment and Climate Change*, vol. 14, pp. 809–817, 2024..
- [23] A. Kumar, V. Singh, A. K. Mishra, H. Singh, S. Parvez, and G. Khan, "Synthesis, characterization and computational studies of some new vanillin derivatives for cosmetic purpose," *Journal of Molecular Structure*, vol. 1327, p. 141127, 2025
- [24] M. V. Rodríguez-Deméneghi, N. A. Rivera, Y. A. Gheno-Heredia, and A. A. Armas-Silva, "Vanilla cultivation in Mexico: Typology, characteristics, production, agroindustrial prospective and biotechnological innovations as a sustainability strategy," *Scientia Agropecuaria*, vol. 14, no. 1, pp. 93–109, 2023.
- [25] C. Watteyn, O. Dejonghe, K. Van Hoyweghen, J. B. A. Bolaños, A. P. Karremans, L. Vranken, and M. Maertens, "Exploring farmer preferences towards innovations in the vanilla supply chain," *Journal of Cleaner Production*, vol. 330, p. 129831, 2022.
- [26] T. Iftikhar, H. Majeed, M. Waheed, S. S. Zahra, M. Niaz, and A. A. Al-Huqail, "Vanilla," in *Essentials of Medicinal and Aromatic Crops*, Cham: Springer International Publishing, pp. 341–371, 2023.
- [27] P. Lubinsky, G. A. Romero-González, S. M. Heredia, and S. Zabel, Eds., "Origins and patterns of vanilla cultivation in tropical America (1500–1900): No support for an independent domestication of vanilla in South America,"

- in Handbook of Vanilla Science and Technology, pp. 121–145, 2018.
- [28] R. T. de Oliveira, J. P. da Silva Oliveira, and A. F. Macedo, "Vanilla beyond *Vanilla planifolia* and *Vanilla × tahitensis*: Taxonomy and historical notes, reproductive biology, and metabolites," *Plants*, vol. 11, no. 23, p. 3311, 2022.
- [29] S. S. Arya, B. K. Mahto, M. S. Sengar, J. E. Rookes, D. M. Cahill, and S. K. Lenka, "Metabolic engineering of rice cells with vanillin synthase gene (VpVAN) to produce vanillin," *Molecular Biotechnology*, vol. 64, no. 8, pp. 861–872, 2022.
- [30] M. Lou, S. Li, F. Jin, T. Yang, R. Song, and B. Song, "Pesticide engineering from natural vanillin: Recent advances and a perspective," *Engineering*, 2024.
- [31] Y. Quinteros-Gómez, D. Cabrera Mestanza, J. Macedo-Bedoya, V. Santos-Linares, and A. Salinas-Inga, "Vegetative propagation of *Vanilla pompona* subsp. *grandiflora* (Orchidaceae) in floodplain territories of the Alto Mayo Valley, Peru," *Acta Botánica Mexicana*, no. 131, 2024.
- [32] P. Ellestad, F. Forest, M. Serpe, S. J. Novak, and S. Buerki, "Harnessing large-scale biodiversity data to infer the current distribution of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae)," *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 196, no. 3, pp. 407–422, 2021.
- [33] D. Hending, A. Andrianiana, P. Maxfield, Z. Rakotomalala, and S. Cotton, "Floral species richness, structural diversity and conservation value of vanilla agroecosystems in Madagascar," *African Journal of Ecology*, vol. 58, no. 1, pp. 100–111, 2020.
- [34] A. H. Chambers, "Vanilla (*Vanilla* spp.) breeding," in *Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops*, vol. 6, pp. 707–734, 2019.
- [35] A. Wahyudi, S. Sujianto, and I. Kurniasari, "Strategy for developing Indonesian vanilla products to improve the added value," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 892, p. 012042, IOP Publishing, 2021.
- [36] M. T. González-Arnan, C. A. Cruz-Cruz, F. Hernández-Ramírez, J. A. Alejandro-Rosas, and A. C. Hernández-Romero, "Assessment of vegetative growth and genetic integrity of *Vanilla planifolia* regenerants after cryopreservation," *Plants*, vol. 11, no. 13, p. 1630, 2022..
- [37] R. O. L. Rasoamanalina, K. Mirzaei, M. El Jaziri, T. Rasamiravaka, A. V. Ramarosandratana, and P. Bertin, "Genome-wide assessment of genetic variation and population structure in cultivated vanilla from Madagascar," *Genetic Resources and Crop Evolution*, pp. 1–17, 2024..
- [38] N. Velázquez-Rosas, S. Sinaca Colin, G. Vázquez-Domínguez, A. Velasco-Murguía, E. Silva Rivera, B. Ruiz-Guerra, and R. Martínez-Mota, "Importance of traditional vanilla cultivation in the conservation of plant diversity in tropical forests in northern Veracruz, Mexico," *Sustainability*, vol. 17, no. 6, p. 2598, 2025.
- [39] C. Brauer, K. Trinidad-García, O. Parra-Rodríguez, and H. Reyes-Hernández, "Sustainable vanilla pod dryer for small-scale producers based on a participatory learning process," *Energy for Sustainable Development*, vol. 78, p. 101366, 2022.
- [40] C. Watteyn, T. Fremout, A. P. Karremans, R. P. Huarcaya, J. B. Azofeifa Bolaños, B. Reubens, and B. Muys, "Vanilla distribution modeling for conservation and sustainable cultivation in a joint land sparing/sharing concept," *Ecosphere*, vol. 11, no. 3, e03056, 2020.
- [41] V. Borbolla-Pérez, L. G. Iglesias-Andreu, M. Luna-Rodríguez, and P. Octavio-Aguilar, "Perceptions regarding the challenges and constraints faced by smallholder farmers of vanilla in Mexico," *Environment, Development and Sustainability*, vol. 19, pp. 2421–2441, 2017.
- [42] J. Ma and Y. Cheng, "Why do some academic articles receive more citations from policy communities?," *Public Administration Review*, 2024.

- [43] M. Sollen-Norrlin, B. B. Ghaley, and N. L. J. Rintoul, "Agroforestry benefits and challenges for adoption in Europe and beyond," *Sustainability*, vol. 12, no. 17, p. 7001, 2020.
- [44] M. Sollen-Norrlin, B. B. Ghaley, and N. L. J. Rintoul, "Agroforestry benefits and challenges for adoption in Europe and beyond," *Sustainability*, vol. 12, no. 17, p. 7001, 2020.
- [45] M. L. Brown, Madagascar's cyclone vulnerability and the global vanilla economy, New York, NY, USA: *Altamira Press*, pp. 241–264, 2009.