

Resumen

La creciente demanda de vainilla (*Vanilla planifolia*) resalta la necesidad de optimizar sus procesos de curado, esenciales para desarrollar su aroma. A pesar de su importancia, la documentación de estas tecnologías carece de sistematización. El objetivo de esta investigación fue sistematizar las tecnologías de curado. La metodología PRISMA sistematizar las tecnologías presentes en los artículos y patentes desde 2007 a 2025. El estudio se complementó con un análisis de tendencias de búsqueda en Google Trends para evaluar el interés global y su distribución geográfica. Los resultados demuestran un notable aumento del interés global a partir de 2022, destacando en América del Norte, Europa y América Latina. Las principales investigaciones se concentran en países como Brasil, México y Estados Unidos. Se identificaron diversas tecnologías de curado, organizadas en etapas como inhibición, sudado, secado, molienda y acondicionamiento, cada una con distintos Niveles de Madurez Tecnológica (TRL). Las rutas tecnológicas existentes y la posibilidad de generación de nuevas rutas tecnológicas permitirían definir políticas científicas de Investigación + Desarrollo + Innovación para abordar las principales tendencias y desafíos que enfrenta la cadena de valor de la vainilla.

Palabras clave

vainilla; rutas tecnológicas; tecnologías de curado; sistematización; proceso de curado

Abstract

The growing demand for vanilla (*Vanilla planifolia*) underscores the need to optimize its curing processes, which are crucial for developing its distinctive aroma. Despite their importance, documentation of these technologies lacks systematic documentation. The objective of this research was to systematize curing technologies. The PRISMA methodology was used to analyze the technologies present in articles and patents from 2007 to 2025. The study was complemented with an analysis of search trends on Google Trends to assess global interest and its geographic distribution. The results demonstrate a notable increase in global interest starting in 2022, with emphasis on North America, Europe, and Latin America. The main research is concentrated in countries such as Brazil, Mexico, and the United States. Various curing technologies were identified, organized into stages such as inhibition, sweating, drying, grinding, and conditioning, each with different Technological Maturity Levels (TRL). Existing technological routes and the possibility of generating new technological routes would allow defining scientific policies for Research+Development+Innovation to address the main trends and challenges facing the vanilla value chain.

Keywords

vanilla; technological pathway; curing technologies; systematization; cured process

Direcciones ¹Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: je.aymec@uea.edu.ec; amperez@uea.edu.ec; ;

Autor para la correspondencia Jennifer Elizabeth Ayme Caiza. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: je.aymec@uea.edu.ec

Cómo citar AYME CAIZA, Jennifer Elizabeth and PÉREZ MARTÍNEZ, Amaury 2025. Tecnologías utilizadas en el curado de vainilla: una revisión sistemática. PrePrint UEA. Vol. AGI2525. p. ep06–824. <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vAGI2525ep06-824>

Editores Académicos David Landívar Valverde

Editorial Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2025

Copyright Derechos de autor 2025 UEA | PrePrint UEA. 
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

La creciente demanda mundial de sabores naturales, en particular de vainilla orgánica, ha puesto de manifiesto la necesidad crítica de optimizar y estandarizar sus procesos de curado, esenciales para el desarrollo de su aroma. La vainilla orgánica *Vanilla planifolia*, también conocida como vainilla Bourbon o mexicana, es la variedad más común en el mercado, aunque otras especies como *Vanilla tahitensis* y *Vanilla pompona* también tienen una presencia importante (Torres González, Aguirre Medina, Iracheta Donjuan

2011). Con proyecciones de crecimiento anual que varían entre el 5,17% y el 7,5%, según fuentes de investigación de mercado Mordor Intelligence Source (2025), esta especie se ha posicionado como la segunda más valiosa a nivel mundial, alcanzando precios de hasta 600 dólares por kilogramo (Hooker Lucy 2017). Su singular perfil aromático, con notas dulces, intensas, cremosas y matices a tabaco, la convierte en un ingrediente indispensable en diversas industrias, incluyendo la alimentaria, licorera, farmacéutica, cosmética, tabacalera y artesana (Rosado Zarrabal, Salgado Cervantes, Robles Olvera, García Alvarado, Rodríguez Jimenes 2007).

El proceso de beneficio o curado es fundamental, dado que el fruto de vainilla carece de aroma en su estado verde. Es a través de una compleja secuencia de deshidratación y fermentación que ocurren cambios internos y se activan enzimas clave, según Dignum, Kerler, Verpoorte (2001). La hidrólisis de la glucovainillina, el precursor de los compuestos aromáticos, es una reacción esencial para la formación del sabor y olor característicos de la vainilla (Elorza Martínez, Herrera López, Fuentes Hernández, Olmedo Pérez, Barradas Domínguez, Maruri García 2007).

Tradicionalmente en México, el proceso de curado comprende varias etapas: recepción, despezonado, clasificación, enmaletado, la inhibición del fruto, asoleado y sudado; seguido de una nueva clasificación, depósito y empaque. Este proceso, perfeccionado a lo largo del tiempo por productores mexicanos, italianos y franceses según indica Kelso Bucio, Reyes López, Cruz Palacios, Villegas Rodríguez, Rodríguez Morales, Ramírez, Ba, Magaña Hernández, Huerta Gómez (2013), puede extenderse por más de 90 días, un período influenciado directamente por las condiciones climáticas como la temperatura y la luminosidad. Para mitigar la prolongación del proceso causada por interrupciones climáticas (nubosidad o precipitaciones), como menciona Rodríguez Deméneghi, Aguilar Rivera, Gheno Heredia, Armas Silva (2023), ya en el siglo XIX se comenzaron a usar hornos en Papantla, Veracruz (Elorza Martínez, Herrera López, Fuentes

Hernández, Olmedo Pérez, Barradas Domínguez, Maruri García 2007).

A pesar de la amplia información disponible y de la existencia de múltiples tecnologías y variantes en cada fase del curado, se observa una clara falta de orden en la documentación de estos procesos (Sánchez Galindo, valo Galarza, Delgado Alvarado, Herrera Cabrera, Osorio García 2018). Como resultado de esta revisión sistemática, se concluye la ausencia de un documento o artículo que logre unificar, estandarizar o presentar una organización coherente de los diversos procesos de curado de vainilla. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es sistematizar las tecnologías empleadas en el proceso de curado de la vainilla.

2. Metodología

La recuperación de información en esta investigación se basó en la metodología PRISMA (Page, McKenzie, Bossuyt, Boutron, Hoffmann, Mulrow, Shamseer, Tetzlaff, Akl, Brennan, Chou, Glanville, Grimshaw, Hróbjartsson, Lalu, Li, Loder, Mayo Wilson, McDonald, McGuinness, Stewart, Thomas, Tricco, Welch, Whiting, Moher, Yepes Nuñez, Urrútia, Romero García, Alonso Fernández 2021). Este protocolo sistemático facilitó la inclusión de investigaciones relevantes al tema de estudio, tal como se detalla en la **Figura 1**.

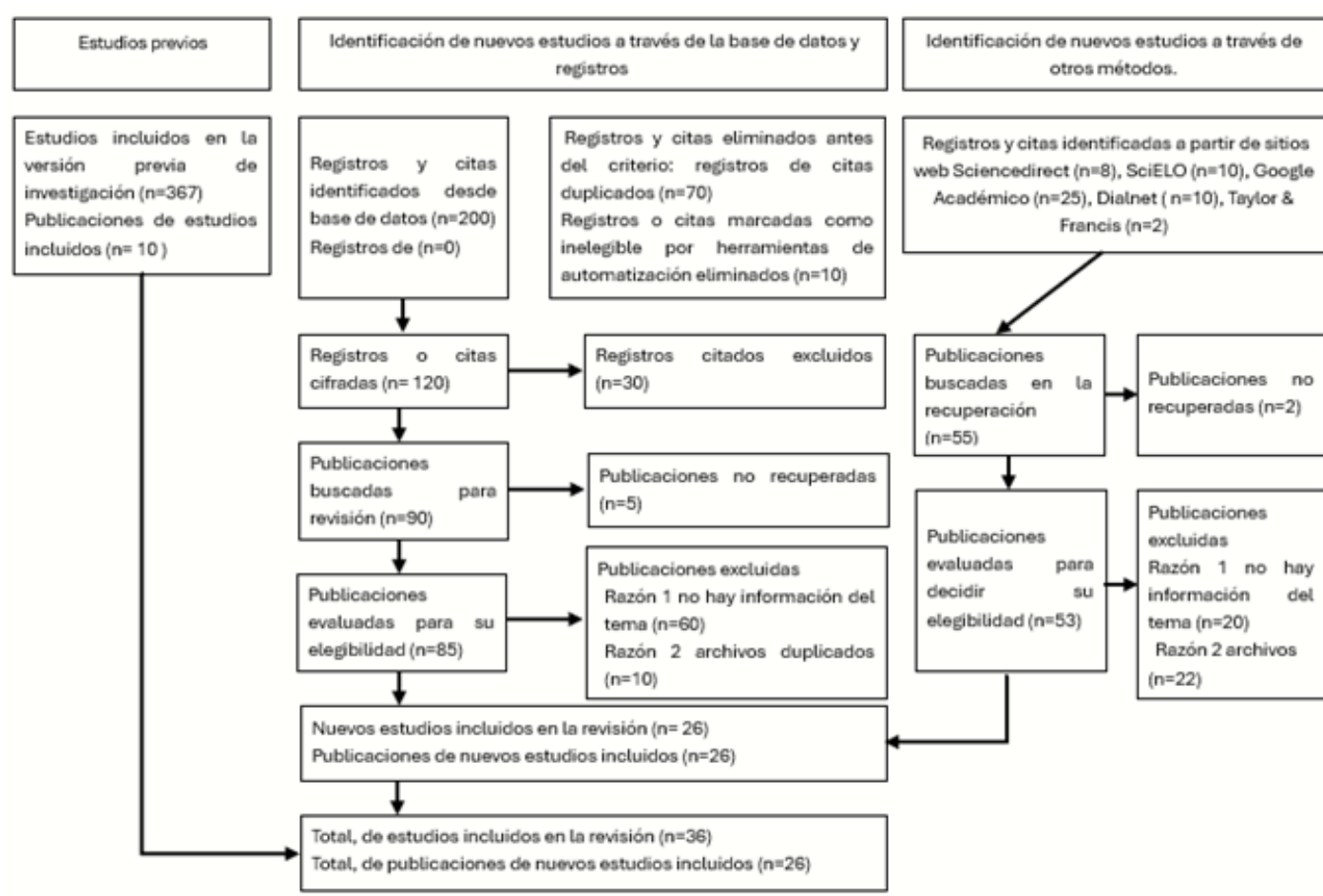


Figura 1 | Diagrama PRISMA. Modificado de Page, McKenzie, Bossuyt, Boutron, Hoffmann, Mulrow, Shamseer, Tetzlaff, Akl, Brennan, Chou, Glanville, Grimshaw, Hróbjartsson, Lalu, Li, Loder, Mayo Wilson, McDonald, McGuinness, Stewart, Thomas, Tricco, Welch, Whiting, Moher, Yepes Nuñez, Urrútia,

Romero García, Alonso Fernández (2021)

La **Tabla 1** detalla los métodos para la verificación del protocolo PRISMA, incluyendo los criterios de elegibilidad, las fuentes de información, las estrategias de búsqueda (incluyendo términos clave en varios idiomas), los procesos de selección y extracción de datos y su organización cronológica para la investigación.

Tabla 1 | Métodos para la verificación de PRISMA. Adaptado de (Page, McKenzie, Bossuyt, Boutron, Hoffmann, Mulrow, Shamseer, Tetzlaff, Akl, Brennan, Chou, Glanville, Grimshaw, Hróbjartsson, Lalu, Li, Loder, Mayo Wilson, McDonald, McGuinness, Stewart, Thomas, Tricco, Welch, Whiting, Moher, Yepes Nuñez, Urrútia, Romero García, Alonso Fernández 2021)

Módulo	Descripción
Objetivo	Sistematizar las tecnologías de curado de vainilla reportadas en artículos y patentes (2007–2025) con PRISMA e integrar tendencias de Google Trends (interés global y distribución geográfica).
Criterios de elegibilidad	Trabajos sobre curado/beneficiado de <i>Vanilla</i> (inhibición, sudado, secado, molienda, congelación, acondicionamiento) con condiciones operativas y/o compuestos; ES/EN/PT; 2007–2025. Exclusión: fuera de tema, datos insuficientes, duplicados, literatura no técnica.
Fuentes de información	Scopus, Web of Science, Google Scholar; patentes (Espacenet, USPTO, WIPO); repositorios institucionales cuando aportan metodología.
Estrategia de búsqueda	(curado OR beneficiado OR proceso AND vainilla) / (cured OR curing OR processing AND vanilla); etapas: inhibición/sweating/drying/grinding/conditioning; especies (vainilla planifolia); "TRL". Filtros por año/idioma en título, resumen y palabras clave.
Proceso de selección	Cribado: (1) título–resumen, (2) texto completo; resolución por consenso; registro de exclusiones; diagrama PRISMA (identificación, cribado, elegibilidad, inclusión).
Extracción de datos	Especie/variedad, etapa(s), condiciones (T, t, HR, equipos), modalidad (tradicional/semi-mecanizado/tecnificado), tiempo total, TRL (si aplica), compuestos (vainillina, ácidos/aldehídos), país/ámbito y referencia.
Síntesis de la información	Normalización (°C, h, d, HR%), armonización terminológica y consolidación por etapa; tabla maestra (tecnologías–tiempos–compuestos) y figuras (tendencias/mapas).
Evaluación de calidad / sesgo	Detalle metodológico y consistencia de mediciones; TRL reportado o inferido con criterios explícitos y limitaciones.
Periodo de estudio	Enero 2007–Octubre 2025 (para patentes, fecha de publicación dentro del periodo).
Software / apoyo	EndNote/Zotero, hojas de cálculo para extracción/limpieza y scripts para figuras.

Con el fin de evaluar a fondo el interés global y la distribución geográfica de la investigación en torno al curado de la vainilla, se implementó un análisis sistemático de tendencias de búsqueda (Ramos Castellá, Iglesias Andreu 2022). Este análisis se llevó a cabo utilizando la herramienta Google Trends, empleando específicamente los términos clave 'cured + vanilla' and 'curado + vainilla'. Desde inicios de 2007 hasta el 2025, lo que permitió obtener una perspectiva temporal amplia sobre la evolución del interés. Los datos de interés de búsqueda se recopilaron tanto a nivel global como desglosados geográficamente por país o región, proporcionando información detallada sobre las áreas de mayor importancia.

Para complementar dicho análisis de tendencias de búsqueda, se revisó la literatura académica de manera sistemática. Esta búsqueda de publicaciones científicas se llevó a cabo

utilizando los mismos términos ('cured + vanilla' and 'curado + vainilla') y para el mismo período de estudio en diversas bases de datos especializadas. La combinación de ambos métodos, que integra el análisis de tendencias de búsqueda con la revisión de publicaciones académicas, permitió contrastar el interés del público y del mercado con la producción científica formal, ofreciendo una visión integral sobre el campo.

Un aspecto identificado es la asignación del Nivel de Madurez Tecnológica (TRL). Aunque es una métrica de uso extendido, la falta de documentación sobre un criterio de puntuación formal en los estudios analizados introduce un riesgo significativo de subjetividad. Esto resalta la necesidad de establecer una metodología más rigurosa para futuras investigaciones en este ámbito.

3. Resultados y discusión

3.1. Comportamiento de las publicaciones sobre el curado de la vainilla

La **Figura 2A** muestra la evolución temporal del interés de búsqueda en Google (2025) para los términos Çured + vainilla."and Çurado + vainilla"durante los últimos 18 años. Revela que predomina el término en inglés 'cured + vanilla' (línea azul) de manera ascendente a partir del año 2022. Por el contrario, el interés por 'curado + vainilla' (línea roja) se mantiene en niveles estables a lo largo del periodo analizado.

En cuanto a la **Figura 2B** ilustra la distribución geográfica del interés de búsqueda para los mismos términos y período de tiempo. Las regiones donde 'cured + vanilla' es el término predominante están marcadas en azul, abarcando gran parte de Norteamérica, Europa, Australia, India y ciertas áreas de Sudamérica y África. Las zonas donde 'curado + vainilla' domina están marcadas en rojo, principalmente en México y algunos países de Centroamérica y Sudamérica. Las áreas en gris indican datos insuficientes, lo que sugiere que existe una preferencia global por los términos en inglés, mientras que el español es más relevante en áreas hispanohablantes específicas.

La **Figura 2C** muestra cuántos estudios se publicaron cada año, durante los 18 años. Se puede ver que el número de investigaciones ha cambiado a lo largo del tiempo, lo que sugiere que el interés en este tema no es siempre constante. Sin embargo, un detalle muy notable es que entre 2023 y 2025 hubo un incremento significativo en la cantidad de estudios. Esto se debe a que está relacionado con el precio global de la vainilla. Los cultivos agrícolas, como el de la vainilla, son sensibles a eventos externos, como desastres naturales o problemas en regiones clave de producción, como Madagascar, que es el mayor productor de vainilla. Cuando ocurren estos acontecimientos, hay menos vainilla disponible, lo que provoca un aumento considerable en su precio. Cuando el precio de la vainilla aumenta, la gente y las empresas invierten más en investigar cómo mejorar su curado, buscando optimizar la producción y la calidad, según lo indica Luis Rojas, Ramírez Valverde, Díaz Bautista, Pizano Calderón, Rodríguez López (2020).

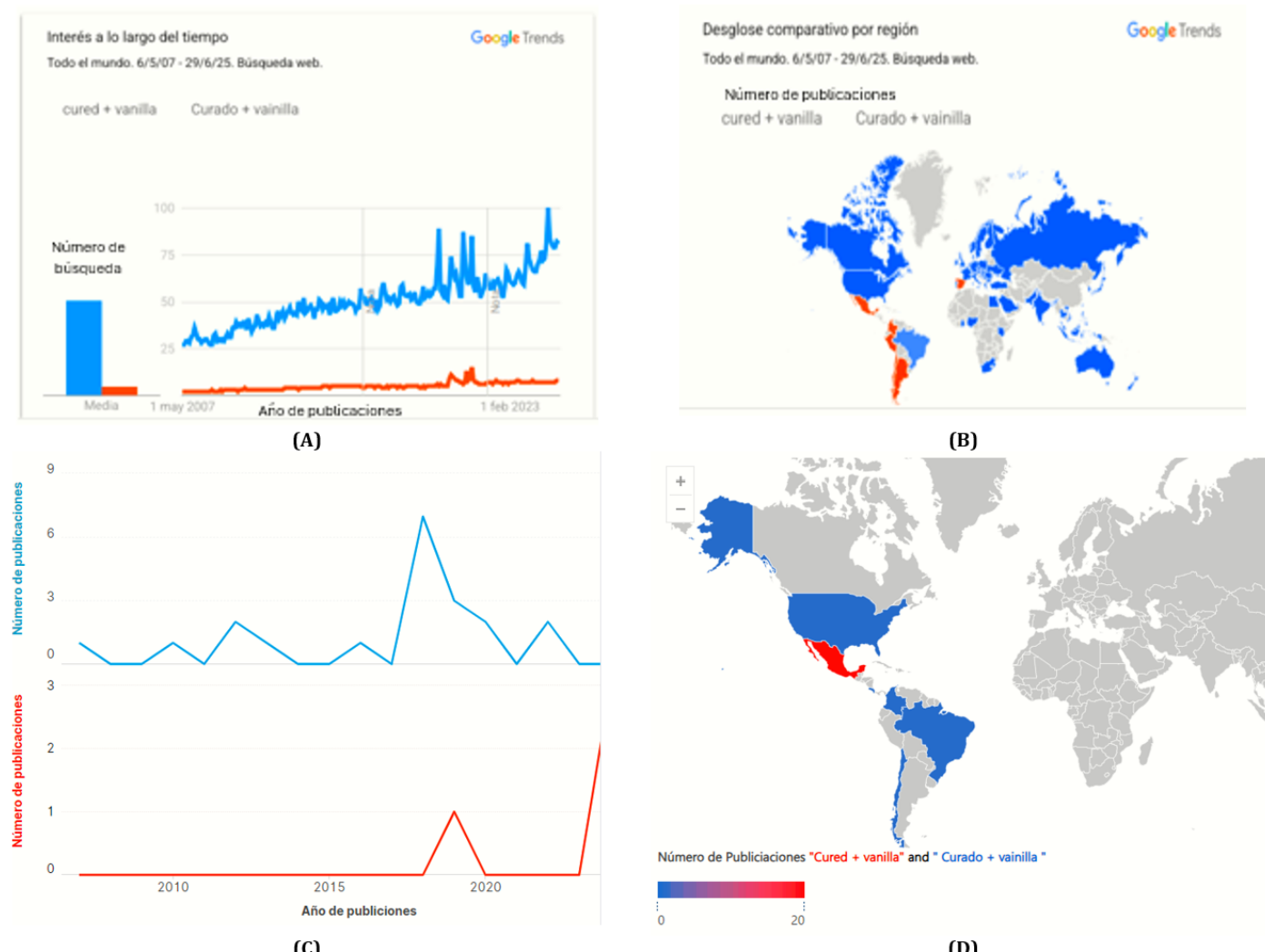


Figura 2 | Análisis del comportamiento de las investigaciones (cured + vanilla) y (curado + vainilla). (A) Evolución anual de los artículos (2007–2025); (B) Cantidad de investigaciones por países; (C) Evolución anual de publicaciones; (D) Distribución geográfica.

Por otro lado, la **Figura 2D** revela la distribución geográfica de estas investigaciones sobre el curado de la vainilla. Se observa una clara concentración de estudios en países como Brasil, México y otras naciones de Latinoamérica, así como en Estados Unidos y Taiwán. Esto indica que el conocimiento en esta área está ampliamente distribuido a nivel mundial (Luis Rojas, Ramírez Valverde, Díaz Bautista, Pizano Calderón, Rodríguez López 2020). Esta concentración de estudios en dichos países se debe a su importancia dentro de la cadena de valor de la vainilla. Algunos son grandes productores, como México, que cuenta con una destacada tradición en la producción de vainilla y es un país principal junto a Madagascar e Indonesia. Otros, como Estados Unidos y Taiwán, aunque no sean los mayores productores de vainilla, son centros de investigación muy avanzados. Estos países utilizan sus conocimientos en tecnología alimentaria, biotecnología y ciencia de los materiales para desarrollar mejores métodos de curado (Yeh, Chou, Yang, WU, Chu, Hsu, Chen 2024). Los datos de Google Trends (**Figura 2A**) indican un interés mundial creciente por el término *cured + vanilla*.^{en inglés}, especialmente a partir de 2022. Estas búsquedas coinciden con el aumento de publicaciones científicas sobre el tema entre 2023 y 2025 (**Figura 2C**). Esto sugiere que las fluctuaciones significativas en el precio de

la vainilla, a menudo causadas por desastres naturales, no solo incrementan el interés del público y las empresas, sino que también estimulan una mayor inversión y esfuerzo en la investigación de su proceso de curado (Herrera Cabrera, Salgado Garciglia, Ocaño Higuera, Barrales Cureño, Delgado Alvarado, Montiel Montoya, Díaz Bautista, Almorin Albino, Reyes 2022). Al analizar la distribución geográfica (**Figura 2B**), se observa que las zonas con mayor interés en el término en inglés, como Estados Unidos y Taiwán, coinciden con las regiones de mayor investigación (**Figura 2C**). De la misma manera, el interés por *curado + vainilla*.^{en} México y América Latina (**Figura 2B**) corresponde con la investigación que se hace en estas naciones, especialmente en México. Esto es coherente con el mapa de publicaciones por países, que ubica a México como uno de los principales productores y centros de investigación, como se consta en la **Figura 2D** (Dragos, Dragos 2013).

3.2. Identificación de tecnologías aplicadas para el curado de la vainilla

En la **Tabla 2** se muestra la variedad de especies de vainilla estudiadas, las tecnologías y los métodos empleados en su procesamiento (inhibición, sudado, secado, molienda, congelación, acondicionamiento), los compuestos químicos

analizados en la vainilla.

México, como país de origen histórico, es un productor clave de vainilla. No obstante, otros países como Costa Rica, Chile, Colombia, Taiwán, Estados Unidos y Brasil también figuran en la investigación sobre esta orquídea. La especie

predominante en cultivo y comercio es la *Vanilla planifolia* Jacks. ex. Andrews. Sin embargo, también se estudian otras variedades como la *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews, *V. pompona* Schiede, *V. inodora* Schiede, *V. insignis* Ames y *V. odorata* Presl. Lo que resalta el interés en la diversidad de la vainilla y sus propiedades.

Tabla 2 | Variedad de la vainilla curada, tecnologías aplicadas para el curado de la vainilla, condiciones de operación y sustancias presentes en la vainilla. NR: No reportado.

Variedad	Tecnologías	Tiempo del proceso de curado	TRL	Sustancias presentes en la vainilla	Referencia
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: se sumergieron en agua caliente durante 5–8 s. Sudado: a la luz solar 1–2 h hasta 48–50 °C. Secado: exposición al sol y secado con horno rústico / tecnificado a 60 °C 48 h. Molido: en molino manual y tamizado. Acondicionamiento: en cajas para estimular la transpiración.	45 días	8–9	<i>p</i> -hidroxibenzaldehído, ácido vainílico, ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico.	(Herrera Cabrera, Salgado Garciglia, Manuel, Higuera, Jair Barrales Cureño, Delgado Alvarado, Montiel Jorge, Díaz Maximino, Reyes César, 2022).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Secado. Beneficiado semi-mecanizado: horno a 48–50 °C (T1) y 54–56 °C (T2) 25 min. Beneficiado tradicional (T3): ambiente durante 120 días.	Tradicional: 120 días; Semi-mecanizado: 90 días	7–9	Tratamientos semi-mecanizados (T1 y T2): 1.7 % y 1.4 % de vainillina; tradicional (T3): 1.8 %.	(Kelso Bucio, Reyes López, Cruz Palacios, Villegas Rodríguez, Rodríguez Morales, Pascual Ramírez, Mamadou Ba, Magaña Hernández, Huerta Gómez, 2013).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Secado: varias horas al día a 45–50 °C durante dos meses, hasta ~1/3–1/4 del peso inicial.	Tradicional: 3 meses; Tecnificado: 45 días	7–9	NR	(Santamaría Pérez, García Rosas, Cerezo Acebedo, Bárcenas Graniel, 2008).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inmersión temporal. Tiempo de inmersión: 5, 10 y 15 min (óptimo 15 min). Frecuencia: 6, 12 y 18 h (mejor 6 h). Volumen de medio: 20, 30 y 40 mL/explante (mejor 40 mL/explante).	6 horas	3–4	NR	(Villegas Ramírez, Palma Zúñiga, 2022).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: agua caliente a 60 °C. Sudado: cajones de madera durante 25 “soleados”. Secado: exposición al sol a 60 °C durante 25 “soleados”. Acondicionamiento: a temperatura ambiente para verificar ausencia de moho.	3–5 meses	8–9	NR	(Espejel, Barrera Rodríguez, Pérez, Ramírez García, 2022).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Secado: horno de convección natural a 60 °C.	4 horas	5–6	Vainillina (4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído), 4-hidroxibenzaldehído y 4-hidroxibencílico.	(Salas, Chávez, Hernández, Hernández, 2017).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: agua caliente (90–100 °C, 10–20 s). Sudado: cámaras controladas a 40 °C y 85 % HR por 7 días. Congelación: nitrógeno líquido (1 min). Secado: cámaras a 40 °C y 75 % HR hasta 35–40 % de humedad. Molido: 300 mg de vaina (MS) con nitrógeno líquido. Acondicionamiento: bolsas de celofán a 25 °C.	50 días	6–7	Ácido vainílico, 4-hidroxibenzaldehído, 4-hidroxibenzoico.	(Rosado Zarrabal, Salgado Cervantes, Robles Olvera, García Alvarado, Rodríguez Jimenes, 2007).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: agua hirviendo para introducir humedad. Sudado: proceso cíclico de exposición al sol y sudado para promover reacciones bioquímicas y microbiológicas.	150 días	9	Ácido vainílico: 349–781 mg/kg; 4-hidroxibenzaldehído: 528–675 mg/kg; 4-hidroxibenzoico: 143–398 mg/kg.	(Cervantes Castillo, Lima Morales, Delgado Alvarado, Herrera Cabrera, Arévalo Galarza, Soto Hernández, García Osorio, Arévalo Galarza, 2018).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: agua caliente 65–70 °C por 2–3 min. Sudado: cajones de madera (45–65 °C) por 12–24 h. Secado: al Sol hasta 45 °C; molido (1 g) en molino de cuchillas de acero inox. Acondicionamiento: en cajones de madera.	25 días	8–9	Glucosa, fructosa y sacarosa.	(Vargas Hernández, Arévalo Galarza, Delgado Alvarado, Osorio García, Villegas Monter, Zavaleta Mancera, 2021).

<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Sudado: cajas de madera (1×1×1 m) 24–40 h. Secado: al sol en petates 3–4 h, repetido hasta 18–20% de humedad. Acondicionamiento: paquetes herméticos a 4 °C.	6 meses	9	Ácido vainílico, 4-hidroxibenzaldehído, 4-hidroxibenzoico, vainillina (1.2–2.5%).	(Hernández Fernández, Rojas Ávila, Vázquez Landaverde, Cornejo Mazón, Dávila Ortiz, 2019).
<i>Vanilla planifolia</i> G. Jackson; <i>V. pompona</i> Schiede; <i>V. inodora</i> Schiede; <i>V. insignis</i> Ames; <i>V. odorata</i> Presl.	Inhibición: glutaraldehído 2.5% en buffer Sorensen 0.1 M, pH 7.2, 12 h; tres lavados seriados (5 min). Secado: xileno 48 h en estufa a 40 °C. Acondicionamiento: recubrimiento con oro (4 min) en ionizadora.	3 días	1–2	NR	(Reyes López, Quiroz Valentín, Kelso Bucio, Huerta Lara, Avendaño Arrazate, Lobato Ortiz, 2015).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: cada 2 min cada 4 h; sistema de inmersión parcial (8.64 brotes) y medio sólido (5.80 brotes). Secado: en camas de secado.	6 meses	3–4	NR	(Rodríguez Deméneghi, Aguilar Rivera, Gheno Heredia, Armas Silva, 2023).
<i>Vanilla pompona</i> Schiede	Inhibición: agua caliente a 90 °C por 3 s. Secado: en cajones de madera en la sombra con 21–25 ciclos “asoleado–sudado”.	16 semanas	7–8	Compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides totales (FLAVT), saponinas totales (SAPT) y triterpenos totales (TRIT).	(Viveros Antonio, Delgado Alvarado, Herrera Cabrera, Arévalo Galarza, Hernández Ruiz, 2019).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: se mantuvieron en cámara de congelación a –4 L 6 meses y en sitio 1.5 años. Sudado–Secado: posteriormente 35 soles al sol.	6 meses a 1 año	3–4	NR	(Ramírez Juárez, Elorza Martínez, García Muñoz, Villareal Ramírez, Uranga Valencia, 2019).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: agua a 70 °C durante 5–6 s. Sudado: cajas de madera (45–65 °C) por 12 h. Secado: al sol hasta 45 °C, alternando con sudado (20–30 veces). Molido: molino (Krups GX4100, 25,000 rpm). Acondicionamiento: bolsas plásticas.	20–30 días	8–9	<i>p</i> -hidroxibenzaldehído, <i>p</i> -hidroxibenzoico, vainillina y ácido vainillínico.	(Sánchez Galindo, Arévalo Galarza, Delgado Alvarado, Herrera Cabrera, Osorio García, 2018).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: inmersión 10 min en fungicida (Captan [®] , 1.5 g L ⁻¹). Sudado: cámara bioclimática 25 °C, 12 h luz / 12 h oscuridad. Secado: horno de calor seco (Riosa [®]) a 70 °C por 72 h. Acondicionamiento: bolsas de papel.	35 días	6–7	NR	(González Reyes, Rodríguez Guzmán, Yáñez Morales, Escalante Estrada, 2020).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: en agua caliente 70–90 °C, 1 s hasta 5–10 min. Sudado: cajones de cedro/pino (2.5×1.2×0.8 m) con cobijas/petates/lona; reposo nocturno para transpiración. Secado: exposición al sol 45–60 °C por 30 min–2 h, 2–3 veces/semana, hasta 5–25 soles. Acondicionamiento: a la sombra 3–8 días (hasta 1 mes).	3–4 meses	9	Ácido vainílico: 418.72–1027.42 mg/kg; 4-hidroxibenzaldehído: 489.42–1501.26 mg/kg; 4-hidroxibenzoico: 87.75–695.78 mg/kg.	(Xochipa Morante, Delgado Alvarado, Herrera Cabrera, Escobedo Garrido, Arévalo Galarza, 2016).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: hidratación hasta saturación (agua destilada 8 h). Congelación: nitrógeno líquido a –80 L. Secado: horno a 70 °C 48 h (peso seco).	94 días	3–9	Contenido hídrico relativo (CHR) > 90%.	(Gantiva R., Díez G., Moreno H., 2020).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Secado: 25–30 veces al sol. Sistema tecnificado: horno calorífico a 60 °C, 8 h por 45 días. Acondicionamiento: tubos de ensayo (4 vainas), sellados con corcho y caja etiquetada para venta directa.	45 días	8–9	NR	(Jaramillo V. José Luis, Escobedo G., Barrera R., 2012).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: beneficiado rústico (BR1, BR2): exposición al sol 45–50 °C por 1–2 s. Inmersión: beneficiado tradicional (BT): agua a 100 °C por 10 s. Beneficiado semi-tecnificado (BST): agua 80–85 °C. Sudado: BR1/BR2: cajones a 50 °C (con petate y cobijas); BT: 45 °C 24–36 h; BST: 50–55 °C 48 h. Secado: BR1/BR2: exposición al sol 50 °C; BT: 45 °C 3 h; BST: 60 °C 2 h.	3–4 meses	7–9	BST: 16–17.9 (% vainillina).	(Luna Guevara, Ruiz Espinosa, Herrera Cabrera, Navarro Ocaña, Delgado Alvarado, Luna Guevara, 2016).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: lavado con agua esterilizada y escaldado ~80 °C durante 3 min. Congelación: cajas de refrigeración con pañuelos de papel para secado. Secado: aire frío y humidificación semanal. Molido: trozos de 0.3–0.5 cm hasta 0.5 g de polvo. Acondicionamiento: cajas de plástico a 10 °C (cambio de papel cada 2 días).	40 días	6–7	NR	(Manyatsi, Lin, Jou, 2024).

<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: “muerte” de 3 min a 63 °C, en bolsa hermética dentro de baño de agua. Sudado: incubación 72 h a 50 °C en frasco de vidrio. Secado: horno ventilado a 32 °C hasta 25 % de humedad. Molido: porciones de 2 cm en molinillo de café.	72 horas	5–6	Vainillina.	(Gastelbondo, Micheal, Wang, Chambers, Wu, 2025).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Sudado: puede alcanzar 65 °C o más; cada ciclo 36–48 h; recolección de jugo en los primeros ciclos (18–20 h). Secado: al sol o sobre tarimas de madera. Acondicionamiento: paletas de madera en el área de acondicionamiento.	4–13 días	9	Glucovainillina, alcohol vainílico, ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico, ácido vainillínico, <i>p</i> -hidroxibenzaldehído.	(Romero Cortes, Pérez España, López Pérez, Rodríguez Jimenes, Robles Olvera, Aparicio Burgos, Cuervo Parra, 2019).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inmersión: agua a 80 °C (80 W) por 10 s, 3 veces con intervalos de 30 s. Secado: al sol 30 días, 6 h/día; posteriormente en mantas de algodón dentro de cajas de caoba para exudar a TA. Acondicionamiento: cajas de caoba ventiladas.	3–4 meses	8–9	Ácido 4-cumárico, ácido sinápico, glucovanilina, 4-hidroxibenzaldehído, ácido ferúlico, ácido vainílico, vainillina.	(Cuan Escobar, Cuellar Sánchez, Gómez Velázquez, Monribot Villanueva, Guerrero Analco, Gutiérrez Díaz, Luna Vital, 2025).
<i>Vanilla planifolia</i> , <i>Vanilla chamissonis</i> , <i>Vanilla bahiana</i>	Inhibición: baño maría a 37 °C. Sudado: incubación 4 h a 37 °C con agitación constante. Congelación: nitrógeno líquido para preservar integridad.	72 horas	3–4	Vainillina, ácido vainílico, 4-hidroxibenzaldehído (<i>p</i> -hidroxibenzaldehído).	(Ribeiro Araujo, Araujo Lima, Tavares de Oliveira, Furtado Macedo, Felzenszwalb, 2024).
<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews	Inhibición: en agua caliente 60 °C durante 3 min. Sudado: alta humedad a 40–50 °C por 2 días; seguidos de 10 días a 35–40 °C. Secado: a 25 °C (deshumidificador) hasta 35–38 % de humedad. Acondicionamiento: bolsas PET/AL/LLDPE selladas; almacenamiento a –20, 4, 25, 35 °C.	0, 6, 12, 18 y 24 meses	7–8	Vainillina, ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico, <i>p</i> -hidroxibenzaldehído.	(Yeh, Chou, Yang, Wu, Chu, Hsu, Chen, 2024).

En México, el curado, también conocido como beneficio de la vainilla, es un proceso ancestral e indispensable para el desarrollo de su distintivo sabor y aroma. Este proceso cataliza la liberación de la glucovainillina presente en el fruto verde, un precursor clave de sus cualidades organolépticas (Herrera Cabrera, Salgado Garciglia, Ocaño Higuera, Barrales Cureño, Delgado Alvarado, Montiel Montoya, Díaz Bautista, Almorin Albino, Reyes 2022). Aunque varía en sus métodos, comparte etapas fundamentales para asegurar la calidad del producto final (Kelso Bucio, Reyes López, Cruz Palacios, Villegas Rodríguez, Rodríguez Morales, Ramírez, Ba, Magaña Hernández, Huerta Gómez 2013).

Se inicia con la muerte vegetativa de las vainas maduras de color café. Esta detención fisiológica puede lograrse mediante la inmersión en agua caliente por un periodo breve de 5 a 8 segundos, o exponiendo las vainas directamente al sol durante una o dos horas hasta que su temperatura superficial alcance entre 48 °C y 50 °C. El objetivo principal de esta etapa es detener la maduración y activar las enzimas que participan en la biosíntesis de la vainillina (Herrera Cabrera, Salgado Garciglia, Ocaño Higuera, Barrales Cureño, Delgado Alvarado, Montiel Montoya, Díaz Bautista, Almorin Albino, Reyes 2022).

Otros métodos de marchitamiento incluyen el horneado a 60 °C por 48 horas; la inmersión en agua caliente a 90 °C -100 °C por 10 -20 segundos o a 65 – 70 °C por 2-3 minutos; la congelación con nitrógeno líquido por 1 minuto; o la congelación a -4 °C o -10 °C por 24 horas como menciona Rosado Zarrabal, Salgado Cervantes, Robles Olvera, García Alvarado, Rodríguez Jimenes (2007). Se ha sugerido, además, que la congelación a -80 °C es más viable técnica y económicamente que el nitrógeno líquido para este fin (Cuan Escobar, Cuellar Sánchez, Gómez Velázquez, Monribot Villanueva, Guerrero Analco, Gutiérrez Díaz, Luna Vital 2025).

Una vez completado el marchitamiento, se procede a la fase de sudado, una etapa crucial que potencia la actividad enzimática y la transpiración (Xochipa Morante, Delgado Alvarado, Herrera Cabrera, Escobedo Garrido, Arévalo Galarza 2016). Durante este proceso, las vainas se envuelven y se disponen en cajas, frecuentemente elaboradas con madera de cedro o pino, y se cubren con materiales como cobijas y petates (Kali, Ave 1964). Se dejan reposar durante la noche, permitiendo que la temperatura interna de las vainas se eleve y fomente una transpiración constante. Esta actividad inicial se conoce como el "primer sudor" busca que los frutos adquieran un color café chocolatez un aroma suave, con una humedad del 60-70 % (Xochipa Morante, Delgado Alvarado, Herrera Cabrera, Escobedo Garrido, Arévalo Galarza 2016). Si el color no se uniformiza, las vainas pueden colocarse en bolsas de nylon negro y exponerse brevemente al sol (Xochipa Morante, Delgado Alvarado, Herrera Cabrera, Escobedo Garrido, Arévalo Galarza 2016).

El sudado y el secado se entrelazan comúnmente en ciclos alternados. Tradicionalmente, esto implica una alternancia entre la exposición al sol (30 minutos a 2 horas, alcanzando 45 – 60 °C) y el almacenamiento en cajones de sudado por el resto del día o la noche para mantener la temperatura y humedad (Vargas Hernández, Arévalo Galarza, Delgado Alvarado, Osorio García, Villegas Monter, Zavaleta Mancera 2021). Este ciclo de "soleado-sudado" puede repetirse entre 20 y 35 veces, o realizarse dos o tres veces por semana, hasta que el contenido de humedad de las vainas se reduzca significativamente (Ramírez Juárez, García Muñoz, Ortega Rodríguez, Villareal Ramírez, Leyva Chávez, Uranga Valencia 2019). Este proceso de deshidratación lenta puede durar desde algunas semanas hasta dos meses o más, hasta que las vainas pierdan dos tercios o tres cuartos de su peso inicial (Xochipa Morante, Delgado Alvarado, Herrera Cabrera,

Escobedo Garrido, Arévalo Galarza 2016). Cabe destacar que un secado excesivamente prolongado o acelerado puede comprometer negativamente la calidad del sabor y el valor comercial de la vainilla según Santamaría Pérez, García Rosas, Cerezo Acebedo, Bárcenas Graniel (2008).

Alternativamente, el secado puede realizarse en hornos, lo cual ofrece ventajas de control sobre la exposición solar directa. Estos hornos emplean temperaturas de 48-50 °C o 54-56 °C por 25 minutos, o 60 °C por 4 horas (Salas, Chávez, Hernández, Hernández 2017; Kelso Bucio, Reyes López, Cruz Palacios, Villegas Rodríguez, Rodríguez Morales, Ramírez, Ba, Magaña Hernández, Huerta Gómez 2013). Por otra parte, investigaciones han explorado el uso de cámaras con control de temperatura y humedad relativa (40 °C y 75-85 %) para simular las etapas de sudado y secado (Rosado Zarrabal, Salgado Cervantes, Robles Olvera, García Alvarado, Rodríguez Jimenes 2007).

Al finalizar el beneficio, las vainas de vainilla deben cumplir con ciertos criterios de calidad: ser flexibles, estar exentas de daños físicos, exhibir un color que va del café rojizo al café oscuro brillante, y poseer un contenido de humedad entre el 25 % y el 30 %, además de un aroma agradable y característico (Vargas Hernández, Arévalo Galarza, Delgado Alvarado, Osorio García, Villegas Monter, Zavaleta Mancera 2021). Una vez curadas, las vainas se almacenan en bolsas de celofán o plástico a temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C) para su conservación hasta la comercialización (Rosado Zarrabal, Salgado Cervantes, Robles Olvera, García Alvarado, Rodríguez Jimenes 2007). Un acondicionamiento adicional, que implica el almacenamiento de las vainas en cajas durante tres a cuatro meses, es una práctica que contribuye significativamente al pleno desarrollo de su perfil aromático (Luna Guevara, Ruiz Espinosa, Herrera Cabrera, Navarro Ocaña, Delgado Alvarado, Luna Guevara 2016).

El proceso de curado de la vainilla en Colombia es un proceso que se extiende entre tres y seis meses y comprende cuatro etapas esenciales: el marchitamiento, que detiene las actividades metabólicas de la vaina; el sudado, donde se reduce la humedad (entre 60-70 %) para catalizar reacciones que la tornan marrón; el secado, para bajar la humedad a cerca del 30 % del peso del fruto; y el acondicionamiento, en el que se almacena la vaina para desarrollar su perfil aromático final (Gantiva R., Díez G., Moreno H. 2020). Para el análisis de laboratorio específicos, se ha documentado la hidratación de vainas en agua destilada por 8 horas para obtener el peso saturado, seguido de un secado al horno a 70 °C por 48 horas para determinar su peso seco (Colicci 2006).

En Chile, el curado de la vainilla se clasifica en dos métodos principales: el Beneficiado Bajo Sol (BBS) y el Beneficiado con Horno Calorífico (BHC), el cual es un enfoque tecnificado (Jaramillo V. José Luis, Escobedo G., Barrera R. 2012). El Beneficiado Bajo Sol (BBS) es un proceso tradicional en el que las vainas verdes se exponen al sol y se someten a ciclos de sudado en cajones de madera, repitiéndose entre 25 y 30 veces. Este método emplea un horno rústico de ladrillos refractarios, calentado con leña, para detener el crecimiento vegetativo e iniciar el secado (Jaramillo V. José Luis, Escobedo G., Barrera R. 2012). Por otro lado, el método Beneficiado

con Horno Calorífico (BHC) representa un enfoque tecnificado. Este proceso realiza el secado y sudado en un horno de acero inoxidable de 1.5 kg de capacidad. El horno, que funciona con gas L.P., mantiene la vainilla a 60 °C durante 8 horas diarias por un periodo de 45 días (Jaramillo V. José Luis, Escobedo G., Barrera R. 2012).

En Taiwán, el curado de la vainilla es un proceso fundamental para el desarrollo de su sabor y aroma, dividiéndose en etapas clave que buscan la activación enzimática y el cambio de color de las vainas (Yeh, Chou, Yang, WU, Chu, Hsu, Chen 2024). La primera etapa es la madurez, que se realiza en agua caliente a 80 °C por 3 minutos, o remojando las vainas a 60 °C por el mismo tiempo. Este paso detiene el crecimiento y activa las enzimas que inician la transformación de color (de amarillo/verde a marrón oscuro) y el desarrollo final del sabor y aroma de la vaina curada (Manyatsi, Lin, Jou 2024).

Posteriormente, en la fase de transpiración, las vainas se dejan fermentar naturalmente en un congelador frío, almacenadas en cajas de plástico y envueltas en papel de seda a 10 °C. El papel de seda se cambia cada dos días para prevenir la formación de moho. Adicionalmente, se realizan secados con aire frío y humidificaciones una vez por semana, utilizando un flujo de lámina y un humidificador, respectivamente. Durante este periodo, las vainas experimentan cambios de color de amarillo a marrón, atribuidos al pardeamiento del fenol y la oxidación de lípidos, simultáneamente con la hidrólisis enzimática de los precursores de vainillina (Manyatsi, Lin, Jou 2024). Otra metodología para la transpiración implica colocar las vainas en un ambiente de alta humedad a 40-50 °C durante 2 días, seguido de 10 días de almacenamiento en un ambiente de alta humedad a 35-40 °C (Yeh, Chou, Yang, WU, Chu, Hsu, Chen 2024). Finalmente, la etapa de secado se enfoca en reducir el contenido de humedad de las vainas. Una vez completada la transpiración, las vainas se colocan en un ambiente controlado a 25 °C, utilizando un deshumidificador hasta que su contenido de humedad alcanza entre el 35 % y el 38 % (Kali, Ave 1964).

En Estados Unidos, los enfoques para el curado de la vainilla, particularmente aquellos destinados a la preparación para análisis de vainillina y ARN, implican una serie de pasos controlados (Gastelbondo, Micheal, Wang, Chambers, Wu 2025). Para la extracción de ARN, los grupos de tejido desecados se conservan a -80 °C. En cuanto a la cuantificación de vainillina, una porción de tejido se somete a un proceso de curado específico que comienza con un paso de "muerte" de tres minutos: las vainas se sumergen completamente en un baño de agua a 63 °C dentro de una bolsa de plástico sellada. A esto le sigue una incubación de 72 horas a 50 °C dentro de un frasco de vidrio. Finalmente, los fragmentos de las vainas se secan en un horno ventilado a 32 °C hasta que alcanzan un 25 % de humedad (Gastelbondo, Micheal, Wang, Chambers, Wu 2025).

Finalmente, en Brasil, la investigación ha explorado métodos de curado acelerado para diversas especies de vainilla, incluido especies (*planifolia*, *chamissonis* y) *bahiana*. Este enfoque innovador combina el secado y la maceración de los frutos con una extracción enzimática para acelerar significa-

tivamente el proceso (Ribeiro Araujo, Araujo Lima, Tavares de Oliveira, Furtado Macedo, Felzenszwalb 2024). Para la extracción enzimática, las muestras de vainilla (500 mg) se homogeneizan en 3 ml de tampón citrato-fosfato (0.05 M; pH 5) y se incuban en un baño de agua a 37 °C. Posteriormente, se añade 1 ml de una solución de -glucosidasa (49290/SIG-MA), preparada con -glucosidasa de almendra y el mismo tampón citrato-fosfato en una proporción de 1 mg/ml. La mezcla se incuba durante 4 horas a 37 °C bajo agitación constante. Las muestras se congelan con nitrógeno líquido para preservar su integridad y se liofilizan hasta secarse por completo (Ribeiro Araujo, Araujo Lima, Tavares de Oliveira, Furtado Macedo, Felzenszwalb 2024).

3.3. Escalabilidad de las Tecnologías de Curado de Vainilla según su Nivel de Madurez (TRL)

El Nivel de Madurez Tecnológica (TRL) es una herramienta esencial para evaluar la escalabilidad de las tecnologías de curado de vainilla, desde la investigación en laboratorio hasta su implementación comercial. Como se muestra en la **Figura 3**, estas tecnologías se distribuyen a lo largo de un sistema de medición de nueve niveles. Este sistema abarca desde el TRL 1, que representa la fase inicial de una idea, hasta el TRL 9, que certifica que la tecnología está completamente desarrollada y operativa en el mercado.

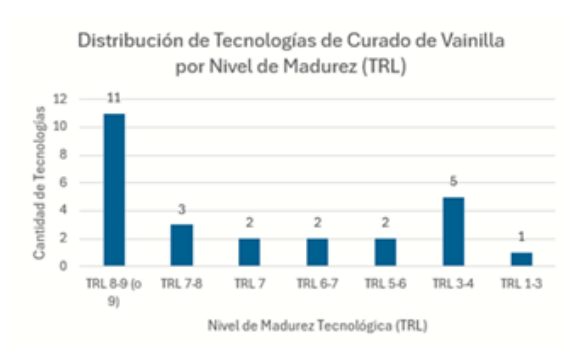


Figura 3 | Distribución de Tecnologías de Curado de Vainilla por Nivel de Madurez (TRL).

El análisis de las diversas metodologías para el curado de la vainilla revela un amplio Niveles de Madurez Tecnológica (TRL), desde la investigación fundamental en laboratorio hasta la implementación en entornos operativos (Yfanti, Sakkas 2024). Existen metodologías que demuestran una alta madurez tecnológica, indicando su implementación y validación en entornos reales o comerciales (**Figura 3**). Los procesos detallados por Herrera Cabrera, Salgado Garciglia, Ocaño Higuera, Barrales Cureño, Delgado Alvarado, Montiel Montoya, Diaz Bautista, Almorin Albino, Reyes (2022) y el beneficiado tradicional de Kelso Bucio, Reyes López, Cruz Palacios, Villegas Rodríguez, Rodrí-

guez Morales, Ramírez, Ba, Magaña Hernández, Huerta Gómez (2013) se clasifican en TRL 8 o 9, lo que refleja la integración de múltiples etapas y el uso de equipos especializados. De modo similar, las técnicas de (Espejel, Barrera Rodríguez, Pérez, Ramírez García 2022; Vargas Hernández, Arévalo Galarza, Delgado Alvarado, Osorio García, Villegas Monter, Zavaleta Mancera 2021) y Hernández Fernández, Rojas Ávila, Vázquez Landaverde, Cornejo Mazón, Dávila Ortiz (2019) también alcanzan un TRL 9, debido a su naturaleza establecida y su uso extendido como prácticas plenamente operativas en la industria. En esta misma categoría, la metodología de Xochipa Morante, Delgado Alvarado, Herrera Cabrera, Escobedo Garrido, Arévalo Galarza (2016), basada en un procedimiento tradicional, y las técnicas de Romero Cortes, Pérez España, López Pérez, Rodríguez Jimenes, Robles Olvera, Aparicio Burgos, Cuervo Parra (2019), con ciclos de sudado y secado en campo, confirman la operabilidad en un contexto real, asignándoles un TRL 9.

Los sistemas de curado de vainilla tecnificados, como los propuestos por Jaramillo V. José Luis, Escobedo G., Barrera R. (2012) y el proceso integral de Cuan Escobar, Cuellar Sánchez, Gómez Velázquez, Monribot Villanueva, Guerrero Analco, Gutiérrez Díaz, Luna Vital (2025), demuestran una elevada madurez tecnológica, ubicándose ambos en los niveles TRL 8 o 9. Esta alta calificación se debe a la orientación comercial de los sistemas de Jaramillo V. José Luis, Escobedo G., Barrera R. (2012), que implica su validación y aplicación en entornos operativos relevantes. Por su parte, el proceso de Cuan Escobar, Cuellar Sánchez, Gómez Velázquez, Monribot Villanueva, Guerrero Analco, Gutiérrez Díaz, Luna Vital (2025) alcanza una madurez comparable gracias a su metodología integral y tradicional, que ya incorpora el equipamiento específico necesario para su implementación efectiva a gran escala.

En un grado intermedio de madurez tecnológica (TRL 7), se encuentran diversas propuestas para el curado de la vainilla que han superado las fases de laboratorio para ser validadas en ambientes pertinentes o demostradas como prototipos funcionales. Un ejemplo notable es el sistema de beneficiado semi-mecanizado de Kelso Bucio, Reyes López, Cruz Palacios, Villegas Rodríguez, Rodríguez Morales, Ramírez, Ba, Magaña Hernández, Huerta Gómez (2013). Este método, que incorpora hornos con temperatura controlada, ha alcanzado

un TRL 7, lo que indica una demostración efectiva en un escenario operativo relevante. De manera similar, el método tecnificado de Santamaría Pérez, García Rosas, Cerezo Acebedo, Bárcenas Graniel (2008), enfocado específicamente en el secado, también se sitúa en TRL 7, evidenciando que su validación ha ido más allá del ámbito experimental de laboratorio, confirmando su funcionalidad en condiciones más cercanas a la realidad.

En un TRL 5 o 6, las tecnologías se han validado en un entorno relevante, aunque aún no han sido demostradas a gran escala. Aquí encontramos el secado en horno de convección natural (Salas, Chávez, Hernández, Hernández 2017; Kelso Bucio, Reyes López, Cruz Palacios, Villegas Rodríguez, Rodríguez Morales, Ramírez, Ba, Magaña Hernández, Huerta Gómez 2013), el procedimiento de Gastelbondo, Micheal, Wang, Chambers, Wu (2025), que incluye incubación y secado en horno ventilado. Ambos métodos han probado su concepto en condiciones significativas, aunque aún requieren una mayor escalabilidad. Ascendiendo a un TRL 6 o 7, donde las tecnologías han sido demostradas como prototipos funcionales o validadas en entornos operativos, se ubican el uso de cámaras controladas para el sudado y secado, evidenciado en los trabajos de Rosado Zarrabal, Salgado Cervantes, Robles Olvera, García Alvarado, Rodríguez Jimenes (2007) y González Reyes, Rodríguez Guzmán, Yáñez Morales, Escalante Estrada (2020). De igual forma, el escaldado y secado con aire frío de Manyatsi, Lin, Jou (2024) se clasifica en este rango, destacando el uso de equipos específicos y un ambiente controlado preciso.

Con respecto a un TRL 7 u 8, las tecnologías son sistemas maduros, cercanos a la implementación comercial. Esto incluye procesos semi-tecnificados con ciclos repetitivos en un ambiente próximo al real (Viveros Antonio, Delgado Alvarado, Herrera Cabrera, Arévalo Galarza, Hernández Ruiz 2019; Luna Guevara, Ruiz Espinosa, Herrera Cabrera, Navarro Ocaña, Delgado Alvarado, Luna Guevara 2016), y el método de inhibición y secado con deshumidificador de Yeh, Chou, Yang, WU, Chu, Hsu, Chen (2024), que demuestra una alta proximidad a una aplicación práctica y a gran escala.

Finalmente, una parte significativa de la investigación se centra en las etapas iniciales de desarrollo y validación de concepto (TRL 1 a 4). Estos niveles abarcan desde la formulación de principios básicos hasta la validación de componentes en la-

boratorio. Aquí se encuentra la investigación de Reyes López, Quiroz Valentín, Kelso Bucio, Huerta Lara, Avendaño Arrazate, Lobato Ortiz (2015), que se sitúa en una fase muy temprana, alejada aún del curado directo para consumo. La mayoría de las investigaciones en TRL 3 o 4 (validación en laboratorio) experimentan con parámetros y principios fundamentales. Esto incluye la técnica de Inmersión Temporal (BIT) de Villegas Ramírez, Palma Zúñiga (2022), las metodologías de inhibición y secado de Rodríguez Deméneghi, Aguilar Rivera, Gheno Heredia, Armas Silva (2023), la experimentación con tiempos de congelación por Ramírez Juárez, Elorza Martínez, García Muñoz, Villareal Ramírez, Uranga Valencia (2019) y las tecnologías propuestas por (Ribeiro Araujo, Araujo Lima, Tavares de Oliveira, Furtado Macedo, Felzenszwalb 2024). Todos estos trabajos comparten la característica de estar en una fase temprana de desarrollo en un entorno de laboratorio, buscando validar conceptos y establecer la viabilidad fundamental de sus propuestas para el curado de la vainilla.

3.4. *Rutas tecnológicas del proceso de curado de la vainilla*

La **Figura 4** ilustra las distintas etapas: inhibición, sudado, secado, molido y acondicionamiento. Presenta, además, los diversos métodos tecnológicos implementados según la variedad. Desde las técnicas tradicionales, como la exposición solar y el uso de hornos rústicos, hasta sistemas más avanzados con control de temperatura y humedad, el esquema resalta las múltiples vías de procesamiento actuales. La leyenda codificada por colores especifica claramente las técnicas para cada etapa, por ejemplo, 'Inhibición I: Escaldado en agua caliente', 'Sudado I: Exposición directa a la luz solar', 'Secado II: Horno tecnificado' y 'Acondicionamiento III: Cajones de madera'. Esta representación gráfica no solo clarifica las prácticas existentes, sino que también sugiere oportunidades para explorar nuevas combinaciones y optimizaciones.

El mapa, al delimitar las rutas ya establecidas, muestra un extenso campo de posibilidades en la combinación de etapas de procesamiento. Un estudio riguroso de estas podría desarrollar metodologías de curado superiores, aptas para la adaptación a perfiles organolépticos distintivos o para una mayor eficiencia energética, lo que impulsaría direcciones innovadoras en la producción de vainilla de alta calidad.

En la sistematización del proceso de curado de la vainilla, se evidencian diversas tecnologías que se han agrupado en Tecnologías a partir de los métodos involucrados:

- Tecnología 1: Inhibición I + Sudado I + Secado I + Secado II + Molido I + Acondicionamiento III.
- Tecnología 1: Inhibición I + Sudado I + Secado I + Secado II + Molido I + Acondicionamiento III.
- Tecnología 2: Inhibición I + Sudado III + Secado I + Acondicionamiento I.
- Tecnología 3: Inhibición II + Secado II + Inhibición IV + Acondicionamiento IV.
- Tecnología 4: Inhibición I + Sudado II.
- Tecnología 5: Inhibición I + Secado II + Molido II + Acondicionamiento III.
- Tecnología 6: Sudado III + Secado I + Acondicionamiento IV.
- Tecnología 7: Secado II + Acondicionamiento IV.
- Tecnología 8: Inhibición II + Secado IV.
- Tecnología 9: Inhibición IV + Secado I.
- Tecnología 10: Inhibición I + Sudado III + Secado I + Molido II + Acondicionamiento IV.
- Tecnología 11: Inhibición I + Acondicionamiento IV.
- Tecnología 12: Inhibición II + Inhibición IV + Secado II.
- Tecnología 13: Secado I + Secado II + Acondicionamiento IV.
- Tecnología 14: Inhibición II + Sudado III + Acondicionamiento IV.
- Tecnología 15: Inhibición I + Inhibición IV + Secado III + Molido I + Acondicionamiento.
- Tecnología 16: Inhibición II + Sudado III + Secado II + Molido II.
- Tecnología 17: Sudado II + Secado IV.

- Tecnología 18: Inhibición I + Secado III + Acondicionamiento III.
- Tecnología 19: Secado III + Inhibición I + Acondicionamiento II.
- Tecnología 20: Inhibición I + Sudado I + Secado III + Acondicionamiento IV.

La diversidad de "tecnologías" en el curado de la vainilla entendidas como combinaciones de etapas refleja la vasta gama de enfoques disponibles para los productores. Aunque estas secuencias no siempre sigan rutas lineales o completas, revelan la adaptabilidad para diseñar procesos de curado personalizados, permitiendo a cada productor seleccionar las metodologías más adecuadas para cada fase. Esta amplia gama de alternativas permite ajustar el proceso a requerimientos particulares (Salas, Chávez, Hernández, Hernández 2017; Kelso Bucio, Reyes López, Cruz Palacios, Villegas Rodríguez, Rodríguez Morales, Ramírez, Ba, Magaña Hernández, Huerta Gómez 2013).

La versatilidad se evidencia al combinar, por ejemplo, la Inhibición I (escaldado) con el Sudado III (cajones/cámaras) y el Secado I (exposición solar), como en la "Tecnología 2". Esta mezcla de procedimientos, que une el saber tradicional del secado solar con la precisión de entornos controlados como los cajones, confiere una gran flexibilidad operativa. De este modo, los productores pueden controlar con precisión las etapas preliminares, con el fin de utilizar la energía del sol en la etapa final de secado, reduciendo así de forma notable los costos energéticos (Luna Guevara, Ruiz Espinosa, Herrera Cabrera, Navarro Ocaña, Delgado Alvarado, Luna Guevara 2016).

De igual forma, la inclusión de la criocongelación en fases como la inhibición (ej., "Tecnología 9: Inhibición IV + Secado I") o el molido (inferido del Molido III) resalta la integración de alta tecnología en puntos estratégicos. Esta estrategia busca maximizar la calidad y salvaguardar los compuestos volátiles, algo fundamental para conseguir vainillas de la más alta categoría, dirigidas a mercados exigentes. De esta manera, se puede lograr una mayor retención de aroma, incluso si las etapas de secado posteriores son más sencillas (Ribeiro Araujo, Araujo Lima, Tavares de Oliveira, Furtado Macedo, Felzenszwalb 2024).



Figura 1: Tecnologías aplicadas para el curado de la vainilla.

Ciertas combinaciones sugieren un énfasis en la eficiencia y estandarización. Por ejemplo, una ruta como "Tecnología 7: Secado II (horno/tecnificado) + Acondicionamiento IV (empaquetado/sellado)", es un claro indicio de un enfoque en la producción a gran escala. Aquí, lo primordial es la rapidez del secado y la preservación del producto final, garantizando

así una vida útil extendida y una uniformidad constante en cada lote (González Reyes, Rodríguez Guzmán, Yáñez Morales, Escalante Estrada 2020).

Por otro lado, algunas combinaciones favorecen la simplicidad y la adaptabilidad a recursos más modestos, como en la

"Tecnología 8", que combina la Inhibición II (por inmersión) con el Secado IV (a la sombra o ventilado). Esto demuestra que es posible lograr resultados satisfactorios utilizando métodos que requieren menor inversión tecnológica, un factor crucial para la sostenibilidad económica de los pequeños productores (Viveros Antonio, Delgado Alvarado, Herrera Cabrera, Arévalo Galarza, Hernández Ruiz 2019).

La existencia de estos diversos métodos y sus combinaciones en el curado de la vainilla es un claro indicio de la madurez y adaptabilidad de esta agroindustria. Facilita a los productores elegir el camino que mejor se ajuste a sus metas de calidad, capacidad de inversión, condiciones ambientales y las exigencias específicas del mercado. Esta flexibilidad no solo optimiza los resultados finales en términos de aroma, sabor y conservación, sino que también contribuye a la sostenibilidad de la producción en diversas regiones y escalas, desde la vainilla artesanal hasta la industrial.

4. Conclusiones

Esta investigación ha sistematizado las diversas rutas tecnológicas del curado de vainilla, revelando la amplia variedad de métodos y condiciones de operación que influyen en los resultados finales del proceso, como la duración y la composición de los compuestos aromáticos. Se ha determinado que las tecnologías de curado varían considerablemente en cuanto a su duración y Nivel de Madurez Tecnológica (TRL). Por ejemplo, los procesos tradicionales, que pueden extenderse por meses (con un TRL 7-9), coexisten con métodos más nuevos, semi-mecanizados y tecnificados, que logran

acortar significativamente los tiempos (con un TRL 5-9). Esto demuestra que, aunque las técnicas más probadas suelen ser más lentas, existe una búsqueda constante de métodos más rápidos con el objetivo de lograr eficiencia sin sacrificar la calidad.

Se evidencia un interés global en el curado de la vainilla, aunque existe fluctuaciones en algunos años. Es interesante observar cómo las publicaciones sobre este tema han resurgido con fuerza entre 2023 y 2025. Esta variación en la investigación parece estar directamente vinculada a los cambios en el precio mundial de la vainilla; cuando el precio fluctúa, también lo hacen la inversión y la búsqueda de nuevas formas de mejorar la producción y la calidad.

El proceso de curado de la vainilla continúa siendo un área de gran interés para la investigación y la industria, con un potencial para mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad. Una de las implicaciones prácticas más importantes es la posibilidad de buscar la ruta tecnológica que permita optimizar el proceso, mejorar la calidad y disminuir los tiempos de operación. Otra implicación práctica es la posibilidad de analizar combinaciones de operaciones que con anterioridad a este trabajo hubiese sido engorrosa de realizar por la inexistencia de la sistematización de las tecnologías.

Los elementos anteriores y el análisis de los niveles de madurez de las tecnológicas permitirían definir políticas científicas de Investigación + Desarrollo + Innovación para abordar las principales tendencias y desafíos que enfrenta la cadena de valor de la vainilla.

Contribuciones de los autores

Jennifer Elizabeth Ayme Caiza: Elaboración del protocolo de investigación; diseño del trabajo; evaluación de variables y análisis estadístico; redacción del trabajo y corrección de observaciones.

Amaury Pérez Martínez: Aprobación del protocolo de investigación; revisión de la base de datos; aprobación de versiones enviadas y editadas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

CERVANTES CASTILLO, Adán, LIMA MORALES, Mónica, DELGADO ALVARADO, Adriana, HERRERA CABRERA, Braulio Edgar, ARÉVALO GALARZA, Gustavo Antonio, SOTO HERNANDEZ, Ramón Marcos, GARCÍA OSORIO, Cecilia and ARÉVALO GALARZA, Ma. de Lourdes, 2018. Calidad de frutos vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) procedente de la Huasteca Potosina, México. *Nova Scientia*. Online. November 2018. Vol. 10, no. 21, p. 360–378. DOI: 10.21640/ns.v10i21.1586. Available from <https://www.redalyc.org/journal/2033/203359541019/> [Accessed 4 June 2025].

COLICCI, Joseph C., 2006. *Extracto de Vanilla planifolia, procedimiento para su obtención, y composición cosmética o dermatológica que lo contiene*. Online. and published on 9 June 2006. Estados Unidos. Available from <https://patents.google.com/patent/ES2567131T3/es>. [Accessed 16 August 2025]. 7,125,570 B2.

CUAN ESCOBAR, Tiffany A., CUELLAR SÁNCHEZ, Alma, GÓMEZ VELÁZQUEZ, Haiku D.J., MONRIBOT VILLANUEVA, Juan L., GUERRERO ANALCO, José A., GUTIÉRREZ DÍAZ, Isabel and LUNA VITAL, Diego A., 2025. Effect of different killing methods during curing on the phytochemical and bacterial composition of *Vanilla planifolia* using multi-omic approaches. *Food Chemistry: X*. Online. February 2025. Vol. 26, p. 102269. DOI: 10.1016/j.fochx.2025.102269. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590157525001166> [Accessed 4 June 2025].

DIGNUM, Mark J.W., KERLER, Josef and VERPOORTE, Rob, 2001. Vanilla production: technological, chemical, and biosynthetic aspects. *Food Reviews International*. Online. 2001. Vol. 17, no. 2, p. 119–120. DOI: 10.1081/FRI-100000269. Available from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/FRI-100000269> [Accessed 7 July 2025].

- DRAGOS, Cristian Mihai and DRAGOS, Simona Laura, 2013. Bibliometric approach of factors affecting scientific productivity in environmental sciences and ecology. *Science of The Total Environment*. Online. 1 April 2013. Vol. 449, p. 184–188. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.057. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969713001125> [Accessed 5 July 2025].
- ELORZA MARTÍNEZ, Pablo, HERRERA LÓPEZ, Maritza, FUENTES HERNÁNDEZ, Delia, Alma, OLMEDO PÉREZ, Gerardo, BARRADAS DOMÍNGUEZ, Consuelo and MARURI GARCÍA, José Manuel, 2007. Efecto del tipo de tutor sobre el contenido de vainillina y clorofila en vainas de vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews) en Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*. Online. 2007. Vol. 7, no. 1, p. 228–236. Available from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2550679> [Accessed 1 August 2025].
- ESPEJEL, A., BARRERA RODRÍGUEZ, A.I., PÉREZ, M.G. and RAMÍREZ GARCÍA, A.G., 2022. Atributos tangibles e intangibles y diferenciación sensorial de la vainilla mexicana. *Polibotánica*. Online. 15 July 2022. Vol. 1, no. 54, p. 241–255. DOI: 10.18387/polibotanica.54.15. Available from <http://polibotanica.mx/index.php/polibotanica/article/view/990> [Accessed 4 June 2025].
- GANTIVA R., E. Alberto, DÍEZ G., M. Claudia and MORENO H., Flavio H., 2020. Efecto de la interacción luz-agua sobre la fotosíntesis de la *Vanilla planifolia* (Orchidaceae). *Revista de Biología Tropical*. Online. September 2020. Vol. 68, no. 4, p. 1250–1261. DOI: 10.15517/rbt.v68i4.41385. Available from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9439375> [Accessed 4 June 2025].
- GASTELBONDO, Manuel, MICHEAL, Vincent, WANG, Yu, CHAMBERS, Alan and WU, Xingbo, 2025. Comparative transcriptome profiling of vanilla (*Vanilla planifolia*) capsule development provides insights of vanillin biosynthesis. *BMC Plant Biology*. Online. 18 March 2025. Vol. 25, no. 1, p. 343. DOI: 10.1186/s12870-025-06360-w. Available from <https://bmcpantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-025-06360-w> [Accessed 6 July 2025].
- GONZÁLEZ REYES, Héctor, RODRÍGUEZ GUZMÁN, María Del Pilar, YÁÑEZ MORALES, María De Jesús and ESCALANTE ESTRADA, José Alberto S., 2020. Temporal dynamics of vanilla (*vanilla planifolia*) wilt disease associated to fusarium spp. in three crop systems at papantla, mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. Online. 2020. Vol. 23, no. 19, p. 1–3. DOI: 10.56369/tsaes.2841. Available from <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2841> [Accessed 4 June 2025].
- GOOGLE, 2025. Google trends. Online. 2025. Available from <https://trends.google.com/trends/explore?date=2015-06-29%202025-06-29&q=cured%20%2B%20vanilla,Curado%20%2B%20vainilla&hl=es> [Accessed 12 July 2025].
- HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, Miguel Ángel, ROJAS ÁVILA, Adrián, VÁZQUEZ LANDAVERDE, Pedro Alberto, CORNEJO MAZÓN, Maribel and DÁVILA ORTIZ, Gloria, 2019. Volatile compounds and fatty acids in oleoresins from *Vanilla Planifolia* Andrews obtained by extraction with supercritical carbon dioxide. *CyTA - Journal of Food*. Online. 2019. Vol. 17, no. 1, p. 419–430. DOI: 10.1080/19476337.2019.1593247. Available from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19476337.2019.1593247> [Accessed 4 June 2025].
- HERRERA CABRERA, Braulio Edgar, SALGADO GARCIGLIA, Rafael, OCAÑO HIGUERA, Manuel Víctor, BARRALES CUREÑO, Hébert Jair, DELGADO ALVARADO, Adriana, MONTIEL MONTOYA, Jorge, DIAZ BAUTISTA, Maximino, ALMORIN ALBINO, Renato and REYES, César, 2022. Producción y caracterización de vainilla (*Vanilla planifolia*) en función de la concentración de vainillina. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. Online. August 2022. Vol. 9, no. 2, p. 48–62. Available from <https://www.reibci.org/publicados/2022/sep/4600107.pdf> [Accessed 4 June 2025].
- HOOKE LUCY, 2017. Qué país es el mayor productor del “oro rojo” más caro del mundo y cómo reconocerlo para que no te engañen al comprarlo. *BBC News Mundo*. Online. 2017. Available from <https://www.bbc.com/mundo/noticias-41261244> [Accessed 17 July 2025].
- JARAMILLO V. JOSÉ LUIS, ESCOBEDO G., José Sergio and BARRERA R., Ariadna, 2012. Competitividad de Sistemas de Beneficiado de Vainilla (*Vanilla Planifolia* J.) en la Región del Totonacapan, México. *Panorama Socioeconómico*. Online. December 2012. Vol. 30, no. 45, p. 80–93. Available from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39926862002> [Accessed 4 June 2025].
- KALI, Richard J and AVE, Burchfield, 1964. *Curing of vanilla beans*. Online. and published on 27 April 1964. Estados Unidos: Oficina de Patentes de Estados Unidos. Available from <https://patents.google.com/patent/US3352690A/en>. [Accessed 16 August 2025]. 3.352.690.
- KELSO BUCIO, Henry Arturo, REYES LÓPEZ, Delfino, CRUZ PALACIOS, María Isabel, VILLEGAS RODRÍGUEZ, Isaac, RODRÍGUEZ MORALES, Beremundo, RAMÍREZ, Fermín Pascual, BA, Khalidou Mamadou, MAGAÑA HERNÁNDEZ, Francisco and HUERTA GÓMEZ, Israel, 2013. Beneficiado semi-mecanizado de vainilla. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Online. December 2013. Vol. 22, p. 38–40. Available from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000500005 [Accessed 4 June 2025].
- LUIS ROJAS, Samuel, RAMÍREZ VALVERDE, Benito, DÍAZ BAUTISTA, Maximino, PIZANO CALDERÓN, José and RODRÍGUEZ LÓPEZ, Carmen, 2020. La producción de vainilla (*Vanilla planifolia*) en México: análisis y pronóstico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Online. 5 February 2020. Vol. 11, no. 1, p. 175–187. DOI: 10.29312/remexca.v11i1.2065. Available from <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2065> [Accessed 5 July 2025].
- LUNA GUEVARA, J.J., RUIZ ESPINOSA, H., HERRERA CABRERA, E.B., NAVARRO OCAÑA, A., DELGADO ALVARADO, A. and LUNA GUEVARA, M. L., 2016. Variedad de microflora presente en vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) relacionados con procesos de beneficiado. *Agroproductividad*. Online. January 2016. Vol. 9, no. 1, p. 3–9. Available from <https://www.revista-agroproductividad>

org/index.php/agroproductividad/article/view/701/570 [Accessed 4 June 2025].

MANYATSI, Thabani Sydney, LIN, Yu Hsin and JOU, Ying Tzy, 2024. The isolation and identification of *Bacillus velezensis* ZN-S10 from vanilla (*V. planifolia*), and the microbial distribution after the curing process. *Scientific Reports*. Online. 16 July 2024. Vol. 14, no. 1, p. 16339. DOI: 10.1038/s41598-024-66753-z. Available from <https://www.nature.com/articles/s41598-024-66753-z> [Accessed 16 June 2025].

MORDOR INTELLIGENCE SOURCE, 2025. Tamaño del mercado global de sabores de alimentos naturales y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029). Online. 2025. Available from <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/natural-food-flavor-market> [Accessed 7 July 2025].

PAGE, Matthew J., MCKENZIE, Joanne E., BOSSUYT, Patrick M., BOUTRON, Isabelle, HOFFMANN, Tammy C., MULROW, Cynthia D., SHAMSEER, Larissa, TETZLAFF, Jennifer M., AKL, Elie A., BRENNAN, Sue E., CHOU, Roger, GLANVILLE, Julie, GRIMSHAW, Jeremy M., HRÓBJARTSSON, Asbjörn, LALU, Manoj M., LI, Tianjing, LODER, Elizabeth W., MAYO WILSON, Evan, McDONALD, Steve, MCGUINNESS, Luke A., STEWART, Lesley A., THOMAS, James, TRICCO, Andrea C., WELCH, Vivian A., WHITING, Penny, MOHER, David, YEPES NUÑEZ, Juan José, URRÚTIA, Gerard, ROMERO GARCÍA, Marta and ALONSO FERNÁNDEZ, Sergio, 2021. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*. Online. September 2021. Vol. 74, no. 9, p. 790–799. DOI: 10.1016/j.recesp.2021.06.016. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300893221002748> [Accessed 20 June 2025].

RAMÍREZ JUÁREZ, Sharon, ELORZA MARTÍNEZ, Pablo, GARCÍA MUÑOZ, Silvia Amanda, VILLAREAL RAMÍREZ, Víctor H. and URANGA VALENCIA, Luisa P, 2019. Exploración de beneficios de vainilla en el Área Natural Protegida Sierra de Otontepec, Veracruz en busca de coliformes. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*. Online. 30 June 2019. Vol. 7, no. 1, p. 42–46. DOI: 10.47808/revistabioagro.v7i1.158. Available from <https://revistabioagro.mx/index.php/revista/article/view/158> [Accessed 4 June 2025].

RAMÍREZ JUÁREZ, Sharon, GARCÍA MUÑOZ, Silvia Amanda, ORTEGA RODRÍGUEZ, Anabel, VILLAREAL RAMÍREZ, Víctor H., LEYVA CHÁVEZ, Arwell Nathan and URANGA VALENCIA, Luisa P, 2019. Consecuencias en el congelamiento en el beneficiado de *Vanilla planifolia* Andrews. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*. Online. 30 June 2019. Vol. 7, no. 1, p. 6–12. DOI: 10.47808/revistabioagro.v7i1.134. Available from <https://revistabioagro.mx/index.php/revista/article/view/134> [Accessed 26 June 2025].

RAMOS CASTELLÁ, Alma Laura and IGLESIAS ANDREU, Lourdes Georgina, 2022. Avances y tendencias en mejoramiento genético de vainilla. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. Online. 2022. Vol. 23, no. 2, p. e2339. Available from <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/2339/964> [Accessed 26 June

2025].

REYES LÓPEZ, Delfino, QUIROZ VALENTÍN, Jonathan, KELSO BUCIO, Henry Arturo, HUERTA LARA, Manuel, AVENDAÑO ARRAZATE, Carlos Hugo and LOBATO ORTIZ, Ricardo, 2015. Caracterización estomática de cinco especies del género *Vanilla*. *Agronomía Mesoamericana*. Online. 2015. Vol. 26, no. 2, p. 237–246. DOI: 10.15517/am.v26i2.19279. Available from <https://www.redalyc.org/journal/437/43738993005/html/> [Accessed 6 July 2025].

RIBEIRO ARAUJO, Natália Goncalves, ARAUJO LIMA, Carlos Fernando, TAVARES DE OLIVEIRA, Renatha, FURTADO MACEDO, Andrea and FELZENSZWALB, Israel, 2024. In vitro cytotoxicity and genotoxicity assessment of methanolic extracts of vanillas from Brazilian biodiversity with commercial potential. *Toxicology Reports*. Online. December 2024. Vol. 13, p. 101693. DOI: 10.1016/j.toxrep.2024.101693. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214750024000763> [Accessed 16 June 2025].

RODRÍGUEZ DEMÉNIGHI, Marco Vinicio, AGUILAR RIVERA, Noé, GHENO HEREDIA, Yaqueline A and ARMAS SILVA, Arturo Alonso, 2023. Vanilla cultivation in Mexico: Typology, characteristics, production, agroindustrial prospective and biotechnological innovations as a sustainability strategy. *Scientia Agropecuaria*. Online. 22 March 2023. Vol. 14, no. 1, p. 93–109. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2023.009. Available from <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/4685> [Accessed 4 June 2025].

ROMERO CORTES, Teresa, PÉREZ ESPAÑA, Víctor Hugo, LÓPEZ PÉREZ, Pablo Antonio, RODRÍGUEZ JIMENES, Guadalupe Del Carmen, ROBLES OLVERA, Víctor J., APARICIO BURGOS, José Esteban and CUERVO PARRA, Jaime Alioscha, 2019. Antifungal activity of vanilla juice and vanillin against *Alternaria alternata*. *CyTA - Journal of Food*. Online. 2019. Vol. 17, no. 1, p. 375–383. DOI: 10.1080/19476337.2019.1586776. Available from <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/19476337.2019.1586776?needAccess=true> [Accessed 4 June 2025].

ROSADO ZARRABAL, Thelma Lucía, SALGADO CERVANTES, Marco Antonio, ROBLES OLVERA, Víctor José, GARCÍA ALVARADO, Miguel Ángel, and RODRÍGUEZ JIMENES, Guadalupe del C, 2007. Efecto del tipo de marchitamiento en la evolución de los compuestos aromáticos en un beneficio controlado de vainilla (*Vanilla planifolia*). In: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA (ed.), *V Congreso Iberoamericano de Tecnología postcosecha y Agroexportaciones*. Online. Cartagena, España: Universidad Politécnica de Cartagena. Grupo de Postrecolección y Refrigeración. 2007. p. 1072–1080. DOI: 10.31428/10317/12249. [Accessed 4 June 2025].

SALAS, Yamilet, CHÁVEZ, Luz, HERNÁNDEZ, Israel and HERNÁNDEZ, Javier, 2017. Extracción y caracterización de aceite absoluto de Vainilla. *Revista de Sistemas Experimentales*. Online. December 2017. Vol. 4, no. 13, p. 1–8. Available from https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas_

Experimentales / vol4num13 / Revista_de_Sistemas_Experimentales_V4_N13_1.pdf [Accessed 20 June 2025].

SÁNCHEZ GALINDO, Mavet, ARÉVALO GALARZA, Ma De Lourdes, DELGADO ALVARADO, Adriana, HERRERA CABRERA, Braulio Edgar and OSORIO GARCÍA, Cecilia, 2018. Quality of green and cured vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) fruit in relation to its age at harvest. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. Online. December 2018. Vol. 24, no. 3, p. 203–213. DOI: 10.5154/rchsh.2018.02.004. Available from <https://revistas.chapingo.mx/horticultura/?section=articles&subsec=issues&numero=260&articulo=2525> [Accessed 8 July 2025].

SANTAMARÍA PÉREZ, Aldo H, GARCÍA ROSAS, Marina I, CEREZO ACEBEDO, Estela and BÁRCENAS GRANIEL, Juan F, 2008. Diseño de un prototipo de secador para el beneficiado de la vainilla. In: *Artículo en la Memoria Técnica publicado en la XXXII Semana de Energía Solar*. Mérida, México: Asociación Nacional de Energía Solar. August 2008. p. 571–575.

TORRES GONZÁLEZ, M J, AGUIRRE MEDINA, J F and IRACHETA DONJUAN, L, 2011. Germinación de semilla y obtención de plántulas de *Vanilla planifolia* Andrews en condiciones in vitro. *Agroproductividad*. Online. 2011. Vol. 4, no. 2, p. 3–8. Available from <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/574/443> [Accessed 26 July 2025].

VARGAS HERNÁNDEZ, Juan, ARÉVALO GALARZA, Ma. de Lourdes, DELGADO ALVARADO, Adriana, OSORIO GARCÍA, Cecilia, VILLEGAS MONTER, Ángel and ZAVALA MANCERA, Hilda Araceli, 2021. Características del fruto de vainilla verde y beneficiada cosechados a diferente edad. *Acta Agrícola y Pecuaria*. Online. 21 December 2021. Vol. 7, no. 1, p. 2–12. DOI: 10.30973/aap/2021.7.0071022. Available from <http://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/256/92> [Accessed 4 June 2025].

VILLEGAS RAMÍREZ, Juan and PALMA ZÚÑIGA, To-

más, 2022. Caracterización morfogénica de la vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews) para su propagación. *Agronomía Costarricense*. Online. June 2022. Vol. 46, no. 1, p. 9–24. DOI: 10.15517/rac.v46i1.49861. Available from https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242022000100009 [Accessed 6 July 2025].

VIVEROS ANTONIO, Cecilia, DELGADO ALVARADO, Adriana, HERRERA CABRERA, Braulio E., ARÉVALO GALARZA, Ma. De Lourdes and HERNÁNDEZ RUIZ, Jesús, 2019. Efecto del beneficiado tradicional de *Vanilla planifolia* en los fitoquímicos de frutos de *Vanilla pompona* Schiede. *Agro Productividad*. Online. October 2019. Vol. 12, no. 10, p. 3–8. DOI: 10.32854/agrop.v12i9.1383. Available from <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1430/1206> [Accessed 4 June 2025].

XOCHIPA MORANTE, R. C., DELGADO ALVARADO, A., HERRERA CABRERA, B. E., ESCOBEDO GARRIDO, J. S. and ARÉVALO GALARZA, L., 2016. Influencia del proceso de beneficiado tradicional mexicano en los compuestos del aroma de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *Agroproductividad*. Online. January 2016. Vol. 9, no. 1, p. 55–62. Available from <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/708/577> [Accessed 4 June 2025].

YEH, Chih Hsin, CHOU, Chia Yi, YANG, Kai Min, WU, Chin Sheng, CHU, Lee Ping, HSU, Yu Ling and CHEN, Hsin Chun, 2024. Effects of storage time and temperature on the aroma quality and color of vanilla beans (*Vanilla planifolia*) from Taiwan. *Food Chemistry: X*. Online. 30 December 2024. Vol. 24, p. 101761. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101761. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590157524006497> [Accessed 16 June 2025].

YFANTI, Sofia and SAKKAS, Nikos, 2024. Technology Readiness Levels (TRLs) in the Era of Co-Creation. *Applied System Innovation* 2024, Vol. 7, Page 32. Online. 16 April 2024. Vol. 7, no. 2, p. 32. DOI: 10.3390/ASI7020032. Available from <https://www.mdpi.com/2571-5577/7/2/32/htm> [Accessed 17 September 2025].