

Vainilla

Biología, aroma
y beneficiado

ISBN: 978-9907-802-01-6



DENIS MONCAYO

2026

VAINILLA BIOLOGÍA, AROMA Y BENEFICIADO

AUTOR:

Denis Viterbo Moncayo Palchisaca

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad científica.

©Grupo Editorial BLR
Riobamba – Ecuador
Correo: publicaciones@grupobl.com
<https://grupobl.com/libros-investig>
REPOSITORIO



Moncayo, D. (2026) Vainilla biología, aroma y beneficiado. Grupo Editorial BLR.

© Denis Viterbo Moncayo Palchisaca

ISBN: 978-9907-802-01-6

El copyright promueve la libertad de expresión, protege la diversidad de ideas y conocimiento, además apoya la libre expresión. Se prohíbe de manera rigurosa la producción o el almacenamiento de esta publicación, ya sea en su totalidad o en parte, está estrictamente prohibido por ley, incluyendo el diseño de la portada, así como su difusión a través de cualquiera de sus medios, ya sean electrónicos, mecánicos, ópticos, de grabación o incluso de fotocopia, sin permiso de los propietarios de los derechos de autor.



FILIACIÓN DEL AUTOR

Denis Viterbo Moncayo Palchisaca

Investigador independiente

Correo Electrónico: vite.p_94@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9673-5599>

Macas, Morona Santiago, Ecuador

“Vainilla Biología, aroma y beneficiado”.
— *Denis Viterbo Moncayo Palchisaca,*

PRÓLOGO

La vainilla es una de las especies aromáticas más valoradas a nivel mundial; sin embargo, su reconocimiento comercial ha eclipsado durante décadas la complejidad biológica, química y tecnológica que sustenta su producción. Aunque el género *Vanilla* alcanza su mayor diversidad en el Neotrópico, la investigación científica y el desarrollo agroindustrial se han concentrado casi exclusivamente en *Vanilla planifolia*, dejando escasamente estudiadas a otras especies aromáticas nativas de la Amazonía.

Este libro surge de esa brecha de conocimiento, con especial atención en *Vanilla odorata*, una especie neotropical nativa cuya distribución abarca diversos países de América tropical, pero que cuenta con poblaciones naturales bien establecidas en la Amazonía del Ecuador. En el contexto ecuatoriano, *V. odorata* forma parte del patrimonio biológico amazónico y representa una de las pocas especies del género presentes de manera natural en el territorio, asociada a ecosistemas de bosque húmedo con bajos niveles de intervención. Pese a ello, su potencial agronómico, aromático y agroindustrial ha sido históricamente subestimado y permanece escasamente documentado.

A lo largo de la obra se desarrolla un análisis integral del género *Vanilla*, articulando aspectos botánicos, históricos, fisiológicos, químicos y tecnológicos, con énfasis en los procesos de postcosecha y curado como etapas determinantes para la expresión del aroma. El texto examina de manera crítica tanto los métodos tradicionales como las alternativas

tecnificadas, subrayando el papel del control de variables como temperatura, humedad y tiempo en la calidad final del producto.

Este libro está dirigido a investigadores, estudiantes de posgrado y profesionales vinculados a la cadena de valor de la vainilla. Más que un manual operativo, constituye una síntesis académica y técnica que busca ampliar la comprensión del género *Vanilla* desde el contexto amazónico ecuatoriano, sentando bases para futuras investigaciones y desarrollos agroindustriales que reconozcan el valor científico, productivo y territorial de las especies nativas.

INTRODUCCIÓN

La vainilla constituye un sistema biológico y tecnológico singular, en el que el valor aromático no se expresa en el fruto fresco, sino que emerge como resultado de un proceso de beneficiado/curado cuidadosamente controlado. La calidad final depende de la interacción entre la fisiología del fruto, la química de sus precursores aromáticos y las condiciones bajo las cuales se desarrolla la postcosecha. En este contexto, el beneficiado no puede entenderse como una práctica secundaria, sino como el eje que articula la biología vegetal con la transformación agroindustrial.

Este libro propone una aproximación científica integrada al género *Vanilla*, abordando de manera conjunta sus bases botánicas, la formación del aroma y los procesos que permiten su expresión y estabilización. El análisis se apoya en la literatura especializada y en la revisión crítica de los métodos de curado tradicionalmente utilizados, con énfasis en la comprensión de los parámetros técnicos que gobiernan la liberación de vainillina y otros compuestos aromáticos clave.

Si bien gran parte del conocimiento disponible se ha desarrollado a partir de *Vanilla planifolia*, la obra examina los límites de extrapolar estos esquemas a otras especies del género, particularmente a aquellas nativas de la Amazonía ecuatoriana. La diversidad biológica, las diferencias fisiológicas y las condiciones ambientales propias de estos sistemas plantean la necesidad de repensar el beneficiado no como un procedimiento universal, sino como un proceso susceptible de adaptación.

Desde esta perspectiva, el libro no busca ofrecer recetas cerradas, sino proporcionar un marco conceptual y técnico que permita interpretar la calidad de la vainilla, comprender la variabilidad de sus perfiles aromáticos y fundamentar futuras estrategias de investigación, manejo postcosecha e industrialización, con especial atención a *Vanilla odorata* como especie nativa de la Amazonía ecuatoriana y a su potencial aún poco explorado.

ÍNDICE

PRÓLOGO	II
INTRODUCCIÓN	IV
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
CAPÍTULO I	14
1. CONTEXTO BOTÁNICO, TAXONÓMICO, HISTÓRICO Y ECONÓMICO	14
1.1 Género Vanilla: especies, distribución y taxonomía.....	14
1.2 Vanilla odorata: biología, morfología y distribución.....	18
1.2.1 Biología general y hábito de crecimiento.....	19
1.2.2 Morfología floral y caracteres diagnósticos.....	20
1.2.3 Fruto y características reproductivas.....	21
1.2.4 Distribución geográfica.....	23
1.2.5 Relevancia taxonómica y agroindustrial.....	23
1.3 Historia, domesticación y evolución del uso de la vainilla.....	24
1.3.1 Orígenes mesoamericanos del cultivo.....	25
1.3.2 La innovación que transformó el cultivo: la polinización manual.....	26
1.3.3 Evolución del uso y consolidación del valor aromático.....	26
1.3.4 La transición hacia la vainillina sintética.....	27

1.3.5 Trayectorias divergentes de las especies aromáticas	28
1.3.6 Perspectivas contemporáneas	29
1.4 Importancia económica y agroindustrial	29
1.4.1 La vainilla en el mercado global.....	30
1.4.2 Valor económico de la diversidad aromática	31
1.4.3 Relevancia para economías amazónicas.....	32
1.4.5 Limitaciones actuales	33
1.4.6 Oportunidades emergentes	33
1.5 Química fundamental de la vainilla (vainillina, precursores, enzimas)	34
1.5.1 La glucovanillina: precursor esencial del aroma	35
1.5.2 Enzimas determinantes en la liberación del aroma	36
1.5.3 Vainillina y compuestos asociados.....	37
1.5.4 Transformaciones clave durante el curado	38
1.5.5 Dinámica del secado y control térmico	39
1.5.6 Variabilidad química entre especies del género Vanilla	40
1.5.7 Implicaciones para el aprovechamiento agroindustrial	41
CAPÍTULO II	42
2. POSTCOSECHA Y BENEFICIADO	42
2.1 Selección del fruto.....	42
2.2 Métodos de beneficiado/curado tradicional	46
2.2.1 Bases históricas del método mexicano	47

2.2.2 Estructura clásica del proceso de curado.....	48
a. Killing (destrucción de tejidos).....	48
b. Sweating (sudado).....	49
c. Drying (secado lento).....	50
d. Conditioning (acondicionamiento).....	50
2.2.3 Variaciones regionales e internacionales.....	52
2.2.4 Consideraciones agroindustriales	52
2.3 Métodos de beneficiado/curado tecnificados	53
2.3.1 Beneficiado semi-mecanizado.....	54
2.3.2 Sistemas de secado con deshumidificación	54
2.3.3 Prototipos integrados de fermentación y secado	55
2.3.4 Secadores híbridos solar-eléctricos	55
2.3.5 Tecnologías emergentes: microondas y ultrasonido.....	56
2.3.6 Control tecnificado del killing y del almacenamiento previo ...	57
a. Alcance de los métodos tecnificados	57
2.4 Parámetros críticos del curado	57
2.4.1 Temperatura: equilibrio entre activación e inactivación	58
2.4.2 Humedad relativa: modulador de la cinética del proceso.....	59
2.4.3 Tiempo: cinética de transformación y no simple duración.....	60
2.4.4 Actividad enzimática y estructura tisular	60
2.4.5 Cinética de liberación y estabilidad de la vainillina.....	61
2.4.6 Riesgos asociados a un control inadecuado.....	62

2.4.7 Integración de los parámetros críticos	64
2.5 Tendencias emergentes y oportunidades de innovación	65
2.5.1 Control ambiental y estandarización del proceso	66
2.5.2 Ventanas térmicas críticas e intensificación controlada	67
2.5.3 Cinética del curado y base para la optimización técnica	67
2.5.4 Reducción de la variabilidad como oportunidad estratégica	68
2.5.5 Hacia procesos más eficientes y menos dependientes del clima	69
CAPÍTULO III	70
3. CALIDAD, ANÁLISIS Y COMPUESTOS AROMÁTICOS	70
3.1 Compuestos volátiles y no volátiles	70
3.1.1 Naturaleza química del aroma de vainilla	71
3.1.2 Precursores aromáticos y rutas bioquímicas.....	73
3.1.3 Formación de compuestos aromáticos durante el curado.....	74
3.1.4 Variabilidad química asociada al método de curado	76
3.1.5 Variabilidad según origen y sistema de producción.....	77
3.1.6 Implicaciones para la calidad y la industria.....	78
3.2 Factores que afectan la calidad aromática	78
3.3 Métodos instrumentales.....	85
3.3.1 Cromatografía de gases como eje del análisis aromático	85
3.3.2 Métodos de extracción: el filtro del aroma observado	86
3.3.3 Desorción térmica directa y análisis sin solventes	87

3.3.4 Cromatografía líquida y métodos normativos para compuestos fenólicos.....	87
3.3.5 Métodos electroquímicos como herramientas emergentes.....	88
3.3.6 Integración de herramientas estadísticas	88
3.4 Quimiotipos y perfiles aromáticos	90
3.5 Posicionamiento de Vanilla odorata frente a los quimiotipos comerciales de referencia.....	93
CAPÍTULO IV.....	97
4. INDUSTRIALIZACIÓN Y PROYECCIÓN.....	97
4.1 Cadena de valor de la vainilla en Ecuador: enfoques productivos y territoriales	97
4.1.1 Producción primaria y manejo del territorio.....	98
4.1.2 Acopio y beneficiado: eje de la competitividad	99
4.1.3 Transformación y acceso a mercados.....	101
4.1.4 Asociatividad, gobernanza y organización de la cadena	101
4.1.5 Contraste entre sistemas agroforestales e invernaderos	102
4.2 Productos industrializables: extractos, oleorresinas y aceites ...	105
4.2.1 Extractos de vainilla: base del aprovechamiento industrial	106
4.2.2 Oleorresinas y extractos concentrados: intensificación del valor	107
4.2.3 Aceites y el límite del concepto de “aceite esencial”	108
4.2.4 Control de calidad y verificación analítica.....	109
4.3 Retos y oportunidades	111

4.3.1 Retos estructurales y técnicos.....	112
4.3.2 Oportunidades para un desarrollo diferenciado.....	114
4.4 Aporte técnico–experimental: fundamentos para la adaptación del proceso de beneficiado.....	116
RECOMENDACIONES FINALES.....	119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales secciones infragenéricas del género <i>Vanilla</i> y su relevancia aromática	17
Tabla 2. Comparación morfológica entre <i>Vanilla odorata</i> y <i>Vanilla planifolia</i>	18
Tabla 3. Principales regiones de distribución del género <i>Vanilla</i>	25
Tabla 4. Diferencias entre vainilla natural y vainillina sintética	28
Tabla 5. Principales compuestos aromáticos asociados a la vainilla	35
Tabla 6. Criterios de selección del fruto verde y su relación con el potencial aromático.....	45
Tabla 7. Etapas del curado tradicional: objetivo, condiciones típicas y principal resultado esperado	51
Tabla 8. Defectos de curado asociados a desviaciones de parámetros críticos	62
Tabla 9. Principales compuestos aromáticos de la vainilla y su función sensorial	72
Tabla 10. Factores que afectan la calidad aromática de la vainilla y su nivel de influencia	84
Tabla 11. Métodos instrumentales aplicados al análisis aromático de la vainilla	90
Tabla 12. Eslabones de la cadena de valor de la vainilla en Ecuador y funciones clave	100
Tabla 13. Comparación técnica entre sistemas agroforestales e invernadero en la producción de vainilla.....	103
Tabla 14. Retos y oportunidades para la industrialización de la vainilla en Ecuador	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flor de Vanilla odorata en anthesis	20
Figura 2. Vainas de Vanilla odorata en desarrollo	22
Figura 3. Estructura química de la vainillina (4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído).....	38
Figura 4. Compartimentación de precursores y enzimas en la vaina verde (modelo conceptual).....	44
Figura 5. Flujo del curado tradicional: killing–sweating–drying–conditioning	48
Figura 6. Interacción de variables críticas del curado (temperatura–humedad–tiempo–estructura tisular).....	58
Figura 7. De curado artesanal a curado controlable: ejes de innovación	65
Figura 8. Formación del aroma durante las etapas del curado	75
Figura 9. Variabilidad aromática según método de curado y sistema de producción	77
Figura 10. Cadena de valor de la vainilla en Ecuador (enfoque funcional).....	97
Figura 11. Posicionamiento productivo de la vainilla ecuatoriana ..	105
Figura 13. Marco conceptual para la adaptación del proceso de beneficiado en el género Vanilla	119

CAPÍTULO I

1. CONTEXTO BOTÁNICO, TAXONÓMICO, HISTÓRICO Y ECONÓMICO

1.1 Género *Vanilla*: especies, distribución y taxonomía

El género *Vanilla* ocupa un lugar singular dentro de las Orchidaceae. Sus lianas carnosas, dependientes del soporte arbóreo y de asociaciones simbióticas con hongos micorrízicos, revelan una arquitectura biológica distinta a la de la mayoría de las orquídeas. Aunque las estimaciones históricas sobre su diversidad han oscilado entre unas 90 y 188 especies, como consecuencia de criterios taxonómicos variables y revisiones parciales (Sasikumar, 2010), los análisis contemporáneos han aportado mayor solidez a la delimitación del género.

En este marco, la reevaluación taxonómica del grupo neotropical realizada por Karremans et al. (2020) constituye un punto de inflexión al depurar sinonimias acumuladas durante más de un siglo y redefinir diagnósticos morfológicos con base en evidencia comparativa rigurosa. Estos autores retoman y ajustan propuestas infragenéricas previas, entre ellas la clasificación de Soto Arenas y Cribb (2010), quienes reconocieron a *Xanata* como un subgénero dentro de *Vanilla*. No obstante, estudios posteriores han privilegiado el uso operativo de secciones infragenéricas, enfoque que permite describir con mayor precisión las afinidades morfológicas y funcionales entre especies estrechamente relacionadas.

En este marco, la sección infragenérica *Xanata* —tal como se reconoce en revisiones recientes— concentra la mayor diversidad neotropical y agrupa a las especies aromáticas de mayor relevancia, caracterizadas por lianas robustas, hojas bien desarrolladas y frutos con alto potencial aromático (Chiron et al., 2021). Esta sección incluye el denominado *complejo Vanilla planifolia*, dentro del cual se inscriben varias de las especies históricamente asociadas a la producción de vainilla.

La distribución del género *Vanilla* confirma esta diversidad. América tropical constituye su principal centro de radiación, con linajes que se extienden desde México hasta la Amazonía occidental. En estos ambientes, la morfología vegetativa refleja un diálogo constante entre estructura y entorno: tallos que buscan soporte, raíces adventicias adaptadas a superficies húmedas y hojas cuyo tamaño y consistencia varían en función de la disponibilidad lumínica. Observaciones realizadas en poblaciones amazónicas muestran que variaciones sutiles en sombra, humedad o rugosidad del soporte generan cambios notorios en la expresión vegetativa, lo que contribuye a una marcada plasticidad morfológica.

Esta plasticidad se expresa también a escala intraespecífica. La variabilidad descrita por Heryanto et al. (2023) en *V. planifolia*, con diferencias significativas entre clones en vigor, tamaño foliar y rendimiento, ilustra un fenómeno más amplio presente en el género: *Vanilla* no solo es diversa entre especies, sino también dentro de cada una de ellas. Esta heterogeneidad tiene implicaciones directas tanto para la taxonomía aplicada como para el manejo agronómico del cultivo.

La historia del cultivo refuerza esta complejidad. Como señala Teoh (2019), la expansión de la vainilla fuera de Mesoamérica estuvo limitada durante siglos por la ausencia de polinizadores naturales. La introducción de la polinización manual en el siglo XIX transformó radicalmente su trayectoria, permitiendo el establecimiento de plantaciones en regiones tropicales alejadas de su centro de origen. Este proceso consolidó a *V. planifolia* como la base de la producción mundial y desvinculó su historia agrícola de la de numerosas especies silvestres que permanecieron al margen del circuito comercial. Esta bifurcación explica, en parte, por qué especies neotropicales como *V. odorata* han sido históricamente poco estudiadas, pese a su amplia distribución y potencial interés agroindustrial.

Los aspectos químicos aportan una dimensión adicional. *V. planifolia* destaca como la principal fuente de vainillina natural, ya que sus frutos almacenan glucovanillina, un precursor que se transforma en vainillina durante el proceso de curado mediante la acción de β -glucosidasas (Walton et al., 2003). El aroma final no depende de un solo compuesto, sino de la interacción de más de doscientas moléculas presentes en proporciones variables, lo que explica tanto la complejidad sensorial del producto como la concentración del valor comercial en un número reducido de especies.

En conjunto, la diversidad del género *Vanilla* no puede entenderse como un simple listado de nombres, sino como una estructura dinámica en la que convergen historia evolutiva, plasticidad morfológica, variación intraespecífica y procesos de domesticación divergentes. Comprender esta estructura resulta esencial para valorar el potencial

agroindustrial de las especies amazónicas. En este panorama, *V. odorata* emerge como un ejemplo representativo de los retos y oportunidades que plantea la taxonomía aplicada: una especie ampliamente distribuida, morfológicamente bien delimitada y con un potencial aromático aún poco explorado, cuya correcta identificación constituye el punto de partida para el desarrollo de futuras cadenas de valor.

Tabla 1. Principales secciones infragenéricas del género *Vanilla* y su relevancia aromática

Sección infra genérica	Distribución general	Características botánicas clave	Relevancia aromática/productiva
Vainilla (sección nominal)	Paleo trópico (Africa, Asia, Pacifico)	Lianas robustas, flores grandes, frutos carnosos: menor diversidad aromáticas	Incluye <i>V. planifolia</i> , especie principal comercial
Xanata	Neotrópico (Mesoamérica y Amazonia)	Flores con labelo diferenciado, alta variabilidad morfológica, especies aromáticas	Alta diversidad aromática y alto potencial productivo

Nota: Síntesis de la clasificación infragenérica del género *Vanilla*, basada en revisiones taxonómicas modernas, que permite relacionar la distribución geográfica con la diversidad morfológica y la relevancia aromática de las principales secciones del género.

1.2 *Vanilla odorata*: biología, morfología y distribución

Vanilla odorata es una de las especies neotropicales con distribución más amplia dentro del género y, a la vez, una de las que más tiempo permaneció en un estado de confusión taxonómica. Durante décadas, su delimitación se vio empañada por la acumulación de sinonimias, diagnósticos imprecisos y materiales de herbario incompletos. La revisión exhaustiva de Karremans et al. (2020) esclareció este panorama al designar un lectotipo confiable y describir con precisión los rasgos morfológicos que definen la especie, lo que permite distinguirla con claridad de *V. planifolia* y de otras vainillas aromáticas presentes en la región.

Tabla 2. Comparación morfológica entre *Vanilla odorata* y *Vanilla planifolia*

Característica	<i>Vanilla planifolia</i>	<i>Vanilla odorata</i>
Grado de domesticación	Alto	Bajo a nulo
distribución	Cultivada ampliamente	Principalmente silvestre/seminatural
Tamaño de vaina	Largo y uniforme	Variable
Aroma en vaina verde	Prácticamente ausente	Prácticamente ausente
Uso histórico	Comercial intensivo	Uso local/subutilizada
Potencial organoléptico	Bien caracterizado	Diferenciado, aun poco caracterizado

Nota: Comparación descriptiva de rasgos morfológicos y productivos entre *Vanilla odorata* y *Vanilla planifolia*, orientada a evidenciar diferencias generales que sustentan la necesidad de enfoques diferenciados en manejo y beneficiado.

1.2.1 Biología general y hábito de crecimiento

V. odorata desarrolla un hábito hemiepífito caracterizado por tallos cilíndricos, carnosos y relativamente delgados, con diámetros cercanos a los 6 mm y entrenudos de 6 a 12 cm (Karremans et al., 2020). Su arquitectura vegetativa coincide con el patrón general del género: la planta avanza mediante raíces adventicias opuestas a cada hoja, capaces de fijarse a troncos, ramas y soportes arbóreos de distinta naturaleza. La Guía elaborada por Fundación Pachamama y GIZ complementa esta descripción al documentar que, en condiciones amazónicas, las plantas identificadas como *V. odorata* pueden alcanzar alrededor de 5 m de longitud, con tallos flexibles de 0.5–1 cm de diámetro y hojas lanceoladas suculentas cercanas a los 12 × 2 cm.

En ambientes amazónicos, esta variedad nativa muestra una respuesta muy marcada a las variaciones de luz y humedad. Los sotobosques húmedos, con sombra filtrada y estabilidad atmosférica, propician un crecimiento continuo y vigoroso; mientras que la exposición prolongada al sol o las aperturas bruscas del dosel incrementan la susceptibilidad de los brotes jóvenes a la deshidratación y retrasan la elongación de los tallos. Las zonas de borde —quebradas, márgenes de bosque y áreas de drenaje natural— ofrecen condiciones especialmente favorables: sombra parcial, humedad ascendente del suelo y disponibilidad constante de soportes verticales. En paisajes asociados a aguajales dominados por *Mauritia flexuosa*, la especie tiende a sostener un desarrollo particularmente estable, reflejo de su afinidad por ambientes de alta humedad y drenaje moderado. Estos patrones, repetidos a lo largo de distintos contextos amazónicos, evidencian la

sensibilidad microambiental de la especie y ayudan a explicar la variabilidad que puede presentar incluso dentro de un mismo territorio.

1.2.2 Morfología floral y caracteres diagnósticos

La floración constituye el rasgo más distintivo de *V. odorata*. Karremans et al. (2020) describen inflorescencias axilares con flores sucesivas, cuyos tépalos varían de verde pálido a amarillento. El labelo, tubular y de color blanco-amarillento, muestra un margen lacerado o fimbriado que define visualmente a la especie. En su interior, un callo penicilado formado por escamas flabeladas se ubica en el tercio medio del tubo y se prolonga hacia el ápice con una textura papilosa. Esta combinación de caracteres —margen profundamente lacerado y callo bajo con terminación papilosa— permite distinguir a *V. odorata* de *V. planifolia*, cuyo labelo suele ser ondulado o crenado.



Figura 1. Flor de *Vanilla odorata* en antesis

Nota: Imagen fotográfica que muestra la flor de *Vanilla odorata* en estado de antesis, permitiendo observar la disposición de sépalos,

pétalos y el labelo característico de las Orchidaceae; se presenta con fines descriptivos y didácticos.

En condiciones amazónicas, los racimos suelen portar entre 10 y 12 flores, pero su apertura es progresiva: apenas una a tres flores se abre cada día y permanecen receptivas por un lapso muy breve. Este comportamiento confirma el carácter secuencial y efímero de la floración, altamente sensible a cambios de temperatura, lluvias inesperadas y variaciones en la humedad ambiental (Fundación Pachamama & GIZ, 2021).

1.2.3 Fruto y características reproductivas

La información detallada sobre los frutos de *V. odorata* procede principalmente de observaciones amazónicas. Fundación Pachamama y GIZ (2021) documenta frutos subcilíndricos de hasta 23 cm de longitud y aproximadamente 1–1.4 cm de diámetro, con morfología similar a la de otras especies del género, pero con menor espesor que los de vainillas de mayor porte. Como en todas las *Vanilla*, el fruto corresponde a una cápsula loculicida que alberga numerosas semillas diminutas suspendidas en un tejido gelatinoso.



Figura 2. Vainas de *Vanilla odorata* en desarrollo

Nota: Imagen fotográfica que muestra vainas de *Vanilla odorata* en etapa de desarrollo fisiológico sobre la liana, evidenciando su disposición, forma alargada y hábito de crecimiento trepador; se presenta con fines descriptivos y de contextualización productiva.

El mismo documento registra la presencia de distintos visitantes florales —abejas sin aguijón, colibríes, hormigas y murciélagos— que interactúan con las flores en plantaciones amazónicas. Aunque no se ha determinado su efectividad específica en la polinización de *V. odorata*, la diversidad de visitantes coincide con el comportamiento reportado para otras vainillas neotropicales y sugiere que la flora asociada y el estado de conservación del bosque influyen directamente en el éxito reproductivo de la especie.

Estudios recientes han ampliado la comprensión del papel reproductivo del fruto más allá de la polinización. Karremans et al. (2023) demostraron que, en especies neotropicales aromáticas del género

Vanilla, incluidos *V. odorata* y *V. planifolia*, los frutos maduros participan activamente en procesos de dispersión zocórica multimodal. En frutos dehiscentes, la liberación de semillas se ve facilitada por abejas atraídas por compuestos aromáticos, mientras que frutos indehiscentes pueden ser consumidos por mamíferos, permitiendo la dispersión de semillas viables. Estos mecanismos refuerzan la importancia ecológica del fruto en la dinámica reproductiva y explican, en parte, la amplia distribución geográfica de varias especies del género.

1.2.4 Distribución geográfica

Según la delimitación establecida por Karremans et al. (2020), *V. odorata* presenta un rango continuo que se extiende desde el sur de México hasta el oeste de Brasil, con registros confirmados en Guatemala, Belice, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. En Ecuador, Fundación Pachamama y GIZ (2021), documenta su presencia en provincias como Napo y Morona Santiago, particularmente en zonas de bosque húmedo entre 500 y 1100 metros de altitud y en riberas vinculadas a los sistemas del río Napo, el río Jatun Yaku y el río Upano.

1.2.5 Relevancia taxonómica y agroindustrial

Contar con una delimitación taxonómica precisa de *V. odorata* es fundamental para investigación, conservación y desarrollo agroindustrial. La confusión histórica con otras especies ha dificultado la caracterización de su potencial aromático y ha generado errores en herbarios, colecciones vivas y plantaciones experimentales. Los

diagnósticos florales detallados de Karremans et al. (2020) permiten evitar estos equívocos y proporcionan una base confiable para cualquier iniciativa de manejo o mejoramiento.

El hecho de que *V. odorata* produzca frutos aromáticos y se adapte bien a ambientes amazónicos abre perspectivas para su aprovechamiento como recurso agroindustrial emergente. Sin embargo, su potencial químico y productivo continúa poco explorado, por lo que es indispensable asegurar que cualquier estudio o desarrollo se realice sobre material correctamente identificado. La combinación de criterios morfológicos sólidos y conocimiento ecológico local constituye así un punto de partida esencial para definir el verdadero papel de *V. odorata* dentro del complejo aromático de *Vanilla*.

1.3 Historia, domesticación y evolución del uso de la vainilla

La historia de la vainilla ilustra cómo una planta silvestre del Neotrópico llegó a convertirse en una especia de alcance global. Aunque *Vanilla planifolia* ha sido la protagonista indiscutible de este proceso, su trayectoria permite situar en perspectiva a otras especies aromáticas pertenecientes a la sección infragenérica *Xanata*, entre ellas *V. pompona* y *V. odorata*, cuyas posibilidades agroindustriales han permanecido al margen de la historia comercial dominante. Las dinámicas que definieron el cultivo, la transformación postcosecha y la circulación internacional de la vainilla natural sentaron también las bases para la exploración contemporánea de especies amazónicas, tradicionalmente excluidas de los circuitos productivos y de investigación.

Tabla 3. Principales regiones de distribución del género *Vanilla*

Región	Condiciones ecológicas predominantes	Relevancia para el género
Mesoamérica	Bosques húmedos tropicales	Centro histórico de domesticación
Amazonía	Alta biodiversidad	Alta diversidad de especies silvestres
África Oriental	Sistemas cultivados	Producción comercial intensiva
Asia tropical	Introducción y expansión	Producción secundaria

Nota: Síntesis de las principales regiones de distribución del género *Vanilla*, que contextualiza la presencia de especies silvestres y cultivadas y resalta la importancia de la Amazonía como reservorio de diversidad.

1.3.1 Orígenes mesoamericanos del cultivo

Según Teoh (2019), los pueblos totonacas de la costa de Veracruz fueron quienes desarrollaron los primeros sistemas de manejo y aprovechamiento de la vainilla. Para ellos, la planta no constituía únicamente un aromatizante, sino un elemento profundamente integrado en prácticas rituales, medicinales y económicas. El manejo consistía en recolección selectiva y conducción mínima de las lianas en entornos forestales, un sistema que facilitó la transición hacia formas más estructuradas de cultivo tras la conquista española.

La introducción de la vainilla a Europa en el siglo XVI despertó interés inmediato, pero su cultivo fuera de Mesoamérica enfrentó un obstáculo biológico decisivo: la ausencia de los polinizadores naturales que

permitían la fecundación de las flores de *V. planifolia*. La consecuencia era sencilla y contundente: sin polinización efectiva, la planta no producía frutos de manera consistente en regiones ajenas a su ambiente original (Teoh, 2019).

1.3.2 La innovación que transformó el cultivo: la polinización manual

El momento decisivo llegó entre 1836 y 1841, cuando Edmond Albius desarrolló un método de polinización manual en la isla de Reunión. Esta técnica, que consiste en desplazar el rostelum y depositar manualmente el polen en el estigma, permitió por primera vez reproducir la fecundación natural fuera de Mesoamérica. Con ello, el cultivo de vainilla se volvió viable en diversas regiones tropicales. Como describe Teoh (2019), esta innovación impulsó la expansión acelerada de *V. planifolia* en el siglo XIX y sentó las bases para el establecimiento de centros productores en Madagascar, Reunión, Comoras e Indonesia.

La adopción masiva de la polinización manual no solo abrió posibilidades agrícolas antes impensables, sino que también consolidó el predominio comercial de *V. planifolia*. Otras especies neotropicales quedaron sin exploración sistemática, de modo que su historia agrícola nunca se desarrolló al ritmo de la demanda internacional.

1.3.3 Evolución del uso y consolidación del valor aromático

El atractivo de la vainilla se consolidó durante los siglos XIX y XX en industrias como la confitería, heladería, panadería, perfumería y bebidas, sectores en los que la especia se integró como símbolo de

calidad sensorial. Vijayalakshmi et al. (2019) describen su uso extendido en alimentos, fragancias y formulaciones farmacéuticas, reconociendo que su valor está asociado tanto a la complejidad de su aroma como a sus aplicaciones culinarias e industriales.

En paralelo, Ahmad et al. (2020) señalan que la vainilla mantuvo funciones medicinales tradicionales vinculadas al alivio digestivo, la relajación y la aromatización de preparados locales, evidenciando la amplitud cultural y funcional de la especia antes de su expansión industrializada.

El componente químico clave de este valor aromático es la glucovanillina, presente en los frutos verdes de *V. planifolia*, la cual se transforma en vainillina durante el curado mediante la acción de β -glucosidasas (Walton et al., 2003). Este proceso libera un conjunto amplio de compuestos que estructuran el perfume característico de la vainilla, fundamento de su apreciación sensorial y comercial.

1.3.4 La transición hacia la vainillina sintética

El siglo XX marcó un cambio estructural en la cadena de valor. La demanda global creció con mayor rapidez que la oferta agrícola, lo que impulsó el desarrollo de alternativas sintéticas. Vijayalakshmi et al. (2019) explican que la industria comenzó a producir vainillina a partir de lignina, guayacol y eugenol, generando un insumo químicamente equivalente al componente dominante del aroma natural. Aunque la vainillina sintética permitió abastecer mercados masivos, la vainilla natural mantuvo un lugar privilegiado debido a su complejidad aromática, derivada de más de doscientas moléculas volátiles. Como

señala Walton et al. (2003), esta diferencia llevó a que menos del 1 % de la vainillina comercializada globalmente provenga de frutos naturales, reservada para segmentos especializados.

Tabla 4. Diferencias entre vainilla natural y vainillina sintética

Aspecto	Vainilla natural	Vainilla sintética
Origen	Biológico	Químico/biotecnológico
Complejidad aromática	Alta	Baja
Precio	Alto	Bajo
Valor sensorial	Diferenciado	Estándar

Nota: Comparación conceptual entre vainilla natural y vainillina sintética, orientada a destacar diferencias en complejidad aromática, origen y valor sensorial, relevantes para la evaluación de calidad y posicionamiento de mercado.

1.3.5 Trayectorias divergentes de las especies aromáticas

Mientras *V. planifolia* avanzaba hacia la globalización agrícola, otras vainillas aromáticas permanecieron en contextos locales y silvestres. *V. odorata*, ampliamente distribuida desde México hasta Brasil, pero poco estudiada durante más de un siglo, no formó parte de los sistemas agrícolas que acompañaron la expansión comercial de la vainilla. Su identificación clara y su estatus taxonómico preciso solo quedaron establecidos con la revisión de Karremans et al. (2020), lo que explica su ausencia en la historiografía tradicional del cultivo.

En los paisajes amazónicos, *V. odorata* se encuentra con mayor frecuencia en zonas remotas, quebradas húmedas y linderos de bosque donde la intervención humana ha sido baja. Este patrón sugiere que su

historia no estuvo marcada por procesos de domesticación, sino por una permanencia silvestre en territorios donde nunca se articularon rutas comerciales comparables a las del área mesoamericana. Su potencial aromático, por tanto, no fue ignorado por falta de calidad, sino por la estructura geográfica e histórica que concentró el desarrollo agrícola en las especies más accesibles a los sistemas coloniales y postcoloniales.

1.3.6 Perspectivas contemporáneas

En el contexto actual, caracterizado por una creciente valorización de productos naturales, diferenciados y de origen territorial, la exploración de especies como *V. odorata* adquiere un sentido estratégico. Su distribución amazónica, su adaptación ecológica y su permanencia histórica al margen de la agricultura comercial plantean oportunidades para diversificar la matriz productiva regional y ampliar el horizonte aromático del género *Vanilla*. Comprender su historia, así como las trayectorias divergentes de las especies afines, permite proyectar nuevas rutas de investigación, conservación y aprovechamiento agroindustrial.

1.4 Importancia económica y agroindustrial

La vainilla ocupa un lugar singular entre los cultivos tropicales debido a su alto valor aromático, la intensa demanda de trabajo manual y la complejidad del proceso de curado, etapa en la que se define su identidad sensorial. Aunque *V. planifolia* ha sido la base histórica de la industria global, el interés creciente por productos naturales premium abre un espacio para considerar el potencial agroindustrial de otras

especies neotropicales, entre ellas *V. odorata*, ampliamente distribuida en la Amazonía ecuatoriana y con características que la convierten en un recurso aún subexplorado.

1.4.1 La vainilla en el mercado global

La producción mundial de vainilla natural es limitada, pero su valor comercial continúa siendo elevado. Madagascar, Indonesia y Papúa Nueva Guinea concentran la mayor parte del suministro internacional de *V. planifolia*, mientras que México —cuna del cultivo— mantiene una producción menor pero apreciada por su calidad (Ahmad et al., 2020). La industria opera bajo una marcada volatilidad: variaciones climáticas, fallas en la polinización o crisis logísticas pueden impactar directamente la disponibilidad de vainas curadas, generando fluctuaciones considerables en los precios y afectando la estabilidad de los productores.

Frente a este mercado restringido, la vainillina sintética domina más del 99 % del comercio mundial de compuestos saborizantes. Su bajo costo, disponibilidad constante y estabilidad química explican su predominio en la fabricación de alimentos procesados y productos cosméticos. Según Walton et al. (2003), menos del 1 % de la vainillina utilizada proviene de frutos naturales. No obstante, esta hegemonía ha fortalecido el valor simbólico y económico de la vainilla natural, que se posiciona como un ingrediente de alta diferenciación asociado a trazabilidad, origen geográfico y complejidad aromática.

1.4.2 Valor económico de la diversidad aromática

La composición química de la vainilla es un elemento decisivo para su valoración en el mercado. Se han identificado más de 400 compuestos en vainas curadas, responsables de la complejidad sensorial que distingue a la vainilla natural de sus equivalentes sintéticos (Brunschwig et al., 2009). Aunque la vainillina es el componente dominante, la interacción entre múltiples moléculas volátiles y no volátiles define el carácter final del aroma.

Los trabajos comparativos muestran diferencias claras entre especies. *V. planifolia* presenta mayores concentraciones de vainillina, mientras que *V. tahitensis* se caracteriza por proporciones más altas de compuestos anisados y notas sensoriales afrutadas y aceitosas (Brunschwig et al., 2009). Estas variaciones, influenciadas por la genética, el origen y el método de curado, generan identidades aromáticas distintivas que se traducen en nichos específicos dentro de la perfumería natural, la gastronomía de autor y la elaboración de productos gourmet (Brunschwig et al., 2016).

Aunque *V. odorata* aún no cuenta con estudios químicos detallados mediante GC-MS (Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas), experiencias nuevas en la Amazonía ecuatoriana ofrecen indicios relevantes. En sistemas de cultivo bajo invernadero, la especie ha mostrado una fructificación constante y un comportamiento agronómico estable. Durante el curado, el uso de incubadoras con control ambiental permitió obtener vainas que, según análisis por HPLC (Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia), alcanzaron

concentraciones de vainillina superiores a los valores de referencia establecidos para *V. planifolia*. Si bien estos resultados no permiten establecer conclusiones generalizables, sí evidencian que *V. odorata* posee un potencial aromático significativo cuando se maneja bajo condiciones técnicas adecuadas, abriendo perspectivas concretas para su desarrollo agroindustrial.

1.4.3 Relevancia para economías amazónicas

En la Amazonía occidental —incluyendo zonas de Perú, Ecuador y Colombia— *V. odorata* aparece como un recurso forestal no maderable con alto potencial para diversificación productiva. Su presencia en bosques húmedos y en áreas de transición con bajos niveles de intervención humana permite diseñar estrategias de aprovechamiento que favorezcan la conservación del paisaje y generen ingresos complementarios. La incorporación de vainilla amazónica en sistemas agroforestales establecidos, como cacao o café, puede aumentar la resiliencia económica de fincas familiares y reforzar iniciativas de identidad territorial asociadas a productos diferenciados.

La articulación comunitaria es un elemento clave para la construcción de cadenas de valor. Barrera-Rodríguez et al. (2016) muestran que, en el caso de *V. planifolia*, la asociatividad mejora la rentabilidad, reduce la intermediación y fortalece las capacidades organizativas necesarias para acceder a mercados especializados. Aunque su estudio se centra en México, los principios subyacentes —cooperación, calidad estandarizada, vinculación institucional— resultan aplicables al contexto amazónico. Estas experiencias sugieren que la organización

local podría acelerar la transición de *V. odorata* desde un recurso silvestre subutilizado hacia un producto artesanal con identidad regional.

1.4.5 Limitaciones actuales

Pese a su potencial, el desarrollo agroindustrial de *V. odorata* presenta desafíos importantes. La información agronómica es limitada: no existen estudios de densidad de siembra, requerimientos nutricionales ni modelos de sombra óptimos. Tampoco se dispone de caracterizaciones químicas completas que permitan situar la especie dentro del espectro aromático del género *Vanilla*. Además, los sistemas de curado tradicionales no han sido ajustados a sus particularidades morfológicas ni fisiológicas. A ello se suma el bajo volumen de producción basado en recolección silvestre y el riesgo de sobreextracción en ausencia de prácticas de manejo sostenibles.

Estas limitaciones no reducen su valor potencial; por el contrario, evidencian la necesidad de establecer bases científicas y técnicas que permitan avanzar hacia su domesticación y uso responsable.

1.4.6 Oportunidades emergentes

La demanda mundial por productos naturales de alta diferenciación ha impulsado el interés por ingredientes con origen territorial claro y perfiles aromáticos únicos. En este contexto, *V. odorata* posee características que pueden posicionarla como una vainilla amazónica premium: una distribución amplia, una adaptación ecológica notable y

un aroma que, incluso antes del curado, revela intensidad y singularidad.

La combinación de sistemas agroforestales, tecnologías de curado controlado y modelos organizativos comunitarios abre rutas para transformar la especie en un recurso competitivo dentro de mercados especializados. La convergencia entre identidad biológica, territorio y diferenciación sensorial convierte a *V. odorata* en un elemento estratégico para la diversificación económica de la Amazonía y un candidato sólido para nuevas cadenas de valor basadas en productos amazónicos de alta calidad.

1.5 Química fundamental de la vainilla (vainillina, precursores, enzimas)

La química de la vainilla constituye el eje central de su valor agroindustrial. El aroma característico no está presente en el fruto verde, sino que emerge de una secuencia compleja de reacciones enzimáticas y fisicoquímicas que se activan durante el curado. Estas transformaciones son especialmente relevantes al trabajar con especies aún no estudiadas a profundidad, como *Vanilla odorata*, cuya potencialidad aromática debe evaluarse a partir de la comprensión de los precursores y mecanismos que gobiernan la formación de vainillina y compuestos asociados.

Tabla 5. Principales compuestos aromáticos asociados a la vainilla

Compuesto	Naturaleza química	Rol aromático
Vainillina	Aldehído fenólico	Nota dulce dominante
Ácido vainílico	Ácido fenólico	Profundidad aromática
P-hidroxibenzaldehído	Aldehído aromático	Complejidad sensorial
Alcohol anisílico	Alcohol aromático	Notas florales
Guayacol	Fenol	Notas ahumadas

Nota: Síntesis de los compuestos aromáticos más relevantes reportados en la literatura científica, que permite comprender la complejidad química del aroma de la vainilla y su implicación en la calidad sensorial.

1.5.1 La glucovanillina: precursor esencial del aroma

En las especies aromáticas de *Vanilla*, el compuesto mayoritario del fruto inmaduro es la glucovanillina, un glucósido fenólico inodoro que representa la reserva química primaria del aroma. En *V. planifolia*, su concentración oscila entre el 1 y 2 % del peso seco del fruto verde (Ahmad et al., 2020). En *V. tahitensis*, la glucovanillina coexiste con proporciones superiores de anisatos y otros derivados fenólicos, lo que contribuye a su perfil aromático singular (Brunschwig et al., 2009).

Aunque no existen análisis químicos publicados específicamente para *Vanilla odorata*, la fragancia perceptible en frutos frescos y su ubicación dentro de la sección infragenérica *Xanata* —que agrupa a las especies aromáticas de mayor interés comercial— sugieren la presencia de reservas fenólicas apreciables. Su caracterización futura permitirá determinar si su perfil químico se aproxima al de *V. planifolia*, al de *V. tahitensis*, o si corresponde a un espectro aromático propio.

La función biológica de la glucovanillina es doble. Por un lado, actúa como defensa química contra herbívoros en el fruto inmaduro; por otro, se convierte en el sustrato esencial para la formación de vainillina durante el curado, cuando su enlace glucosídico es hidrolizado por la acción de la β -glucosidasa (Walton et al., 2003). Esta transición marca el inicio del aroma característico.

1.5.2 Enzimas determinantes en la liberación del aroma

La conversión de glucovanillina en vainillina depende de un conjunto de enzimas que permanecen inactivas o en baja expresión en la vaina verde, y que se activan cuando ocurre ruptura celular por calor o deshidratación:

- β -glucosidasa, responsable de liberar vainillina libre a partir de glucovanillina;
- oxidoreductasas, que modulan la conversión y estabilización de aldehídos aromáticos;
- peroxidasas y fenoloxidasas, asociadas a la formación de pigmentos oscuros durante el curado (Walton et al., 2003).

El proceso de *killing* o en español denominado “matado de la vaina” — la primera etapa del curado— produce esta ruptura celular inicial. Estudios recientes confirman que la ruptura acelerada mediante tecnologías emergentes puede aumentar el contacto entre enzimas y sustratos: la sonicación rompe membranas y paredes celulares, incrementando la disponibilidad de compuestos fenólicos y facilitando la acción enzimática (Antonio-Gutiérrez et al., 2023). Sin embargo, los autores advierten que una exposición excesiva provoca oxidación y

formación de radicales libres, lo que reduce el rendimiento de vainillina.

1.5.3 Vainillina y compuestos asociados

La vainillina (4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído) es el compuesto dominante del aroma natural. En frutos completamente curados de *V. planifolia*, su concentración puede superar el 2 % del peso seco (Ahmad et al., 2020). Sin embargo, la percepción aromática típica de la vainilla natural proviene de una mezcla compleja en la que intervienen más de 400 compuestos, incluyendo:

- p-hidroxibenzaldehído
- p-hidroxibenzoato de metilo
- p-hidroxibenzil alcohol
- ácido vanílico
- anisatos (característicos de *V. tahitensis*)
- lactonas, furanonas
- compuestos de cadena larga, previamente reportados en perfiles lipídicos de especies pertenecientes a la sección infragenérica *Xanata* (Brunschwig et al., 2009)

La interacción de todos estos compuestos explica por qué la vainillina sintética —aunque químicamente idéntica a la molécula principal— no reproduce la complejidad aromática de la vainilla natural.

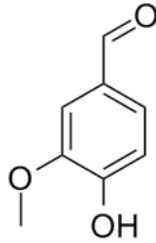


Figura 3. Estructura química de la vainillina (4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído)

Nota: Representación esquemática de la molécula de vainillina, principal compuesto aromático de la vainilla natural, caracterizada por un anillo bencénico sustituido con grupos hidroxilo ($-\text{OH}$), metoxi ($-\text{OCH}_3$) y aldehído ($-\text{CHO}$).

1.5.4 Transformaciones clave durante el curado

El curado inicia con la ruptura celular y continúa con una serie de reacciones en las que intervienen enzimas, temperatura, humedad y oxidación:

1. Hidrólisis enzimática de glucovanillina \rightarrow vainillina (β -glucosidasa).
2. Oxidación parcial de aldehídos aromáticos (oxidoreductasas).
3. Condensación de derivados fenólicos.
4. Reacciones entre azúcares y lípidos que aportan notas balsámicas.
5. Polimerización fenólica que oscurece las vainas (Walton et al., 2003).

Tecnologías recientes han demostrado capacidad para modular estas rutas. El uso de microondas y ultrasonido durante la etapa de killing acelera la ruptura celular y puede incrementar significativamente la concentración de vainillina. En experimentos controlados, tratamientos

combinados alcanzaron hasta 3.12–3.13 % de vainillina, valores considerablemente superiores al control (1.26 %) (Antonio-Gutiérrez et al., 2023). No obstante, la sonicación excesiva reduce la eficiencia enzimática debido a la formación de radicales libres, lo que exige precisión al aplicar estas técnicas.

1.5.5 Dinámica del secado y control térmico

La etapa de secado define la estabilidad del aroma y la calidad final del producto. El secado de la vainilla es, por naturaleza, lento. Cuando se acelera en exceso, la piel externa se endurece mientras el interior conserva niveles elevados de humedad, lo que compromete el curado (Warji et al., 2023).

Estudios instrumentales muestran comportamientos térmicos específicos:

- Secado solar: temperaturas de hasta 65 °C, con promedio de 43.2 °C.
- Secado eléctrico: temperaturas máximas de 44 °C, promedio de 35.35 °C.
- Secado híbrido: máximo de 65 °C, promedio de 41.29 °C.

Estas condiciones permiten reducir la humedad del fruto desde valores cercanos al 90 % hasta alrededor del 30 %, completando la etapa de secado en 13–17 días, dependiendo del método (Warji et al., 2023). El control térmico continuo —como ocurre en equipos híbridos o sistemas de incubación controlada— favorece la liberación progresiva de

compuestos aromáticos, evitando picos de degradación térmica y manteniendo la integridad del fruto.

En ensayos realizados con *V. odorata* cultivada en invernadero en la Amazonía ecuatoriana, la aplicación de incubación controlada (45-50 °C por 30 min.) durante el curado permitió obtener vainas que, según análisis por HPLC, mostraron concentraciones de vainillina superiores a los valores de referencia establecidos para *V. planifolia*. Este comportamiento sugiere que condiciones térmicas estables potencian la expresión aromática, incluso en especies cuya química aún no ha sido completamente caracterizada.

1.5.6 Variabilidad química entre especies del género Vanilla

Los estudios instrumentales de variabilidad química demuestran diferencias claras entre especies aromáticas del género. *V. planifolia* presenta los perfiles clásicos dominados por vainillina; *V. tahitensis* exhibe mayores proporciones de anisatos y compuestos afrutados; y especies pertenecientes a la sección infragenérica *Xanata*, como *V. pompona*, contienen moléculas de cadena larga que aportan notas grasas o balsámicas (Brunschwig et al., 2009).

La ausencia de datos analíticos formales para *V. odorata* representa una oportunidad de investigación. Dada su amplia distribución amazónica y la intensidad aromática perceptible desde el fruto fresco, su caracterización química podría revelar un perfil distintivo de alto valor para aplicaciones gourmet y perfumería natural.

1.5.7 Implicaciones para el aprovechamiento agroindustrial

Comprender la química fundamental de la vainilla no es un ejercicio académico accesorio: es la base sobre la cual se diseñan procesos de curado más eficientes, sistemas de secado optimizados y estrategias de diferenciación para especies emergentes. La interacción entre precursores, enzimas, ruptura celular y control térmico define la transformación del fruto verde—inodoro y químicamente estable—en un producto aromático complejo y altamente valorado.

En este contexto, *V. odorata* se proyecta como una especie con potencial significativo para la Amazonía. Su fragancia natural, la evidencia preliminar obtenida bajo sistemas controlados de incubación y la posibilidad de integrar tecnologías híbridas y de sonicación en procesos de curado abren un campo de innovación que puede consolidar nuevas cadenas de valor basadas en productos amazónicos de alta especialidad.

CAPÍTULO II

2. POSTCOSECHA Y BENEFICIADO

2.1 Selección del fruto

La selección adecuada del fruto constituye el punto de partida del beneficiado de la vainilla y condiciona de manera decisiva el potencial aromático que podrá expresarse durante el curado. Tal como se expuso en el capítulo anterior, el aroma característico de la vainilla no se encuentra libre en el fruto verde, sino almacenado principalmente en forma de precursores fenólicos, cuya transformación depende de la actividad enzimática y de las condiciones del proceso postcosecha. En consecuencia, la calidad final no se define únicamente en el curado, sino que se construye desde el campo, a partir del grado de madurez fisiológica alcanzado por el fruto y de la acumulación efectiva de glucovanillina.

La evidencia experimental demuestra que la calidad de la vainilla beneficiada depende principalmente del contenido inicial de glucovanillina presente en el fruto verde. Dignum et al. (2002) establecieron que el potencial aromático final está determinado, en gran medida, por la cantidad de este precursor disponible al inicio del curado, dado que la actividad de la β -glucosidasa —enzima responsable de la liberación de vainillina— disminuye rápidamente durante las primeras etapas del proceso. Por tanto, ningún método de curado, por eficiente que sea, puede compensar un bajo contenido inicial de glucovanillina derivado de una cosecha prematura.

Desde el punto de vista agronómico, el fruto alcanza su madurez fisiológica cuando completa el llenado de reservas y maximiza la acumulación de glucovanillina. Dignum et al. (2001) señalan que el amarillamiento progresivo del extremo apical de la vaina constituye un indicador práctico de este estado avanzado de madurez y ha sido adoptado históricamente como señal de cosecha. No obstante, este criterio visual, aunque útil, no siempre refleja con precisión la calidad interna del fruto, especialmente cuando las condiciones ambientales durante el desarrollo no han sido homogéneas.

En este contexto, el contenido de materia seca del fruto verde emerge como un indicador más robusto y objetivo del potencial aromático. Sánchez-Galindo et al. (2018) demostraron que los frutos con mayor materia seca generan vainilla beneficiada con concentraciones superiores de vainillina y mejor perfil aromático. En su estudio se observó una correlación positiva altamente significativa entre la materia seca del fruto verde y la concentración final de vainillina ($r = 0.773$; $p < 0.0001$), lo que confirma que la acumulación de reservas durante el desarrollo del fruto es un factor determinante de la calidad sensorial.

El mismo trabajo evidenció que frutos cosechados bajo condiciones climáticas menos favorables —particularmente temperaturas más bajas durante el periodo de llenado— presentaron menor acumulación de materia seca y azúcares, aun cuando externamente alcanzaran tamaños similares. Este resultado refuerza la necesidad de integrar criterios fisiológicos y ambientales en la selección del fruto, más allá de la edad cronológica o de la apariencia externa.

Desde una perspectiva bioquímica, la selección del fruto maduro adquiere mayor relevancia si se considera la distribución interna de los precursores y de las enzimas. Dignum et al. (2002) demostraron que entre el 60 y el 80 % de la glucovanillina del fruto verde se localiza en el tejido carnoso, mientras que la actividad de la β -glucosidasa se encuentra principalmente en capas más externas. Esta separación física implica que frutos bien desarrollados, con tejidos carnosos íntegros y adecuados gradientes de difusión, ofrecen mejores condiciones para que el contacto enzima-sustrato ocurra durante el curado. Frutos delgados, mal llenos o fisiológicamente inmaduros presentan, por el contrario, limitaciones estructurales que reducen la eficiencia de la transformación aromática.

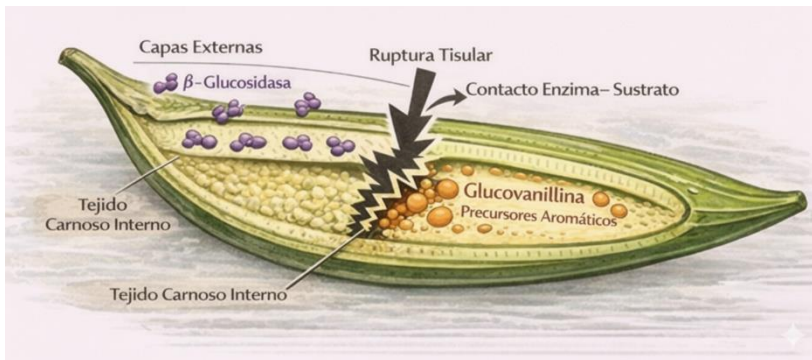


Figura 4. Compartimentación de precursores y enzimas en la vaina verde (modelo conceptual)

Nota: Esquema conceptual de la separación anatómica entre precursores aromáticos y actividad enzimática en la vaina verde; elaborado a partir de Dignum et al. (2002).

La variabilidad genética añade un nivel adicional de complejidad a la selección. Pérez-Silva et al. (2021) demostraron que existe una marcada variabilidad en el potencial aromático no solo entre especies del género

Vanilla, sino también entre accesiones e híbridos relacionados de cerca y de lejos con *V. planifolia*. Sus resultados muestran diferencias significativas en la concentración de vainillina y compuestos asociados, incluso en frutos cosechados en estados de madurez comparables. Esto indica que la selección del fruto debe entenderse como parte de un proceso más amplio que incluye la elección del material vegetal y de las plantas madre con perfiles químicos favorables.

Por otro lado, la evaluación de la calidad del fruto no puede basarse exclusivamente en parámetros fisicoquímicos finales. Luna-Guevara et al. (2016), al analizar vainas beneficiadas de *V. planifolia*, encontraron que variables como humedad, pH y actividad de agua no muestran una relación consistente con el perfil sensorial. Sus resultados evidencian que estos parámetros, aunque relevantes para la estabilidad y conservación del producto, no son predictores confiables de la calidad aromática. Este hallazgo refuerza la idea de que la selección debe centrarse en criterios fisiológicos y bioquímicos del fruto verde, más que en atributos físicos medidos después del curado.

Tabla 6. Criterios de selección del fruto verde y su relación con el potencial aromático

Criterio	Indicador práctico	Fundamento fisiológico/químico	Implicación para calidad
Madurez fisiológico	Amarillamiento apical; fruto bien llenado	Mayor acumulación de glucovanillina	Mayor potencial aromático
Materia seca	Frutos mas densos a igual tamaño	Correlación positiva con vainilla	Mejora rendimiento aromático

Integridad tisular	Vainas carnosas, sin danos	Mejor contacto enzima-sustrato	Curado más eficiente
Homogeneidad del lote	Tamaños y madurez similares	Cinética de curado uniforme	Menor variabilidad final
Material vegetal	Plantas con buen desempeño previo	Variabilidad genética en aroma	Calidad más consistente

Nota: Síntesis de criterios fisiológicos y bioquímicos clave en la selección del fruto verde para beneficiado, basada en Dignum et al. (2001, 2002) y Sánchez-Galindo et al. (2018).

En conjunto, la evidencia indica que los frutos destinados al beneficiado deben cumplir con condiciones específicas: haber alcanzado su madurez fisiológica, presentar alta acumulación de materia seca y glucovanillina, poseer una estructura interna bien desarrollada y provenir de material vegetal con potencial aromático comprobado. Una selección rigurosa basada en estos principios permite reducir la variabilidad del curado, optimizar la expresión aromática y establecer una continuidad lógica entre la química del fruto verde y los procesos postcosecha descritos en las secciones siguientes.

2.2 Métodos de beneficiado/curado tradicional

El beneficiado tradicional de la vainilla es un proceso postcosecha indispensable para transformar un fruto verde, fisiológicamente activo pero carente de aroma libre, en un producto estable y sensorialmente complejo. Como se desarrolló en la sección anterior, los compuestos responsables del aroma se encuentran almacenados principalmente en forma de precursores fenólicos, cuya conversión depende de la acción enzimática y de un manejo cuidadoso del calor, la humedad y el tiempo.

Los métodos tradicionales de curado surgieron como respuestas empíricas a esta necesidad bioquímica y, pese a las variaciones regionales, comparten una estructura funcional que se mantiene vigente hasta la actualidad.

2.2.1 Bases históricas del método mexicano

El método tradicional mexicano es el más antiguo documentado y constituye el punto de referencia para la mayoría de los sistemas de curado desarrollados posteriormente. Teoh (2019) describe que, en sus formas originales, el beneficiado iniciaba con un marchitado suave de los frutos recién cosechados, extendidos en ambientes ventilados durante aproximadamente veinticuatro horas. Esta etapa permitía una primera pérdida de humedad superficial y preparaba el fruto para los tratamientos térmicos posteriores.

Posteriormente se instauraban ciclos diarios de soleado y sudado. Durante el día, las vainas se exponían al sol sobre mantas o petates; al atardecer, se recogían y protegían para evitar una deshidratación excesiva. Por la noche, los frutos se almacenaban en cajas cerradas, donde el calor retenido y la alta humedad favorecían el oscurecimiento progresivo y el inicio del desarrollo aromático. Este ciclo se repetía durante varios días hasta que las vainas adquirían coloración oscura, textura flexible y un olor reconocible.

La manipulación cuidadosa fue siempre un elemento central del método. Fuentes históricas mencionan incluso la aplicación de aceites vegetales para sellar fisuras y reducir pérdidas aromáticas. Los criterios de evaluación —color uniforme, flexibilidad, brillo y aroma—

establecidos en estos sistemas tempranos continúan siendo referentes en la clasificación comercial contemporánea.

2.2.2 Estructura clásica del proceso de curado

A pesar de las diferencias locales, el curado tradicional de la vainilla presenta una estructura común compuesta por cuatro etapas principales: *killing*, *sweating*, *drying* y *conditioning* (Dignum et al., 2002; Havkin-Frenkel & Frenkel, 2006). Cada una cumple una función fisiológica y química específica dentro del proceso de generación y estabilización del aroma.



Figura 5. Flujo del curado tradicional: *killing*–*sweating*–*drying*–*conditioning*

Nota: Secuencia general del curado tradicional y su función tecnológica; adaptado de Dignum et al. (2002) y Havkin-Frenkel y Frenkel (2006).

a. *Killing (destrucción de tejidos).*

El objetivo del *killing* —matado de la vaina— es detener la vida vegetativa del fruto y desorganizar los tejidos, permitiendo el contacto entre enzimas y sustratos. En la vaina verde intacta, los precursores aromáticos —como la glucovanillina— se localizan mayoritariamente en el tejido carnoso interno, mientras que la actividad de la β -glucosidasa y otras enzimas hidrolíticas es significativamente mayor en capas más externas del fruto (Havkin-Frenkel & Frenkel, 2006). Esta

separación anatómica impide la formación de aroma mientras el fruto permanece fisiológicamente activo, por lo que la ruptura tisular es una condición indispensable para iniciar el proceso aromático.

Los métodos tradicionales para inducir el killing incluyen estrategias de marchitamiento al sol, así como tratamientos térmicos más directos como el calentamiento en horno o el escaldado en agua caliente y, en contextos experimentales, la congelación (Havkin-Frenkel & Frenkel, 2006). En el método mexicano contemporáneo se emplea una variante de escaldado breve, en la que los frutos se sumergen por segundos en agua caliente a temperaturas que pueden oscilar entre 75 y 90 °C, según el beneficiador (Xochipa-Morante et al., 2016). Este paso resulta crítico para evitar la apertura del ápice, controlar la liberación inicial de humedad y reducir riesgos microbiológicos.

b. *Sweating (sudado).*

Tras el killing, las vainas se someten al sweating, fase en la que se mantienen a temperaturas elevadas y alta humedad durante varios días. Tradicionalmente se realiza en cajones de madera, donde las vainas se colocan en bolsas plásticas, envueltas en mantas que permiten retener calor y humedad. Havkin-Frenkel & Frenkel (2006) señalan que condiciones térmicas del orden de 45–65 °C favorecen la actividad enzimática y la ocurrencia de reacciones oxidativas iniciales. Durante esta etapa se desarrolla el color marrón característico, se intensifica el aroma y se define gran parte de la textura del fruto beneficiado.

En el método mexicano moderno, el sudado puede realizarse de manera continua durante una semana o repetirse en ciclos diarios combinados con exposiciones breves al sol, ajustándose empíricamente según el

comportamiento del fruto y las condiciones ambientales (Xochipa-Morante et al., 2016).

c. *Drying (secado lento).*

El secado tiene como finalidad reducir gradualmente el contenido de humedad del fruto hasta niveles que detengan la actividad enzimática y prevengan el crecimiento microbiano. Al finalizar el sudado, las vainas conservan aún una humedad elevada, la cual debe disminuirse progresivamente hasta valores cercanos a 25–30 % (Havkin-Frenkel & Frenkel, 2006).

Esta es la etapa más difícil de controlar. Variaciones en el clima, el tamaño del fruto y el ritmo de evaporación influyen directamente en la preservación de los compuestos aromáticos. En el método mexicano, el secado se logra mediante múltiples ciclos de soleado de duración variable, seguidos de reposo en cajones de sudado, con un número total de exposiciones que puede oscilar ampliamente entre beneficiadores (Xochipa-Morante et al., 2016). Al final de esta fase, las vainas han perdido hasta dos tercios de su peso original y adquieren una textura rugosa y un brillo característico.

d. *Conditioning (acondicionamiento).*

El acondicionamiento corresponde a una fase prolongada de almacenamiento en sombra durante semanas o meses, en la que continúan reacciones lentas de oxidación y estabilización del aroma. Desde el punto de vista científico, esta etapa ha sido menos estudiada; sin embargo, se reconoce que contribuye a la armonización del perfil aromático y a la estabilidad sensorial del producto final (Havkin-Frenkel & Frenkel, 2006). En México, los beneficiadores revisan

periódicamente sus lotes, a intervalos de una o dos semanas, hasta completar periodos que pueden extenderse por varios meses (Xochipa-Morante et al., 2016).

Tabla 7. Etapas del curado tradicional: objetivo, condiciones típicas y principal resultado esperado

Etapas	Objetivo	Condiciones típicas (T/HR/tiempo)	Resultado principal	Riesgo si se controla mal
Killing (matado)	Detener la actividad fisiológica romper la compartimentación tisular	65-90 °C/HR alta/segundos- minutos	Contacto enzima-sustrato	Inactivación enzimática o fisuras
Sweating (sudado)	Favorecer hidrolisis y oxidaciones iniciales	45-65 °C/HR alta/varios días	Desarrollo inicial del aroma y color	Sobre fermentación, mohos
Drying (secado)	Reducir humedad de forma gradual	30-45 °C/HR controlada/semanas	Estabilización física del fruto	Case-hardening, pérdidas aromáticas
Conditioning (acondicionamiento)	Armonizar y estabilizar el perfil aromático	Ambiente sombreado/HR moderada/semanas-meses	Aroma equilibrado y estable	Aroma plano o inestable

Nota: Condiciones y funciones resumidas de las etapas del curado tradicional basadas en Dignum et al. (2002), Havkin-Frenkel y Frenkel (2006) y Xochipa-Morante et al. (2016).

2.2.3 Variaciones regionales e internacionales

El curado tradicional presenta diferencias significativas entre regiones productoras. Gatfield et al. (2007) compararon métodos empleados en Madagascar y Reunión, identificando esquemas con uno o dos ciclos de killing y sweating, lo que modifica la cinética de hidrólisis de la glucovanillina y las pérdidas de vainillina durante el proceso. En Reunión, los ciclos duplicados favorecen una liberación temprana de vainillina, aunque también incrementan las pérdidas durante el secado. En contraste, el proceso mexicano tiende a equilibrar sudado y secado mediante una manipulación constante del fruto y un control visual basado en el color, la textura y el aroma.

El método mexicano ancestral descrito por Teoh (2019), basado exclusivamente en marchitado, soleado y sudado, ilustra enfoques más lentos y suaves para facilitar la acción enzimática, mientras que las versiones modernas incorporan el escaldado como estrategia para uniformar procesos, mejorar la inocuidad y reducir el riesgo de desarrollo fúngico.

2.2.4 Consideraciones agroindustriales

Desde una perspectiva agroindustrial, el curado tradicional puede entenderse como un proceso transformativo que integra operaciones unitarias secuenciales altamente dependientes del control térmico, de la humedad y de la manipulación física del fruto. La variabilidad inherente al proceso artesanal —en tiempos de escaldado, número de ciclos de soleado o condiciones de almacenamiento— es un factor determinante de la heterogeneidad del producto final.

Estudios cinéticos han mostrado que una proporción significativa del potencial aromático del fruto verde se pierde durante las primeras etapas del curado, particularmente durante el killing, el sweating y el inicio del secado (Gatfield et al., 2007). Este comportamiento confirma que el control temprano del proceso es crítico para preservar el aroma y explica por qué pequeñas variaciones en los protocolos tradicionales generan diferencias sensoriales apreciables entre lotes y regiones. El análisis técnico de estas etapas ha orientado esfuerzos hacia la estandarización y caracterización de puntos críticos del proceso, aspectos que se desarrollarán de manera específica en el apartado 2.4.

2.3 Métodos de beneficiado/curado tecnificados

La incorporación de tecnologías al proceso de beneficiado de la vainilla responde a la necesidad de reducir la variabilidad inherente a los métodos tradicionales y de ofrecer condiciones más estables de operación. A diferencia del curado artesanal, altamente dependiente del clima y del manejo empírico, los métodos tecnificados permiten reproducir los principios fundamentales del proceso —desorganización inicial del tejido, activación enzimática y pérdida gradual de humedad— bajo ambientes controlados de temperatura, humedad y flujo de aire. Este enfoque no reemplaza la lógica bioquímica del curado, sino que la ejecuta con mayor precisión operativa y reproducibilidad (Kelso-Bucio et al., 2013; Ndoye & Sarr, 2006).

En términos agroindustriales, la tecnificación abre la posibilidad de escalar el proceso, disminuir pérdidas por hongos o deshidratación irregular y obtener lotes más homogéneos, aspectos especialmente

relevantes en regiones tropicales húmedas donde el curado tradicional resulta inestable.

2.3.1 Beneficiado semi-mecanizado

El beneficiado semi-mecanizado representa una etapa intermedia entre el curado tradicional y los sistemas completamente automatizados. Consiste en la incorporación de fuentes de calor controladas —como hornos eléctricos o cámaras térmicas— para sustituir parcial o totalmente el soleado. Kelso-Bucio et al. (2013) documentaron que el uso de temperaturas moderadas permite acelerar la pérdida inicial de humedad y favorecer el desarrollo aromático sin comprometer la calidad del producto, siempre que el proceso se mantenga dentro de rangos térmicos controlados.

Este tipo de sistemas reduce el tiempo total del beneficiado respecto al método tradicional y disminuye la dependencia de las condiciones ambientales, manteniendo rendimientos comparables y un riesgo reducido de proliferación fúngica. Su principal ventaja radica en la estabilidad térmica que introduce al proceso, sin eliminar por completo las prácticas artesanales de manejo, lo que facilita su adopción en contextos productivos de pequeña y mediana escala.

2.3.2 Sistemas de secado con deshumidificación

El control de la humedad relativa del aire constituye uno de los avances más significativos en la tecnificación del secado de la vainilla. Ndoye y Sarr (2006) demostraron que la deshumidificación previa del aire incrementa notablemente su capacidad para absorber vapor de agua, acelerando de manera sustancial la deshidratación del fruto. Al reducir la humedad relativa del aire de secado, se modifica la cinética de

evaporación sin necesidad de incrementar de forma proporcional la temperatura.

Los sistemas que combinan deshumidificación con calentamiento moderado permiten acortar de forma drástica el tiempo total del proceso y estabilizar el secado en climas tropicales húmedos. Además, este enfoque favorece un uso más eficiente de la energía, al optimizar la relación entre temperatura, humedad y caudal de aire, lo que resulta particularmente relevante para aplicaciones agroindustriales continuas.

2.3.3 Prototipos integrados de fermentación y secado

El desarrollo de equipos que integran de forma automatizada las etapas de sudado y secado representa un avance importante hacia la estandarización del curado. Abdul Waris (2014) describieron prototipos que utilizan sensores térmicos y controladores automáticos para regular de manera precisa la temperatura durante ciclos sucesivos, alternando fases de calentamiento y reposo.

Estos sistemas buscan reproducir las condiciones del curado tradicional mediante secuencias térmicas controladas, reduciendo la intervención manual y la variabilidad entre lotes. Los productos obtenidos presentan coloración oscura uniforme, aroma bien desarrollado y elasticidad adecuada, lo que sugiere que la integración de etapas bajo control automático puede mejorar la homogeneidad del proceso sin alterar sus fundamentos bioquímicos.

2.3.4 Secadores híbridos solar-eléctricos

Los secadores híbridos combinan la radiación solar como fuente primaria de energía con un respaldo eléctrico que garantiza la

continuidad del proceso durante la noche o en condiciones de nubosidad. Warji et al. (2023) mostraron que esta configuración permite reducir el tiempo total de secado respecto a sistemas exclusivamente solares o eléctricos, manteniendo humedades finales estables.

Aunque el uso simultáneo de dos fuentes energéticas implica una menor eficiencia energética relativa frente al secado solar puro, la capacidad de operar de manera continua convierte a los sistemas híbridos en una alternativa robusta para regiones con alta variabilidad climática. Esta tecnología resulta especialmente adecuada para contextos rurales donde la disponibilidad solar es alta pero irregular, y donde la interrupción del secado incrementa el riesgo de deterioro del producto.

2.3.5 Tecnologías emergentes: microondas y ultrasonido

Entre las estrategias más recientes de intensificación del curado se encuentran el uso de microondas y ultrasonido como pretratamientos durante la etapa de destrucción tisular. Antonio-Gutiérrez et al. (2023) documentaron que las microondas producen un calentamiento volumétrico rápido, mientras que el ultrasonido induce fenómenos de cavitación que alteran la estructura celular del fruto. Ambos mecanismos facilitan el contacto temprano entre la glucovanillina y la β -glucosidasa.

Estas tecnologías permiten acelerar la liberación de compuestos aromáticos y reducir de manera significativa la duración total del proceso. Sin embargo, su aplicación requiere un control preciso para evitar sobrecalentamientos o degradación de compuestos sensibles, por lo que actualmente se consideran herramientas de alto potencial para procesos tecnificados bajo condiciones estrictamente controladas.

2.3.6 Control tecnificado del killing y del almacenamiento previo

La optimización de la etapa de killing ha sido abordada mediante el control preciso de combinaciones tiempo–temperatura. Krishnakumar et al. (2007) demostraron que determinados esquemas térmicos permiten una desorganización eficaz del tejido sin provocar fisuras ni pérdidas excesivas de humedad, favoreciendo una evolución aromática adecuada en las etapas posteriores.

El mismo estudio evidenció que el almacenamiento prolongado de las vainas frescas antes del killing introduce variabilidad adicional y afecta negativamente la calidad final, al incrementar el riesgo de daño físico y reducir el potencial aromático. Estos resultados subrayan la importancia de integrar el killing de manera temprana y controlada dentro de los esquemas tecnificados, minimizando fases intermedias no reguladas.

a. Alcance de los métodos tecnificados

Los métodos tecnificados describen un abanico de soluciones que permiten ejecutar el curado de la vainilla bajo condiciones más estables y reproducibles. Cada tecnología presenta ventajas y limitaciones específicas, y su pertinencia depende del contexto productivo, la escala de operación y las condiciones ambientales. El análisis comparativo de estos sistemas no reside únicamente en la tecnología empleada, sino en cómo cada uno gestiona las variables críticas del proceso, tema que se desarrollará de manera específica en la sección siguiente.

2.4 Parámetros críticos del curado

El curado de la vainilla es un proceso de alta sensibilidad, en el que un número reducido de variables gobierna la transformación del fruto verde en una vaina aromática estable. Más allá del método empleado —

tradicional o tecnificado—, la calidad final depende del control fino de la temperatura, la humedad relativa, el tiempo de exposición y la forma en que estas variables interactúan con la estructura tisular y la actividad enzimática del fruto. La evidencia experimental demuestra que desviaciones relativamente pequeñas en cualquiera de estos parámetros alteran de manera significativa la cinética de liberación de vainillina y el perfil químico–sensorial del producto final (Van Dyk et al., 2010; Xochipa-Morante et al., 2016).

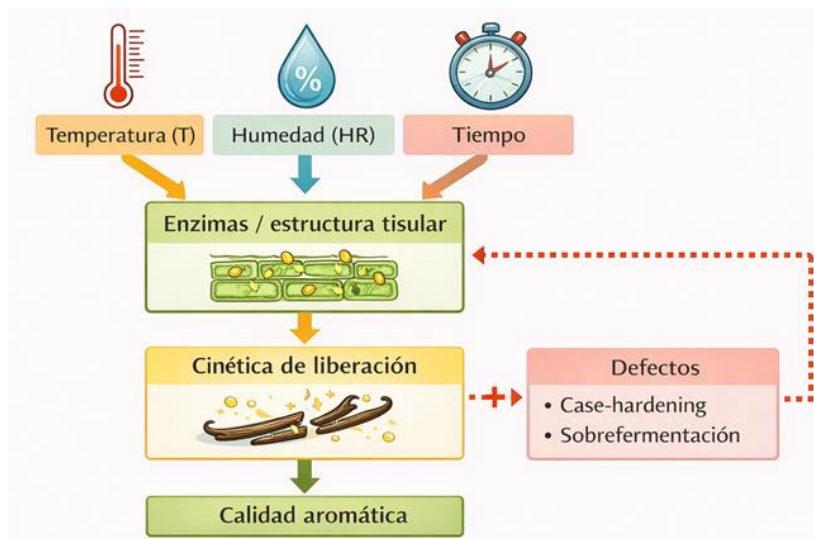


Figura 6. Interacción de variables críticas del curado (temperatura–humedad–tiempo–estructura tisular)

Nota: Modelo conceptual de interacción de parámetros críticos del curado y su relación con la cinética de liberación de vainillina y defectos de proceso, basado en Van Dyk et al. (2010) y Xochipa-Morante et al. (2016).

2.4.1 Temperatura: equilibrio entre activación e inactivación

La temperatura es el parámetro central del curado, ya que regula simultáneamente la ruptura celular y la actividad enzimática. Su efecto

no es lineal: mientras valores moderados y sostenidos favorecen la hidrólisis de glucovanillina, exposiciones térmicas más altas o agresivas aceleran la descompartimentalización del tejido, pero reducen la eficacia enzimática.

Ensayos controlados muestran que el sudado continuo a temperaturas moderadas, sin escaldado previo, permite alcanzar conversiones elevadas de glucovanillina a vainillina y perfiles aromáticos más complejos, caracterizados por notas dulces, florales y frutales (Van Dyk et al., 2010). En contraste, tratamientos de killing mediante escaldado breve a temperaturas más altas generan una liberación aromática más rápida y una apariencia visual homogénea, pero con una conversión enzimática menor, lo que se traduce en concentraciones inferiores de vainillina libre.

Estos resultados confirman que la temperatura no debe entenderse como un valor absoluto, sino como una variable que define una ventana operativa, dentro de la cual se maximiza el equilibrio entre activación enzimática y preservación de compuestos aromáticos.

2.4.2 Humedad relativa: modulador de la cinética del proceso

La humedad relativa del entorno regula la velocidad de deshidratación y condiciona el tiempo durante el cual las enzimas permanecen funcionales. Durante el sudado, niveles elevados de humedad favorecen la continuidad de las reacciones bioquímicas y previenen la desecación prematura del tejido, permitiendo que la hidrólisis de glucovanillina se desarrolle de manera progresiva (Xochipa-Morante et al., 2016).

En la fase de secado, la reducción gradual de la humedad del fruto resulta crítica para detener la actividad enzimática sin comprometer la estabilidad aromática. Secados demasiado rápidos, especialmente bajo humedades relativas muy bajas, incrementan el riesgo de *case-hardening*, fenómeno en el que la superficie del fruto se endurece y dificulta la salida de humedad interna, afectando la maduración aromática posterior (Van Dyk et al., 2010). Estos hallazgos confirman que la humedad relativa no actúa de forma aislada, sino en estrecha interacción con la temperatura y el tiempo de exposición.

2.4.3 Tiempo: cinética de transformación y no simple duración

El tiempo de curado no constituye un parámetro fijo ni universal. La liberación de vainillina y la formación de compuestos secundarios siguen una cinética progresiva que se extiende desde el sudado hasta el acondicionamiento. Estudios comparativos muestran que procesos más lentos, bajo condiciones térmicas y de humedad estables, favorecen no solo una mayor conversión de glucovanillina, sino también el desarrollo de perfiles aromáticos más equilibrados (Van Dyk et al., 2010).

Por el contrario, la aceleración excesiva del proceso puede generar vainas con concentraciones apreciables de vainillina, pero con perfiles sensoriales planos o incompletos. Este comportamiento evidencia que la calidad aromática depende tanto de la cantidad de vainillina liberada como del tiempo disponible para que se formen y estabilicen compuestos secundarios responsables de la complejidad sensorial.

2.4.4 Actividad enzimática y estructura tisular

La β -glucosidasa y otras enzimas hidrolíticas desempeñan un papel clave en la formación del aroma, pero su actividad está condicionada

por la integridad estructural del tejido y por las condiciones térmicas del proceso. El killing tiene como objetivo principal romper la compartimentación celular que separa enzimas y sustratos, permitiendo su contacto efectivo.

Estudios experimentales demuestran que distintos métodos de killing —térmicos, físicos o combinados— generan grados variables de daño celular. Tratamientos que logran una descompartimentalización suficiente sin destruir completamente la maquinaria enzimática producen mayores concentraciones de vainillina y compuestos asociados (Pardio et al., 2009; Antonio-Gutiérrez et al., 2023). En cambio, tratamientos excesivamente agresivos inactivan las enzimas y reducen el rendimiento aromático, aun cuando el daño estructural sea elevado.

Estos resultados confirman que la actividad enzimática residual no es el único factor determinante; la forma y el momento en que se induce la ruptura celular son igualmente críticos.

2.4.5 Cinética de liberación y estabilidad de la vainillina

La vainillina no se libera de manera instantánea tras el killing, sino que su concentración aumenta progresivamente durante el sudado y parte del secado. Estudios de cuantificación muestran que la concentración máxima suele alcanzarse dentro de un intervalo temporal definido, tras el cual pueden producirse pérdidas por degradación oxidativa o reacciones secundarias (Antonio-Gutiérrez et al., 2023; Van Dyk et al., 2010).

Este comportamiento pone de manifiesto que prolongar el proceso más allá de cierto punto no incrementa necesariamente la calidad aromática y, en algunos casos, puede resultar contraproducente. El control del tiempo total del curado, en función de las condiciones térmicas y de humedad aplicadas, constituye por tanto un parámetro crítico para preservar la estabilidad del aroma.

2.4.6 Riesgos asociados a un control inadecuado

La falta de control sobre los parámetros críticos del curado se traduce en defectos recurrentes. Entre los más frecuentes se encuentran el case-hardening, asociado a secados superficiales rápidos; la sobrefermentación, producto de sudados prolongados con humedad excesiva; y la pérdida de compuestos aromáticos por tratamientos térmicos extremos (Xochipa-Morante et al., 2016; Pardo et al., 2009).

Tabla 8. Defectos de curado asociados a desviaciones de parámetros críticos

Defecto	Etapa donde aparece	Causa probable (parámetro fuera de control)	Consecuencia	Prevención
Case-hardening	Secado	Humedad relativa demasiado baja y/o secado superficial rápido	Superficie endurecida, retención de humedad interna, aroma incompleto	Reducir velocidad de secado; controlar HR y temperatura
Sobre fermentación	Sudado	Temperatura elevada y humedad excesiva por tiempo prolongado	Olores indeseables o notas acidas o fermentativas	Limitar la duración del sudado; ventilación controlada

Perdida de aroma	Killing/secado inicial	Temperatura excesiva o tratamientos térmicos agresivos	Degradación de vainillina y compuestos volátiles	Ajustar ventanas tiempo-temperatura
Desarrollo fúngico	Secado/acondicionamiento	Humedad elevada y secado insuficiente	Deterioro físico y rechazo comercial	Secado progresivo y control sanitario
Aroma plano o incompleto	Todo el proceso	Aceleración excesiva del curado	Baja complejidad aromática	Respetar cinética del proceso y tiempos mínimos
Fisuras y fragilidad	Killing/secado	Choques térmicos o deshidratación abrupta	Perdidas aromáticas y mala apariencia	Aplicar transiciones térmicas graduales

Nota: Principales defectos asociados a control inadecuado de temperatura, humedad y tiempo durante el curado, sintetizados de Xochipa-Morante et al. (2016), Pardio et al. (2009) y Van Dyk et al. (2010).

Además, prácticas como el lavado del fruto en etapas sensibles del proceso han demostrado reducir la concentración de compuestos aromáticos menores, alterando el equilibrio químico del producto final (Xochipa-Morante et al., 2016). Estos riesgos evidencian que el curado no admite simplificaciones y que cada etapa debe gestionarse de manera coherente con las anteriores.

2.4.7 Integración de los parámetros críticos

La evidencia indica que la calidad del curado emerge de la interacción integrada entre temperatura, humedad relativa, tiempo y estructura tisular del fruto. No existe un único parámetro responsable del éxito del proceso; por el contrario, es el ajuste coordinado de estas variables lo que permite maximizar la liberación de vainillina y preservar la complejidad aromática.

Comprender estos parámetros críticos constituye la base para evaluar, adaptar y optimizar tanto los métodos tradicionales como los tecnificados. Sobre este marco se apoyan las innovaciones orientadas a mejorar la reproducibilidad del proceso y a explorar nuevas aplicaciones agroindustriales, tema que se desarrollará en la sección siguiente.

2.5 Tendencias emergentes y oportunidades de innovación



Figura 7. De curado artesanal a curado controlable: ejes de innovación

Nota: Ejes de innovación identificados en la literatura para mejorar reproducibilidad y disminuir dependencia climática del curado (Havkin-Frenkel y Frenkel, 2006; Dignum et al., 2001, 2002; Krishnakumar et al., 2007).

El curado de la vainilla ha sido históricamente un proceso artesanal, profundamente dependiente del clima, del manejo empírico y de la experiencia del beneficiador. Sin embargo, la evidencia científica acumulada en las últimas décadas muestra una transición clara hacia la comprensión del curado como un proceso tecnológicamente controlable, sustentado en principios bioquímicos, térmicos y de transferencia de masa. Esta evolución no implica la sustitución del método tradicional, sino su reinterpretación técnica, orientada a mejorar reproducibilidad, reducir variabilidad y favorecer la eficiencia del

proceso (Havkin-Frenkel & Frenkel, 2006; Dignum et al., 2001; Dignum et al., 2002).

Los estudios revisados coinciden en que el curado puede conceptualizarse como un proceso de maduración controlada, en el cual la interacción entre daño tisular, actividad enzimática, disponibilidad de oxígeno, temperatura y humedad define la formación del aroma característico de la vainilla. Bajo esta perspectiva, las innovaciones recientes se orientan menos a introducir etapas nuevas y más a optimizar críticamente las existentes, particularmente el killing, el sudado y el secado.

2.5.1 Control ambiental y estandarización del proceso

Una de las tendencias más consistentes es el énfasis en el control preciso de la temperatura y la humedad relativa durante el curado. La evidencia experimental demuestra que pequeñas variaciones en la humedad ambiental modifican de forma significativa la cinética de pérdida de agua y el equilibrio higroscópico de las vainas, con efectos directos sobre la estabilidad física y química del producto final (Havkin-Frenkel & Frenkel, 2006). Estos resultados explican por qué el curado tradicional, altamente dependiente del clima, genera productos con elevada dispersión de calidad incluso dentro de una misma región.

El control térmico, especialmente durante el killing, constituye otro eje central de estandarización. Ensayos en condiciones controladas muestran que tratamientos térmicos moderados permiten desorganizar el tejido vegetal sin inactivar completamente las enzimas responsables de la hidrólisis de la glucovanillina, condición indispensable para la formación de vainillina (Dignum et al., 2002). En este contexto, el uso

de rangos térmicos bien definidos —en lugar de exposiciones severas o mal controladas— emerge como una estrategia clave para reducir pérdidas aromáticas y mejorar la reproducibilidad del proceso.

2.5.2 Ventanas térmicas críticas e intensificación controlada

Los estudios experimentales coinciden en que el killing presenta ventanas operativas estrechas, dentro de las cuales se maximiza la conversión de precursores aromáticos sin comprometer la integridad enzimática. En particular, tratamientos por inmersión en agua caliente a 63–65 °C durante 3–5 minutos han mostrado resultados consistentes en términos de coloración adecuada, pérdida de humedad controlada y mayores contenidos de vainillina en comparación con tratamientos más severos (Krishnakumar et al., 2007).

Estos resultados confirman que la intensificación del proceso no depende de aumentar indiscriminadamente la temperatura, sino de ajustar con precisión la combinación tiempo–temperatura. Exposiciones excesivas aceleran el secado, pero inducen fragilidad del fruto y reducen la calidad final, evidenciando que la rapidez del proceso no siempre se traduce en un mejor rendimiento aromático. La innovación, en este sentido, se orienta hacia la optimización fina del proceso, no hacia su simplificación extrema.

2.5.3 Cinética del curado y base para la optimización técnica

La disponibilidad de datos cuantitativos sobre la evolución de la humedad, la hidrólisis de glucovanillina y la pérdida progresiva de actividad enzimática ha permitido avanzar hacia una comprensión más dinámica del curado. Estudios en condiciones de laboratorio han demostrado que la mayor parte de las transformaciones bioquímicas

relevantes ocurre durante las primeras etapas del proceso, particularmente en los días iniciales posteriores al killing (Dignum et al., 2002).

Asimismo, evaluaciones comparativas de distintos esquemas de sudado y secado muestran que es posible reducir parcialmente la duración del proceso, manteniendo las etapas tradicionales, pero modificando sus condiciones ambientales. El sudado continuo a temperatura moderada y el secado en ambientes controlados permiten acelerar ciertas fases sin deteriorar el perfil aromático, aunque con compromisos en la apariencia visual del producto (Van Dyk et al., 2010). Estos hallazgos refuerzan la idea de que la optimización del curado debe considerar el destino industrial del producto, equilibrando atributos sensoriales y comerciales.

2.5.4 Reducción de la variabilidad como oportunidad estratégica

Uno de los argumentos más sólidos a favor de la innovación tecnológica es la elevada variabilidad asociada al beneficiado tradicional. Estudios realizados bajo condiciones controladas de material vegetal homogéneo han demostrado diferencias sustanciales en el contenido de vainillina y otros compuestos aromáticos entre beneficiadores, atribuibles principalmente a decisiones operativas durante el curado (Xochipa-Morante et al., 2016). Rangos amplios de vainillina, aun dentro de una misma región y clon, evidencian que la variabilidad no es únicamente genética, sino fundamentalmente tecnológica.

Análisis comparativos de extractos provenientes de distintos orígenes geográficos muestran además que la calidad aromática no puede evaluarse únicamente en función de la vainillina. Diferencias marcadas

en compuestos volátiles minoritarios generan perfiles sensoriales distintos, incluso cuando se emplean esquemas tradicionales similares (Zhang & Mueller, 2012). Esta complejidad refuerza la necesidad de procesos más controlados, capaces de reproducir perfiles aromáticos específicos y consistentes.

2.5.5 Hacia procesos más eficientes y menos dependientes del clima

La literatura revisada documenta múltiples intentos históricos de reducir la dependencia climática del curado mediante el uso de ambientes cerrados, secado asistido y sistemas térmicos controlados. Aunque muchos de estos enfoques no se han adoptado de forma masiva, demuestran que es técnicamente viable desacoplar el curado de las condiciones ambientales externas y avanzar hacia esquemas más predecibles (Dignum et al., 2001).

En conjunto, las tendencias emergentes en el curado de la vainilla apuntan hacia una agroindustria basada en el control de variables críticas, la reducción de la variabilidad inherente al método tradicional y la adaptación del proceso a objetivos industriales específicos. La innovación no se plantea como una ruptura con la tradición, sino como una herramienta para dotar al curado de mayor coherencia técnica, reproducibilidad y potencial de escalamiento, manteniendo las bases sensoriales que definen la calidad de la vainilla natural.

CAPÍTULO III

3. CALIDAD, ANÁLISIS Y COMPUESTOS AROMÁTICOS

3.1 Compuestos volátiles y no volátiles

La calidad aromática de la vainilla curada es el resultado de una secuencia compleja de transformaciones bioquímicas, oxidativas y fisicoquímicas que actúan sobre un fruto que, en estado verde, carece prácticamente de aroma. Estas transformaciones no generan el aroma desde cero, sino que liberan, transforman y estabilizan compuestos preexistentes, principalmente en forma de precursores no volátiles acumulados durante el desarrollo fisiológico de la vaina (Walton et al., 2003; Dignum et al., 2002).

Aunque se han identificado decenas de compuestos volátiles en la vainilla curada, la percepción aromática característica depende de un conjunto relativamente reducido de moléculas fenólicas y aldehídicas que actúan de manera conjunta. La vainillina es el componente dominante, pero su efecto sensorial está modulado por numerosos compuestos secundarios que contribuyen a la complejidad, persistencia y diferenciación del aroma (Zhang & Mueller, 2012; Shigeto et al., 2017). Esta interacción explica por qué la calidad de la vainilla no puede evaluarse únicamente en función del contenido de vainillina, ni explicarse a partir de un solo parámetro químico.

Desde una perspectiva agroindustrial, comprender la naturaleza y el comportamiento de los compuestos volátiles y no volátiles es fundamental para interpretar la variabilidad del producto final y para diseñar procesos de curado más consistentes y reproducibles.

3.1.1 Naturaleza química del aroma de vainilla

El aroma de la vainilla se construye a partir de la interacción entre compuestos volátiles, responsables de la percepción directa del olor, y compuestos no volátiles, que actúan como precursores o moduladores de la calidad aromática final.

a. Compuestos volátiles

Entre los compuestos volátiles con mayor impacto sensorial destacan la vainillina, el *p*-hidroxibenzaldehído, el ácido vainílico en su fracción volátil, el guayacol y otros derivados fenólicos. Estos compuestos definen las notas dulces, cremosas, florales, especiadas o ligeramente ahumadas que caracterizan a la vainilla curada. Sin embargo, su proporción relativa no es fija ni universal: depende de la fisiología del fruto, del manejo postcosecha y, de forma crítica, de las condiciones específicas del curado (Van Dyk et al., 2010; Zhang & Mueller, 2012).

Estudios sensoriales y cromatográficos han demostrado que perfiles con concentraciones similares de vainillina pueden presentar diferencias aromáticas notables, debido a variaciones en compuestos minoritarios con alta actividad odorante. Esta evidencia refuerza la necesidad de abordar la calidad aromática desde una perspectiva multicomponente y no reduccionista (Shigeto et al., 2017).

b. Compuestos no volátiles

Los compuestos no volátiles incluyen principalmente glucósidos fenólicos, entre ellos la glucovanillina, reconocida como el precursor dominante de la vainillina, así como otros glucósidos aromáticos, ácidos fenólicos y polifenoles asociados al desarrollo del color y a reacciones oxidativas posteriores (Walton et al., 2003).

Un aspecto clave es su compartimentación anatómica dentro del fruto. La glucovanillina se localiza mayoritariamente en los tejidos internos de la vaina, mientras que las enzimas hidrolíticas necesarias para su transformación se encuentran en capas externas. Esta separación explica por qué el aroma no se expresa en la vaina verde y por qué el curado requiere necesariamente un daño tisular progresivo que permita el contacto entre precursores y enzimas (Dignum et al., 2002; Havkin-Frenkel & Frenkel, 2006).

Tabla 9. Principales compuestos aromáticos de la vainilla y su función sensorial

Compuesto	Clase química	Rol sensorial dominante	Observación clave
Vainillina	Aldehído fenólico	Nota dulce, características de vainilla	Principal marcador aromático; no define por si sola la calidad
P-Hidroxibenzaldehído	Aldehído fenólico	Nota dulce-almendrada	Contribuye a la redondez del aroma
Ácido vanílico	Ácido fenólico	Fondo suave	Derivado oxidativo de la vainillina
Alcohol vanílico	Alcohol fenólico	Nota dulce tenue	Intermedio de transformación durante el curado
Guayacol	Fenol volátil	Nota ahumada	Presente en bajas concentraciones ; impacto sensorial alto

Eugenol	Fenilpropanoide	Nota especiada, clavo	Aporta complejidad aromática
Anisaldehído	Aldehído aromático	Nota anisada, floral	Mas relevante en ciertos quimiotipos
Lactonas (diversas)	Lactonas	Nota cremosa	Refuerza la percepción de suavidad
Ácidos volátiles	grasos Ácidos orgánicos	Fondo graso	Modulan la persistencia del aroma

Nota: Principales compuestos aromáticos identificados en vainilla curada y su función sensorial dominante, sintetizados de Walton et al. (2003), Dignum et al. (2002) y Zhang y Mueller (2012).

3.1.2 Precursores aromáticos y rutas bioquímicas

La hidrólisis de la glucovanillina constituye el eje central de la formación del aroma característico de la vainilla. Esta reacción libera vainillina libre a partir de su forma conjugada y depende del contacto efectivo entre el sustrato y las β -glucosidasas presentes en el tejido vegetal. Sin embargo, la relación entre actividad enzimática y concentración final de vainillina no es lineal ni directa.

Estudios en condiciones controladas han demostrado que la actividad de β -glucosidasa disminuye de forma significativa tras las primeras etapas del curado, particularmente después del killing y durante el sudado inicial. A pesar de ello, la concentración de vainillina continúa aumentando, lo que indica la participación de procesos adicionales,

incluyendo reacciones químicas no estrictamente enzimáticas y oxidaciones posteriores (Dignum et al., 2002; Walton et al., 2003).

La biosíntesis de los precursores aromáticos ocurre antes de la cosecha y está influenciada por la madurez fisiológica del fruto. Vainas cosechadas en estados más avanzados de madurez presentan mayores concentraciones de glucovanillina y un potencial aromático significativamente superior, aun cuando se sometan al mismo proceso de curado (Shigeto et al., 2017). Este hecho demuestra que el curado no puede compensar deficiencias severas en la calidad inicial de la materia prima, sino que actúa como un proceso de desbloqueo y modulación del potencial aromático preexistente.

3.1.3 Formación de compuestos aromáticos durante el curado

El curado modifica profundamente el perfil químico de la vainilla a través de una secuencia de etapas interdependientes, cada una con un impacto específico sobre la formación y estabilización del aroma.

El killing define la magnitud del daño tisular inicial y el grado de preservación de la actividad enzimática. Tratamientos moderados permiten desorganizar el tejido vegetal sin destruir completamente las enzimas implicadas en la liberación de precursores, mientras que exposiciones térmicas excesivas aceleran la deshidratación, pero reducen el rendimiento aromático (Dignum et al., 2002; Krishnakumar et al., 2007).

Durante el sudado se generan la mayor parte de los compuestos aromáticos. Condiciones térmicas relativamente estables y alta humedad favorecen conversiones más eficientes de glucovanillina y el

desarrollo de perfiles aromáticos más dulces y complejos. En esquemas tradicionales, la alternancia entre calor y reposo también contribuye a la formación de aldehídos fenólicos asociados al aroma típico de la vainilla (Van Dyk et al., 2010; Xochipa-Morante et al., 2016).

El secado regula el equilibrio entre la pérdida de compuestos volátiles y las oxidaciones internas. Una deshidratación excesivamente rápida puede provocar pérdidas aromáticas y perfiles más planos, mientras que un secado lento y controlado favorece la estabilidad del aroma, siempre que se mantengan condiciones que limiten el desarrollo microbiano (Havkin-Frenkel & Frenkel, 2006).



Figura 8. Formación del aroma durante las etapas del curado

Nota. Esquema conceptual de la formación progresiva del aroma de la vainilla a lo largo de las etapas del curado, mostrando la activación enzimática inicial, las transformaciones oxidativas intermedias y la estabilización final de los compuestos aromáticos durante el acondicionamiento.

Finalmente, el acondicionamiento permite la estabilización del perfil aromático mediante reacciones lentas que continúan aun después de alcanzada la humedad final. El control del ambiente durante esta etapa resulta determinante para preservar la calidad alcanzada en las fases previas (Havkin-Frenkel & Frenkel, 2006).

3.1.4 Variabilidad química asociada al método de curado

El curado no produce un resultado químico único ni completamente reproducible. Estudios realizados con material vegetal homogéneo han demostrado que pequeñas variaciones en tiempo, temperatura, manejo del sudado o secado generan diferencias significativas en la concentración de vainillina y otros compuestos aromáticos (Xochipa-Morante et al., 2016).

La intensificación tecnológica del proceso, como el uso de microondas o ultrasonido durante la etapa de killing, ha demostrado que es posible acelerar la liberación de precursores y reducir drásticamente el tiempo total del curado. No obstante, estos enfoques presentan ventanas operativas estrechas: exposiciones excesivas inducen oxidaciones no deseadas y degradación aromática, lo que confirma que el daño tisular debe ser cuidadosamente dosificado (Antonio-Gutiérrez et al., 2023).

Estos resultados refuerzan la idea de que la innovación en el curado no consiste en eliminar etapas, sino en controlar con mayor precisión las condiciones bajo las cuales se desarrollan.

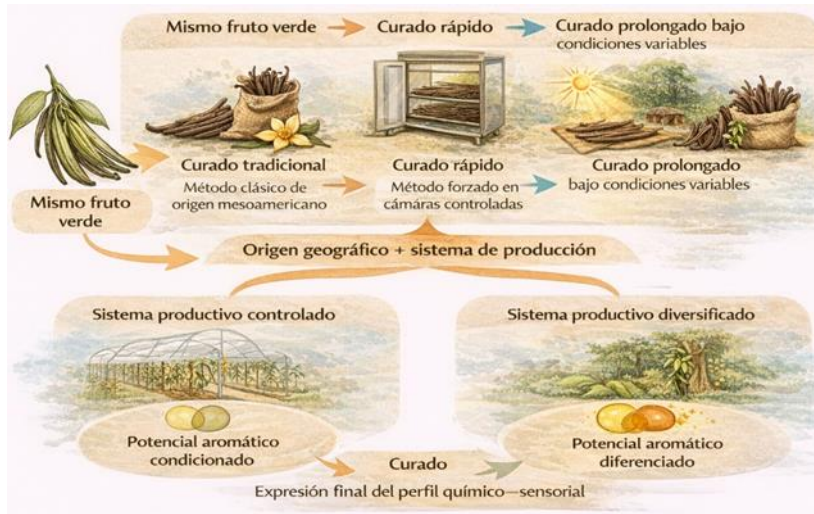


Figura 9. Variabilidad aromática según método de curado y sistema de producción

Nota: Esquema conceptual de la variabilidad aromática de la vainilla como resultado de la interacción entre el potencial del fruto verde, determinado por su origen y sistema de producción, y el método de curado aplicado.

3.1.5 Variabilidad según origen y sistema de producción

La calidad aromática de la vainilla no depende exclusivamente del curado. El origen del material vegetal, el sistema de cultivo y las condiciones de producción influyen de manera significativa en el potencial aromático inicial. Estudios comparativos han demostrado diferencias sustanciales en el contenido de vainillina entre lotes sometidos a procesos similares, atribuibles al sistema productivo y a condiciones fisiológicas previas a la cosecha (Herrera-Cabrera et al., 2022).

Asimismo, la madurez de cosecha condiciona tanto la concentración de precursores aromáticos como la actividad enzimática disponible para su

transformación. Vainas cosechadas prematuramente presentan menores niveles de glucovanillina y una respuesta limitada al curado, lo que se traduce en perfiles aromáticos menos complejos, aun bajo esquemas postcosecha técnicamente correctos (Shigeto et al., 2017).

3.1.6 Implicaciones para la calidad y la industria

La combinación de compuestos volátiles y no volátiles define el perfil aromático final de la vainilla. La vainillina actúa como eje central de la percepción, pero su efecto está modulado por una red de compuestos secundarios y por la historia fisiológica y tecnológica del fruto. Desde el punto de vista agroindustrial, esta complejidad explica la elevada variabilidad observada en la vainilla natural y la dificultad de estandarizar el producto únicamente a partir de criterios simples.

Comprender cómo se forman y se transforman estos compuestos permite diseñar procesos de curado más consistentes, ajustar el manejo postcosecha a las características del lote y valorar perfiles aromáticos diferenciados según su destino industrial. En este sentido, la calidad de la vainilla no es solo un atributo químico, sino una construcción integrada entre fisiología vegetal, tecnología de curado y percepción sensorial (Luna-Guevara et al., 2016; Barrera Rodríguez et al., 2022).

3.2 Factores que afectan la calidad aromática

La calidad aromática de la vainilla curada no es el resultado de un único atributo ni de una etapa aislada del proceso, sino la expresión final de una cadena de decisiones biológicas y técnicas que se extiende desde el cultivo hasta el acondicionamiento del fruto. La evidencia acumulada muestra que la variabilidad observada en aroma y aceptación sensorial surge de la interacción entre el potencial fisiológico del fruto, las

condiciones ambientales que lo moldean, el esquema de curado aplicado y el manejo postcosecha, a lo que se suma una dimensión biológica menos visible, asociada a la microbiota que acompaña el proceso.

Esta multiplicidad de factores explica por qué vainas provenientes de un mismo origen o sometidas a métodos aparentemente similares pueden diferir de manera notable en su perfil aromático. Comprender esa complejidad no solo permite interpretar la variabilidad, sino que constituye la base para avanzar hacia procesos más consistentes y técnicamente controlados.

a. Genética: un potencial que no actúa en solitario

En los estudios revisados, la genética suele mantenerse constante, trabajando con *Vanilla planifolia* y, en algunos casos, incluso con un mismo clon. Esta estrategia experimental ha permitido demostrar que una parte sustancial de la variabilidad aromática no puede atribuirse a diferencias genéticas, sino a factores asociados al manejo y al proceso (Xochipa-Morante et al., 2016; Luna-Guevara et al., 2016). La genética define un marco de posibilidades —un potencial aromático—, pero no garantiza por sí sola la calidad final cuando el material vegetal es homogéneo. En este sentido, la genética condiciona, pero no determina, el resultado del curado.

b. Ambiente: el contexto que moldea el punto de partida

El ambiente de cultivo influye de manera indirecta pero decisiva en la calidad aromática al condicionar el desarrollo del fruto y su estado fisiológico al momento de la cosecha. La humedad relativa y la radiación fotosintéticamente activa han demostrado afectar el

rendimiento, el tamaño y la sanidad de las vainas, factores que inciden sobre la disponibilidad de precursores aromáticos y la respuesta posterior al curado (Andrade-Andrade et al., 2023). Ambientes excesivamente húmedos o con sombreado intenso favorecen el estrés y la incidencia de enfermedades, generando frutos con mayor heterogeneidad y menor calidad física, limitaciones que rara vez pueden corregirse completamente durante el beneficiado.

A este entorno de cultivo se suma el ambiente de proceso durante el curado. La temperatura, la humedad relativa y la ventilación durante el sudado y el secado modifican la velocidad de transformación de los precursores y la estabilidad de los compuestos volátiles, introduciendo una fuente adicional de variabilidad que se refleja en el aroma final (Van Dyk et al., 2010; Luna-Guevara et al., 2016).

c. Estado de madurez: el umbral fisiológico del aroma

El estado de madurez al momento de la cosecha define el punto de partida del curado. Estudios sobre vainilla mexicana indican que el grado de madurez del fruto incide directamente en el perfil aromático final, al condicionar la disponibilidad de precursores y la respuesta del tejido vegetal durante las etapas iniciales del beneficiado. La madurez fisiológica, alcanzada aproximadamente a los nueve meses posteriores a la polinización, es reconocida por productores y beneficiadores como un factor crítico para el desarrollo adecuado del aroma durante el secado y acondicionamiento (Barrera Rodríguez et al., 2022)

Aunque este factor no siempre se evalúa como variable comparativa en los estudios experimentales, su control resulta indispensable, ya que desviaciones en el estado de madurez introducen una fuente de

variabilidad difícil de compensar posteriormente. En este contexto, el curado no crea el potencial aromático, sino que actúa sobre el que el fruto ya posee.

d. Tipo de curado: la arquitectura del proceso

El tipo de curado es uno de los factores más influyentes sobre la calidad aromática. Estudios comparativos han demostrado que variaciones en el marchitamiento, el killing, el sudado y el secado generan diferencias significativas tanto en la composición aromática como en la percepción sensorial del producto final (Van Dyk et al., 2010; Xochipa-Morante et al., 2016).

El marchitamiento, definido como un proceso gradual de pérdida de turgencia del fruto por exposición al sol o al aire, sin aplicación de tratamientos térmicos bruscos, ha sido históricamente utilizado como una estrategia para inducir el daño tisular inicial en la vaina. La literatura demuestra que distintos enfoques para provocar esta alteración estructural —ya sea mediante marchitamiento progresivo o tratamientos térmicos más directos (killing)— modifican la velocidad de hidrólisis de la glucovanillina y la dinámica de formación de vainillina, aun cuando la concentración final de este compuesto pueda resultar similar. Estas diferencias confirman que el curado no solo condiciona el resultado aromático final, sino también la estabilidad, reproducibilidad y el grado de control del proceso a lo largo del tiempo (Dignum et al., 2002; Xochipa-Morante et al., 2016).

Las tecnologías de intensificación aplicadas al killing, como el uso de microondas o ultrasonido, han demostrado que es posible acelerar la liberación de precursores y reducir de forma drástica la duración total

del curado. Sin embargo, estos enfoques presentan márgenes operativos estrechos: tratamientos excesivos inducen oxidaciones no deseadas e inactivación enzimática, con efectos negativos sobre la calidad aromática (Antonio-Gutiérrez et al., 2023). El tipo de curado, por tanto, debe entenderse como un equilibrio entre daño tisular suficiente y preservación de las condiciones necesarias para el desarrollo del aroma.

e. Cuidados postcosecha: decisiones que acumulan aroma

Los cuidados postcosecha abarcan un conjunto de prácticas cuya influencia se manifiesta de manera acumulativa. Operaciones como el despezonado, el lavado, el manejo del marchitado, la frecuencia del sudado, el control del secado y el almacenamiento intermedio han demostrado afectar la concentración de compuestos aromáticos clave (Xochipa-Morante et al., 2016). En particular, el lavado posterior al despezonado se ha asociado con reducciones en compuestos fenólicos del aroma, posiblemente por efectos de lixiviación y por la alteración del entorno biológico del fruto. Estos resultados evidencian que prácticas consideradas secundarias pueden tener consecuencias directas sobre la calidad final.

f. Microbiota asociada: una dimensión biológica del proceso

El curado tradicional de la vainilla implica una sucesión microbiana específica, seleccionada por las condiciones térmicas y de humedad del proceso. Tras el escaldado, predominan bacterias termo-tolerantes y termofílicas, principalmente del género *Bacillus*, mientras que hongos y levaduras desaparecen cuando las condiciones del proceso son adecuadas (Röling et al., 2001). Aunque no se demuestra de forma directa la producción de compuestos aromáticos por parte de estos

microorganismos, la evidencia indica que la microbiota modifica el entorno bioquímico del curado y contribuye a la variabilidad entre lotes. Desviaciones en temperatura o humedad favorecen el crecimiento microbiano indeseado, integrando el control de la microbiota como parte del manejo postcosecha.

g. Estudios comparativos sensoriales: la síntesis perceptual

Los estudios sensoriales comparativos confirman que la calidad aromática no puede predecirse de manera confiable a partir de un solo parámetro fisicoquímico. Evaluaciones sensoriales sobre vainillas beneficiadas bajo distintos esquemas muestran que variables como humedad, actividad de agua o textura no mantienen relaciones lineales con el perfil aromático percibido (Van Dyk et al., 2010; Luna-Guevara et al., 2016). Asimismo, se ha demostrado que esquemas de beneficiado similares pueden generar perfiles sensoriales distintos y que el origen geográfico por sí solo no explica dichas diferencias. La calidad aromática emerge, así, como una construcción integrada entre fisiología, proceso y percepción.

En conjunto, los factores que afectan la calidad aromática actúan de forma interdependiente. La genética define un potencial, el ambiente y la madurez condicionan el punto de partida, el tipo de curado y los cuidados postcosecha determinan la trayectoria del proceso, y la microbiota introduce una fuente adicional de variabilidad. Los estudios sensoriales confirman que la calidad final no es reducible a un único indicador, lo que refuerza la necesidad de enfoques integrales para el manejo y la estandarización del curado.

Tabla 10. Factores que afectan la calidad aromática de la vainilla y su nivel de influencia

Factor	Etapa donde actúa	Mecanismo principal	Impacto sobre el aroma
Genética (especie/quimiotipo)	Desarrollo del fruto	Diferencias en precursores y rutas bioquímicas	Define el potencial aromático de base
Ambiente de cultivo	Desarrollo del fruto	Modulación de metabolismo secundario	Afecta intensidad y balance aromático
Estado de madurez	Cosecha	Acumulación de glucovanillina	Condiciona el máximo aroma posible
Manejo postcosecha inicial	Precurado/killing	Ruptura tisular y actividad enzimática	Determina inicio y velocidad del proceso
Método de curado	Curado completo	Control de T, RH y tiempo	Define complejidad y perfil aromático
Cinética del proceso	Sudado-secado	Equilibrio entre reacción y pérdida	Afecta armonía y estabilidad del aroma
Microbiota asociada	Sudado/secado	Transformaciones secundarias	Puede favorecer o deteriorar el perfil

Almacenamiento final	Acondicionamiento	Oxidación lenta y estabilización	Modula persistencia y redondez aromática
-------------------------	-------------------	-------------------------------------	---

Nota: Síntesis de factores biológicos, ambientales y tecnológicos que condicionan la calidad aromática de la vainilla, elaborada a partir de la literatura revisada.

3.3 Métodos instrumentales

El análisis instrumental constituye el puente entre la complejidad química del aroma de la vainilla y su evaluación objetiva para fines científicos, técnicos y comerciales. A diferencia de la apreciación sensorial, los métodos instrumentales permiten identificar, cuantificar y comparar compuestos específicos, así como establecer patrones reproducibles entre lotes, métodos de curado y orígenes. Sin embargo, la literatura coincide en un punto fundamental: ningún método, por sí solo, captura la totalidad del aroma. Cada técnica observa una fracción distinta del sistema, condicionada por el principio analítico y, de manera crítica, por el método de preparación y extracción de la muestra.

3.3.1 Cromatografía de gases como eje del análisis aromático

La cromatografía de gases (GC), acoplada a detectores de ionización de llama (FID) o a espectrometría de masas (MS), se ha consolidado como el eje central para la caracterización instrumental del aroma de la vainilla. Su aplicación permite separar e identificar decenas a cientos de compuestos volátiles presentes en las vainas curadas, incluyendo aldehídos fenólicos, fenoles, ácidos orgánicos y derivados anisílicos (Adedeji et al., 1993; Dignum et al., 2002; Yeh et al., 2022).

El uso de GC-MS proporciona una identificación estructural confiable mediante la combinación de tiempos de retención, índices de retención y comparación espectral con bibliotecas, mientras que GC-FID ofrece una respuesta estable y reproducible para análisis semicuantitativos. Estos enfoques han demostrado ser especialmente útiles para comparar perfiles aromáticos entre especies, orígenes y esquemas de curado, así como para detectar cambios asociados a tratamientos térmicos o a variaciones en el proceso (Dignum et al., 2002; Brunschwig et al., 2009).

3.3.2 Métodos de extracción: el filtro del aroma observado

La literatura reciente ha puesto de relieve que el método de extracción no es un paso neutro, sino un filtro analítico que define qué fracción del aroma se observa instrumentalmente. Estudios comparativos han demostrado que diferentes técnicas de extracción conducen a perfiles aromáticos significativamente distintos aun cuando se analice la misma muestra (Yeh et al., 2022).

La microextracción en fase sólida en espacio de cabeza (HS-SPME) se caracteriza por su alta sensibilidad, rapidez y ausencia de solventes, favoreciendo la detección de monoterpenos, sesquiterpenos y compuestos de bajo peso molecular. En contraste, la destilación-extracción simultánea (SDE) permite una cobertura más amplia de compuestos, incluyendo fracciones menos volátiles, y facilita la cuantificación absoluta, aunque a costa de mayor complejidad operativa y posible degradación térmica. Las extracciones alcohólicas, por su parte, muestran una capacidad limitada para representar la diversidad aromática total y tienden a subestimar compuestos clave como la

vainillina cuando se comparan con técnicas cromatográficas específicas (Yeh et al., 2022).

Estos resultados confirman que no existe un método universalmente superior: la elección depende del objetivo analítico, ya sea exploratorio, comparativo o cuantitativo.

3.3.3 Desorción térmica directa y análisis sin solventes

Entre las técnicas alternativas, la desorción térmica directa acoplada a GC y GC-MS ha demostrado ser una herramienta eficaz para el análisis del aroma de vainas completas con mínima preparación de muestra. Este enfoque permite analizar matrices sólidas sin el uso de solventes, reduciendo interferencias y preservando la integridad del perfil volátil (Adedeji et al., 1993).

Su aplicación ha sido particularmente útil en estudios comparativos de variedades y orígenes, donde la consistencia metodológica y la rapidez del análisis resultan determinantes. No obstante, su carácter principalmente semicuantitativo exige cautela en la interpretación de concentraciones absolutas.

3.3.4 Cromatografía líquida y métodos normativos para compuestos fenólicos

Mientras que la cromatografía de gases domina el análisis de volátiles, la cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC) ocupa un lugar central en la cuantificación de compuestos fenólicos no volátiles o de baja volatilidad, en particular la vainillina y sus derivados. La Norma Técnica Mexicana NMX-FF-074-SCFI-2009 establece el HPLC como método de referencia oficial para la determinación de vainillina, ácido

vainílico y p-hidroxibenzaldehído, definiendo condiciones instrumentales, procedimientos de extracción y criterios de control de calidad aplicables a la clasificación comercial.

De manera complementaria, estudios científicos han empleado HPLC para comparar la variabilidad química entre especies y orígenes, integrando análisis multivariados que permiten diferenciar perfiles químicos más allá de la simple concentración de vainillina (Brunschwig et al., 2009). La espectrofotometría UV, incluida también en la norma como método alternativo, ofrece una opción más accesible, aunque menos específica y sensible que el HPLC.

3.3.5 Métodos electroquímicos como herramientas emergentes

En años recientes, se han explorado métodos electroquímicos como alternativa rápida y de bajo costo para la cuantificación de vainillina. La voltametría, aplicada mediante electrodos serigrafados modificados con nanotubos de carbono, ha demostrado límites de detección y cuantificación adecuados para extractos de vainilla natural, con procedimientos simples y potencial portabilidad (Chen et al., 2019).

Si bien estos métodos no sustituyen a las técnicas cromatográficas en la caracterización integral del aroma, representan una herramienta prometedora para el control rápido de calidad y la verificación de marcadores químicos específicos en contextos agroindustriales.

3.3.6 Integración de herramientas estadísticas

La complejidad de los datos generados por los métodos instrumentales ha impulsado el uso de herramientas estadísticas multivariadas, particularmente el análisis de componentes principales (PCA). Esta

aproximación permite visualizar patrones, agrupar muestras y diferenciar efectos asociados al método de curado, la especie o el origen, integrando múltiples variables químicas en una interpretación coherente (Dignum et al., 2002; Brunschwig et al., 2009), y continúa siendo ampliamente empleada en estudios recientes (Yeh et al., 2022).

El uso de PCA no reemplaza al análisis químico, pero facilita la comprensión de la variabilidad y refuerza la interpretación comparativa de los resultados instrumentales.

Los métodos instrumentales aplicados a la vainilla conforman un conjunto complementario de herramientas, cada una con alcances y limitaciones bien definidos. La cromatografía de gases y la cromatografía líquida constituyen el núcleo del análisis químico; los métodos de extracción determinan la fracción del aroma observada; las técnicas emergentes amplían las opciones de control; y los enfoques estadísticos integran la información generada. En conjunto, estos métodos no solo permiten describir la complejidad aromática de la vainilla, sino también avanzar hacia procesos de evaluación más consistentes y técnicamente fundamentados. En este sentido, el análisis instrumental no se limita a cuantificar compuestos aislados: también permite reconocer patrones composicionales comparables entre muestras, que constituyen la base para el estudio de quimiotipos y perfiles aromáticos, desarrollado en el siguiente apartado.

Tabla 11. Métodos instrumentales aplicados al análisis aromático de la vainilla

Técnica	Tipo de compuesto	Alcance principal	Limitación clave
GC (Cromatografía de gases)	Volátiles	Separación de compuestos aromáticos	No identifica estructuras químicas
GC-FID	Volátiles	Cuantificación reproducible	No aporta información estructural
GC-MS	Volátiles	Identificación y perfilado aromático	Sesgo hacia compuestos más volátiles
HS-SPME-GC-MS	Volátiles	Análisis sin solventes enfoque sensorial	Depende de condiciones de extracción
HPLC	No volátiles	Cuantificación de vainillina y precursores	No detecta aroma directamente
Desorción térmica directa	Volátiles	Captura rápida del perfil aromático	Posible degradación térmica

Nota: Principales técnicas instrumentales empleadas en el análisis químico del aroma de la vainilla, sus alcances analíticos y limitaciones, sintetizadas a partir de Dignum et al. (2002), Walton et al. (2003) y Zhang y Mueller (2012).

3.4 Quimiotipos y perfiles aromáticos

El concepto de quimiotipo se refiere a la expresión característica de metabolitos secundarios en una especie o población vegetal, determinada por la interacción entre la base genética y factores ambientales, tecnológicos y analíticos. En el género *Vanilla*, los

quimiotipos se manifiestan principalmente a través de perfiles aromáticos diferenciados, definidos por la composición relativa de compuestos fenólicos, aldehídos, alcoholes y ácidos aromáticos que se expresan y estabilizan durante el curado. La evidencia científica indica que estos perfiles no son uniformes ni universales: varían de forma significativa entre especies, orígenes, esquemas de beneficiado y abordajes analíticos.

Estudios comparativos han establecido con claridad la existencia de quimiotipos especie-específicos dentro de *Vanilla*. Brunshwig et al. (2009) demostraron que *Vanilla planifolia* y *Vanilla tahitensis* presentan composiciones químicas claramente diferenciables en vainas curadas, incluso cuando se cultivan y procesan bajo condiciones comparables. Mientras *V. planifolia* se caracteriza por un perfil dominado por la vainillina —que puede representar una fracción mayoritaria del total aromático— *V. tahitensis* exhibe un quimiotipo menos dependiente de este compuesto y con presencia marcada de compuestos anisílicos, responsables de notas florales y anisadas. Estos resultados confirman que la diferenciación aromática entre especies es tanto cuantitativa como cualitativa y no puede explicarse únicamente por variaciones en la concentración de vainillina.

La noción de quimiotipo se refuerza cuando el aroma se entiende como una firma multicomponente, más que como la suma de uno o dos compuestos mayoritarios. Adedeji et al. (1993) identificaron decenas de compuestos volátiles en vainas de diferentes variedades y orígenes, evidenciando que el carácter aromático final depende del equilibrio relativo entre aldehídos, fenoles, ácidos y compuestos heterocíclicos.

En este sentido, la vainillina, aunque central para el aroma clásico de la vainilla, resulta insuficiente por sí sola para definir un perfil aromático completo. La presencia y proporción de compuestos menores, con alta actividad odorante, desempeñan un papel determinante en la percepción sensorial y en la diferenciación de perfiles entre muestras.

Además de la base genética, el proceso de curado constituye un factor crítico en la expresión del quimiotipo. Xochipa-Morante et al. (2016) demostraron que, incluso trabajando con un mismo clon de *V. planifolia*, se obtienen perfiles aromáticos significativamente distintos cuando varían prácticas de beneficiado. Etapas como el marchitado y el lavado del fruto influyen en la concentración y relación entre compuestos clave, debido a su impacto sobre la actividad enzimática y el entorno microbiano asociado al proceso. En consecuencia, el quimiotipo final de la vainilla debe entenderse como una expresión dinámica, construida durante el curado, y no como un rasgo químico fijo determinado exclusivamente por la genética.

A esta complejidad se suma la influencia del método analítico empleado para la caracterización del aroma. Yeh et al. (2022) demostraron que diferentes técnicas de extracción conducen a perfiles aromáticos parciales o sesgados, ya que cada método favorece la detección de determinadas familias químicas. Técnicas como HS-SPME tienden a representar mejor el componente volátil asociado al aroma percibido, mientras que métodos como la destilación-extracción simultánea pueden ser más adecuados para aproximaciones cuantitativas de compuestos de mayor peso molecular. En consecuencia, la definición de quimiotipos aromáticos en vainilla debe considerar tanto la

composición química del material como las limitaciones y alcances del enfoque instrumental utilizado.

Desde una perspectiva evolutiva, la diversidad de quimiotipos dentro del género *Vanilla* encuentra sustento en su estructura filogenética. Karremans et al. (2020) demostraron que *Vanilla* está conformado por linajes bien diferenciados, con especies neotropicales que se separan del linaje domesticado de *V. planifolia*. Esta divergencia genética respalda la expectativa de rutas metabólicas secundarias diferenciadas y, por tanto, de perfiles aromáticos potencialmente propios en especies silvestres o poco estudiadas.

La evidencia disponible permite afirmar que los quimiotipos y perfiles aromáticos en la vainilla emergen de una interacción compleja entre filogenia, metabolismo secundario, prácticas de curado y metodología analítica. Este marco resulta particularmente relevante para especies amazónicas como *Vanilla odorata* (incluyendo poblaciones presentes en la Amazonía ecuatoriana), cuya posición filogenética diferenciada y escasa domesticación sugieren la posibilidad de expresar quimiotipos aromáticos propios, aún no plenamente caracterizados. Bajo este enfoque, la comparación con quimiotipos comerciales consolidados permite situar con mayor precisión a *V. odorata* dentro del panorama aromático del género, como se desarrolla en el siguiente apartado.

3.5 Posicionamiento de *Vanilla odorata* frente a los quimiotipos comerciales de referencia

La caracterización aromática y quimiotípica de la vainilla a nivel internacional se ha construido históricamente sobre dos especies que funcionan como modelos de referencia: *Vanilla planifolia* y *Vanilla*

tahitensis. La primera, ampliamente domesticada y estandarizada, representa el quimiotipo clásico dominado por la vainillina; la segunda, de menor volumen comercial, expresa un perfil aromático diferenciado, enriquecido por compuestos anisólicos y notas florales. Estos dos modelos han servido como base para el desarrollo de normas, métodos analíticos y criterios de calidad que estructuran la evaluación de la vainilla en contextos científicos y comerciales.

Sin embargo, la evidencia revisada en los apartados anteriores demuestra que estos quimiotipos no constituyen un patrón universal aplicable a todo el género *Vanilla*. Estudios comparativos confirman que, incluso entre *V. planifolia* y *V. tahitensis*, existen diferencias profundas en composición aromática, determinadas por la genética, el proceso de curado y el método analítico empleado (Adedeji et al., 1993; Brunshwig et al., 2009), como confirman estudios instrumentales recientes (Yeh et al., 2022). Esta variabilidad cuestiona la validez de extrapolar de manera directa criterios construidos a partir de estas especies hacia otras vainillas neotropicales menos estudiadas.

Desde una perspectiva filogenética, *Vanilla odorata* ocupa una posición diferenciada respecto al linaje altamente domesticado de *V. planifolia*. La revisión taxonómica y evolutiva del género realizada por Karremans et al. (2020) confirma que *V. odorata* pertenece a clados neotropicales con mayor divergencia genética, asociados a condiciones ecológicas distintas y a historias evolutivas independientes. Esta separación filogenética respalda la expectativa de rutas metabólicas secundarias diferenciadas y, por tanto, de perfiles aromáticos potencialmente propios.

A diferencia de *V. planifolia* y *V. tahitensis*, *V. odorata* no ha sido objeto de procesos intensivos de domesticación ni de estandarización tecnológica. Su desarrollo ocurre principalmente en contextos silvestres o seminaturales asociados a bosques húmedos neotropicales, incluyendo la Amazonía ecuatoriana, donde las condiciones ambientales y la interacción con microorganismos pueden diferir sustancialmente de aquellas presentes en sistemas productivos consolidados. En este escenario, el quimiotipo no debe concebirse como una réplica atenuada de los modelos comerciales existentes, sino como una expresión química emergente, sensible al manejo postcosecha y a las condiciones de curado.

La comparación conceptual con *V. planifolia* y *V. tahitensis* resulta útil, por tanto, no para establecer jerarquías de calidad, sino para definir las limitaciones de los marcos de evaluación actuales. Los criterios centrados en la concentración de vainillina, ampliamente utilizados para clasificar la calidad comercial, pueden resultar insuficientes para especies como *V. odorata*, cuyo valor aromático podría residir en el equilibrio relativo entre múltiples compuestos fenólicos y aromáticos, más que en la dominancia de un solo marcador químico. La literatura demuestra que perfiles aromáticos complejos pueden alcanzar alta calidad sensorial aun con concentraciones moderadas de vainillina, siempre que exista coherencia en la composición global del aroma (Adedeji et al., 1993; Xochipa-Morante et al., 2016).

En consecuencia, *V. planifolia* y *V. tahitensis* deben entenderse como referentes quimiotípicos: útiles para orientar la selección de métodos analíticos y la interpretación de resultados, pero no como moldes

normativos aplicables a todas las especies del género. El posicionamiento de *V. odorata* dentro del panorama aromático de la vainilla requiere un enfoque específico que integre su identidad filogenética, su respuesta particular al curado y la aplicación de metodologías instrumentales capaces de capturar la complejidad de su perfil químico.

En suma, el análisis comparativo con los quimiotipos comerciales consolidados permite situar a *V. odorata* no como una variante marginal de la vainilla clásica, sino como una especie nativa con potencial aromático diferenciado, cuyo estudio sistemático constituye una oportunidad científica y agroindustrial. Reconocer esta singularidad resulta esencial para avanzar hacia modelos de evaluación más inclusivos, que valoren la diversidad química del género *Vanilla* y abran nuevas posibilidades para la incorporación de especies amazónicas en esquemas productivos sostenibles y técnicamente fundamentados.

CAPÍTULO IV

4. INDUSTRIALIZACIÓN Y PROYECCIÓN

4.1 Cadena de valor de la vainilla en Ecuador: enfoques productivos y territoriales



Figura 10. Cadena de valor de la vainilla en Ecuador (enfoque funcional)

Nota: Representación esquemática de la cadena de valor de la vainilla en Ecuador, destacando el rol central del beneficiado en la generación de valor agregado.

La cadena de valor de la vainilla en Ecuador se caracteriza por su diversidad de enfoques productivos, territoriales y tecnológicos, reflejo de las condiciones ecológicas del país y de los distintos objetivos que persiguen los actores involucrados. A diferencia de otros cultivos agroindustriales, la vainilla no responde a un único modelo productivo ni a una trayectoria de desarrollo homogénea, sino que se estructura a partir de estrategias diferenciadas que coexisten y, en algunos casos, se superponen. Esta pluralidad exige un análisis que vaya más allá de los marcos normativos tradicionales y permita comprender la cadena desde una perspectiva técnica, territorial y económica integrada.

Desde el punto de vista de la cadena de valor, la vainilla presenta una estructura relativamente corta pero altamente especializada. El valor económico del producto no se genera principalmente en la producción primaria, sino en las etapas posteriores de beneficiado, transformación y acceso a mercados diferenciados. Este rasgo convierte a la vainilla en un cultivo donde la calidad, la estabilidad del suministro y la capacidad de gestión postcosecha resultan más determinantes que el volumen producido, condicionando de manera directa las decisiones técnicas a lo largo de toda la cadena. El análisis desarrollado en este apartado se apoya en la revisión de experiencias productivas documentadas en Ecuador, enfoques institucionales sobre desarrollo territorial y cadenas de valor, así como en la integración crítica de prácticas técnicas observadas en sistemas agroforestales y de manejo controlado (Quintana & Aguilar, 2020; Fundación Pachamama & GIZ, 2021).

4.1.1 Producción primaria y manejo del territorio

El primer eslabón de la cadena corresponde a la producción del fruto, que en Ecuador se desarrolla bajo dos grandes enfoques territoriales. En la Amazonía, la vainilla nativa (*Vanilla odorata*) se ha integrado tradicionalmente en sistemas agroforestales diversificados, donde convive con especies forestales, frutales y cultivos de subsistencia. Estos sistemas priorizan la integración ecológica, el aprovechamiento de especies nativas y la conservación del paisaje, y se articulan con estrategias de desarrollo territorial que buscan compatibilizar producción y sostenibilidad ambiental.

En contraste, fuera del ámbito amazónico, particularmente en regiones de la Costa y Amazonía, se han implementado sistemas productivos

más controlados, incluyendo el cultivo bajo invernadero. Estos esquemas responden a una lógica distinta, orientada al control de variables ambientales, la reducción de riesgos productivos y la estabilización del rendimiento. Ambos enfoques representan respuestas válidas a contextos territoriales diferentes y no deben entenderse como modelos excluyentes, sino como expresiones de una misma cadena productiva adaptada a realidades diversas.

4.1.2 Acopio y beneficiado: eje de la competitividad

El beneficiado constituye el eslabón central de la cadena de valor de la vainilla en Ecuador. Es en esta etapa donde la vaina verde, de bajo valor comercial, se transforma en un producto aromático estable y comercializable. La eficiencia y consistencia del beneficiado determinan en gran medida la competitividad del sistema, independientemente del modelo productivo adoptado en campo.

En contextos amazónicos, el beneficiado suele estar organizado de manera colectiva, a través de asociaciones de productores que asumen funciones de acopio, curado y comercialización. Este esquema permite reducir la dependencia de intermediarios, mejorar la trazabilidad y capturar una mayor proporción del valor generado. En sistemas más tecnificados, el beneficiado se integra con mayor frecuencia a la propia unidad productiva, lo que facilita el control de la calidad de la materia prima desde etapas tempranas. En ambos casos, la experiencia demuestra que la competitividad no depende exclusivamente del nivel de tecnificación, sino de la coherencia entre producción, postcosecha y mercado objetivo.

Tabla 12. Eslabones de la cadena de valor de la vainilla en Ecuador y funciones clave

Eslabón	Función principal	Actor predominante	Punto crítico de valor
Producción primaria	Producción del fruto verde	Productores rurales/asociaciones	Calidad fisiológica del fruto y madurez
Manejo postcosecha inicial	Conservación del potencial aromático	Productores/centros de acopio	Tiempo y manejo previo al beneficiado
Beneficio (curado)	Transformación aromática del fruto	Asociaciones/beneficiadores	Control de temperatura, humedad y tiempo
Acondicionamiento	Estabilización del aroma y calidad	Beneficiadores/acopiadores	Control de temperatura, humedad y tiempo
Transformación industrial	Obtención de extractos derivados	Empresas agroindustriales	Selección del método de extracción
Comercialización	Acceso a mercados diferenciadores	Exportadores/intermediarios	Trazabilidad, calidad y origen
Mercado final	Uso alimentario y aromático	Industria alimentaria y perfumería	Consistencia aromática del producto

Nota: Eslabones funcionales de la cadena de valor de la vainilla en Ecuador y su contribución relativa a la generación de valor agregado, elaborada a partir del análisis desarrollado en este capítulo.

4.1.3 Transformación y acceso a mercados

El siguiente eslabón corresponde a la transformación y comercialización de la vainilla beneficiada. En el mercado internacional, la vainilla ecuatoriana no compite por volumen, sino por diferenciación. El origen, la trazabilidad, el carácter nativo de ciertas especies y las prácticas de manejo asociadas al territorio constituyen atributos centrales de la propuesta de valor.

En este contexto, el enfoque de los Productos Forestales No Maderables (PFNM) ha contribuido a posicionar a la vainilla amazónica como un producto compatible con la conservación del bosque y el desarrollo local. Sin embargo, este enfoque representa solo una de las posibles lecturas de la cadena. Desde una perspectiva productiva, la capacidad de cumplir estándares de calidad, asegurar continuidad en el suministro y responder a las exigencias del mercado resulta igualmente determinante, independientemente del marco conceptual desde el cual se analice el sistema.

4.1.4 Asociatividad, gobernanza y organización de la cadena

La organización colectiva constituye un elemento clave en la cadena de valor de la vainilla, especialmente en territorios donde predominan pequeños productores. La asociatividad permite compartir infraestructura, estandarizar procesos, acceder a certificaciones y mejorar la capacidad de negociación frente al mercado. Más allá de su dimensión económica, la gobernanza de la cadena cumple una función

social relevante, al fortalecer el tejido organizativo y facilitar una distribución más equitativa de los beneficios.

No obstante, la experiencia muestra que la asociatividad no es un fin en sí mismo. Su efectividad depende de la claridad de los objetivos productivos, de la capacidad de gestión técnica y de la alineación entre los intereses de los productores y las exigencias del mercado. En ausencia de estos elementos, las estructuras asociativas pueden convertirse en un factor limitante más que en una ventaja competitiva.

4.1.5 Contraste entre sistemas agroforestales e invernaderos

El análisis comparativo de los sistemas agroforestales y los sistemas de cultivo bajo invernadero permite evidenciar las tensiones y complementariedades existentes en la cadena de valor de la vainilla en Ecuador. El enfoque agroforestal destaca por su coherencia territorial, su compatibilidad con la conservación y su contribución a la identidad del producto. En la práctica, presenta limitaciones operativas relacionadas con el menor control de variables ambientales, la mayor exposición a factores climáticos y los desafíos en el manejo sanitario.

Por su parte, el cultivo bajo invernadero ofrece ventajas técnicas claras en términos de control ambiental, reducción de pérdidas en la etapa de precosecha y mayor uniformidad del fruto. La experiencia técnica acumulada en sistemas de manejo tecnificado, con control de riego, humedad y sanidad vegetal, evidencia que este modelo favorece la estabilidad productiva y mejora la calidad de la materia prima que ingresa al proceso de beneficiado. Esta estabilidad inicial tiene efectos directos sobre la eficiencia de la postcosecha y la previsibilidad del proceso industrial.

Desde una perspectiva realista, la preferencia institucional por sistemas agroforestales responde a objetivos legítimos de conservación; sin embargo, en la práctica productiva, el invernadero se consolida como una herramienta eficaz para reducir riesgos y garantizar continuidad productiva. El desafío no radica en imponer un único modelo, sino en reconocer que distintos enfoques responden a objetivos distintos y que su articulación puede fortalecer la cadena en su conjunto.

Tabla 13. Comparación técnica entre sistemas agroforestales e invernadero en la producción de vainilla

Dimensión	Sistema agroforestal	Sistema invernadero	bajo
Control ambiental	Bajo a moderado; dependiendo del clima	Alto; temperatura, humedad y riesgo controlados	
Riesgo precosecha	Elevado; exposición a plagas, enfermedades y eventos climáticos	Reducido; mayor protección y monitoreo	
Uniformidad del fruto	Variable; alta heterogeneidad entre plantas	Alta; condiciones homogéneas de crecimiento	
Continuidad productiva	Estacional; subjetiva a variabilidad ambiental	Continua o planificada; mayor previsibilidad	
Coherencia territorial	Alta; integración con sistemas tradicionales y bosque	Media; requiere infraestructura e insumos	
Impacto en postcosecha	Variabilidad en tamaño y madurez del fruto	Frutos mas uniformes facilita el curado	

Nota: Comparación conceptual de sistemas productivos de vainilla según nivel de control técnico, estabilidad productiva y coherencia

territorial, basada en experiencias documentadas y análisis técnico del autor.

a. Síntesis: una cadena diversa con potencial estratégico

En conjunto, la cadena de valor de la vainilla en Ecuador se configura como un sistema diverso, en el que coexisten modelos productivos, territoriales y tecnológicos diferenciados. Esta diversidad no constituye una debilidad, sino una oportunidad para construir estrategias de desarrollo adaptadas a contextos específicos. En el caso de *Vanilla odorata*, su carácter nativo y su inserción territorial la posicionan como un recurso estratégico para la bioeconomía amazónica, siempre que su valorización se base en criterios técnicos, productivos y comerciales realistas.

La industrialización de la vainilla en Ecuador no debe orientarse hacia la estandarización masiva, sino hacia la consolidación de cadenas de valor diferenciadas, capaces de integrar sostenibilidad, eficiencia productiva y acceso a mercados. Bajo este enfoque, la coexistencia de sistemas agroforestales e intensivos no representa una contradicción, sino una vía complementaria para fortalecer la competitividad y resiliencia de la cadena de la vainilla a escala nacional.

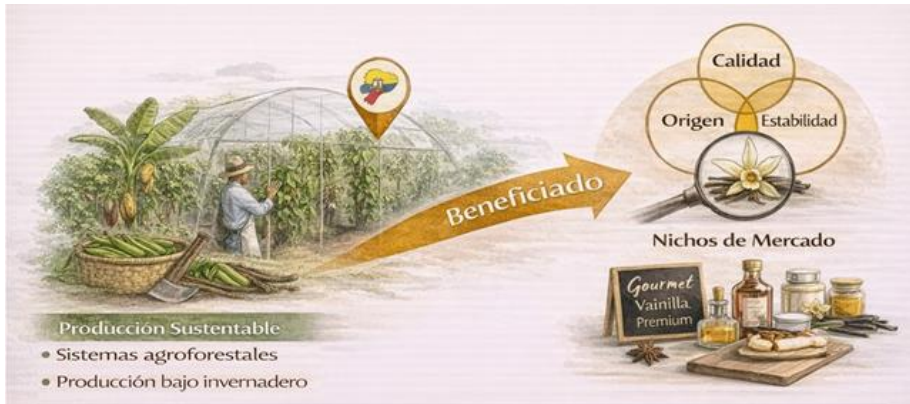


Figura 11. Posicionamiento productivo de la vainilla ecuatoriana

Nota: Esquema conceptual del posicionamiento productivo de la vainilla ecuatoriana, destacando el beneficiado como eje de generación de valor y su articulación con sistemas productivos y nichos de mercado diferenciados.

4.2 Productos industrializables: extractos, oleorresinas y aceites

La industrialización de la vainilla se fundamenta en la transformación de una matriz vegetal compleja en productos estables, concentrados y funcionales para distintos usos alimentarios, cosméticos y de fragancias. A diferencia de otras especias aromáticas, la vainilla no libera su aroma de forma directa a partir del tejido vegetal, sino que lo construye progresivamente durante el curado mediante transformaciones enzimáticas y oxidativas. Esta particularidad condiciona de manera decisiva el tipo de productos industrializables que pueden obtenerse y delimita, con claridad, las opciones tecnológicas viables.

Desde una perspectiva agroindustrial realista, los principales productos derivados de la vainilla corresponden a extractos hidroalcohólicos, extractos concentrados u oleorresinas y, de manera muy limitada,

productos erróneamente denominados “aceites”, cuya naturaleza difiere de los aceites esenciales clásicos. Cada uno de estos formatos responde a principios químicos distintos y cumple funciones específicas dentro de la cadena de valor.

4.2.1 Extractos de vainilla: base del aprovechamiento industrial

El extracto hidroalcohólico constituye el producto industrial más difundido y normativamente consolidado de la vainilla. Su obtención se basa en la maceración de vainas curadas en soluciones hidroalcohólicas, generalmente con concentraciones de etanol iguales o superiores al 35%, lo que permite solubilizar una amplia gama de compuestos aromáticos volátiles, semivolátiles y no volátiles. Este formato no solo responde a una tradición comercial, sino a una coherencia química entre solvente y matriz vegetal.

Diversos estudios han establecido que el extracto de vainilla natural no constituye una solución simple de vainillina, sino una mezcla compleja de aldehídos fenólicos, alcoholes aromáticos, ácidos orgánicos, ésteres y fracciones no volátiles de naturaleza polifenólica, cuya interacción conjunta es responsable del perfil aromático y sensorial característico de la vainilla (Adedeji et al., 1993; Cid-Pérez & López-Malo, 2011). La concentración relativa de estos compuestos depende tanto del método de extracción como de la calidad inicial de la vaina, la cual está directamente condicionada por el proceso de curado (Krishnakumar et al., 2007).

Desde el punto de vista industrial, el extracto presenta ventajas claras, como estabilidad, facilidad de formulación, compatibilidad con normativas alimentarias y potencial de estandarización. No obstante,

también muestra limitaciones inherentes al proceso, ya que los esquemas de extracción hidroalcohólica no permiten recuperar de manera íntegra la complejidad del perfil aromático de la vainilla. Asimismo, el incremento de la temperatura o del tiempo de extracción introduce compromisos entre rendimiento extractivo y fidelidad sensorial del aroma final (Cid-Pérez & López-Malo, 2011; Yeh et al., 2022). En este sentido, la industrialización no debe entenderse como un proceso de maximización indiscriminada, sino como una selección controlada de fracciones aromáticas funcionales.

4.2.2 Oleorresinas y extractos concentrados: intensificación del valor

Las oleorresinas y extractos concentrados representan una forma de intensificación del aprovechamiento aromático de la vainilla. Aunque el término “oleorresina” no siempre se utiliza de manera explícita en la literatura sobre vainilla, desde el punto de vista técnico describe matrices concentradas que integran compuestos volátiles, semivolátiles y fracciones resinosas no volátiles, obtenidas mediante extracciones más intensivas o mediante tecnologías como fluidos supercríticos.

Estos productos se caracterizan por una mayor densidad aromática y una menor dependencia del etanol como vehículo, lo que los hace especialmente atractivos para aplicaciones en perfumería fina y formulaciones especializadas. La extracción con CO₂ supercrítico, por ejemplo, permite obtener fracciones altamente selectivas, conocidas comercialmente como “absolutos”, cuyo uso se restringe a nichos de alto valor debido a su costo y complejidad tecnológica (et al., 2015; Yeh et al., 2022).

No obstante, la obtención de oleorresinas no elimina las limitaciones inherentes a la química de la vainilla. Estos productos siguen dependiendo de la disponibilidad inicial de compuestos aromáticos, determinada por el curado, y requieren un control riguroso para evitar perfiles desequilibrados o excesivamente pesados. Su valor no reside en reemplazar al extracto clásico, sino en complementar la oferta industrial con productos de mayor concentración y uso específico.

4.2.3 Aceites y el límite del concepto de “aceite esencial”

El uso del término “aceite esencial de vainilla” constituye una de las principales fuentes de confusión en el discurso técnico y comercial. Desde un punto de vista botánico y químico, la vainilla no se comporta como una planta aromática clásica productora de aceites esenciales. En las especies del género *Vanilla*, el aroma no está dominado por terpenos volátiles típicos de los aceites esenciales, sino por una matriz compleja de aldehídos fenólicos, ácidos aromáticos y compuestos derivados de glucósidos, cuya expresión depende de transformaciones enzimáticas y oxidativas durante el proceso de curado (Adedeji et al., 1993; Krishnakumar et al., 2007).

Los aceites esenciales, en sentido estricto, se definen como mezclas de compuestos volátiles de bajo peso molecular, localizados en estructuras secretoras especializadas y obtenidos principalmente mediante destilación por arrastre de vapor o métodos afines. Este tipo de productos es característico de plantas aromáticas como lavanda, menta o eucalipto, pero no representa adecuadamente la naturaleza química del aroma de la vainilla (Espinosa & Rocha Estrada, 2019).

La evidencia experimental confirma esta diferencia. Los intentos de aplicar destilación por vapor a vainas de vainilla generan perfiles aromáticos incompletos, con ausencia o recuperación marginal de vainillina y pérdida significativa de compuestos clave responsables del aroma característico. Como resultado, los productos obtenidos por este método no reproducen el perfil sensorial de la vainilla curada y presentan un valor aromático limitado (Yeh et al., 2022).

En la práctica, los productos comercializados como “aceite de vainilla” corresponden mayoritariamente a extractos hidroalcohólicos, oleorresinas diluidas o formulaciones aromáticas, y no a aceites esenciales en sentido técnico. Reconocer este límite conceptual resulta fundamental para evitar extrapolaciones erróneas y para orientar de manera adecuada las estrategias de industrialización, priorizando aquellos formatos que sean coherentes con la química y fisiología propias de la vainilla.

4.2.4 Control de calidad y verificación analítica

La viabilidad industrial de los productos derivados de la vainilla no depende únicamente de su obtención, sino también de la capacidad de verificar su calidad de manera rápida y confiable. En este contexto, la cuantificación de vainillina se mantiene como un indicador clave, aunque insuficiente por sí solo para describir la calidad total del producto.

Métodos analíticos accesibles, como la detección electroquímica de vainillina en extractos, ofrecen alternativas de bajo costo para el control rutinario y la diferenciación entre productos naturales y formulaciones sintéticas (Chen et al., 2019). Estas herramientas resultan especialmente

relevantes para cadenas de valor territoriales y sistemas de producción de pequeña y mediana escala, donde el acceso a infraestructura analítica compleja es limitado.

Tabla 14. Productos industrializables de la vainilla y su coherencia química

Producto	Principio de obtención	Tipo de compuestos predominantes	Uso principal	Limitación técnica
Extracto hidroalcohólico	Extracción solidolíquida en etanol-agua a partir de vainas curadas	Vainillina, compuestos fenólicos menores, fracción volátil soluble	Alimentos, bebidas, perfumería ligera	Variabilidad según materia prima y curado; estabilidad dependiente del solvente
Oleoresina/extracto concentrado	Concentración del extracto por evaporación parcial del solvente	Fenoles volátiles, vainillina concentrada, compuestos secundarios	Industria alimentaria formulaciones aromáticas	Perdida parcial de volátiles; mayor viscosidad y manejo técnico
“Aceite de vainilla” (no esencial)	Disolución o maceración en aceites vegetales o medios lipofílicos	Fracción aromática disuelta; ausencia de aceites esenciales verdaderos	Cosmética, aromaterapia comercial	Denominación técnicamente incorrecta; baja reproducibilidad química

Nota: Clasificación técnica de los principales productos derivados de la vainilla según su principio de obtención y coherencia con la química del aroma.

La industrialización de la vainilla se articula alrededor de productos que respetan la complejidad química del aroma y las particularidades fisiológicas del fruto. Los extractos hidroalcohólicos constituyen la base del aprovechamiento industrial; las oleorresinas y extractos concentrados permiten una valorización adicional en mercados especializados; y los llamados “aceites” deben entenderse con cautela, reconociendo sus límites técnicos.

Este enfoque resulta especialmente pertinente para especies nativas como *Vanilla odorata*, cuyo potencial aromático aún no ha sido plenamente caracterizado. Antes de explorar formatos industriales complejos, la prioridad debe centrarse en asegurar materia prima de alta calidad, procesos de curado consistentes y productos derivados coherentes con la naturaleza química del recurso. De este modo, la industrialización de la vainilla no se concibe como una simple transformación tecnológica, sino como una extensión lógica de su identidad biológica y territorial.

4.3 Retos y oportunidades

El desarrollo agroindustrial de la vainilla en Ecuador se sitúa en un escenario marcado por tensiones estructurales entre tradición, innovación, sostenibilidad y mercado. La evidencia técnica y las experiencias productivas analizadas muestran que los principales desafíos no se concentran en un solo eslabón de la cadena, sino que emergen de la interacción entre la base biológica del cultivo, las

condiciones productivas, la organización social y las exigencias del mercado internacional. En este contexto, los retos y oportunidades deben abordarse de manera integrada, evitando tanto el optimismo tecnológico acrítico como la idealización de modelos productivos únicos.

4.3.1 Retos estructurales y técnicos

Uno de los principales retos del cultivo de la vainilla es su alta complejidad biológica y operativa. La dependencia de la polinización manual, la sensibilidad del cultivo a las condiciones ambientales y la variabilidad en el rendimiento constituyen limitaciones persistentes que afectan la escalabilidad del sistema productivo (Sasikumar, 2010; Quintana & Aguilar, 2020). Estos factores incrementan los costos de producción y hacen que la eficiencia dependa en gran medida de la disponibilidad de mano de obra capacitada y de un manejo técnico cuidadoso.

A ello se suma una brecha significativa entre el conocimiento científico y su aplicación en campo. Aunque la investigación ha avanzado en la comprensión de los procesos bioquímicos del curado y de la formación del aroma, gran parte de este conocimiento no se ha traducido en tecnologías adoptables por los productores, manteniéndose la dependencia de esquemas tradicionales con altos niveles de variabilidad (Dignum et al., 2001). Esta desconexión limita la estandarización del producto y dificulta la construcción de una oferta consistente para mercados exigentes.

Desde el punto de vista organizativo, la debilidad de los esquemas asociativos representa otro desafío relevante. Estudios en contextos

latinoamericanos muestran que la falta de confianza interna, la escasa capacidad de gestión y la limitada articulación institucional reducen la competitividad de las cadenas de vainilla, aun cuando exista potencial productivo y demanda de mercado (Barrera-Rodríguez et al., 2016). Sin organización, la agregación de valor a través del beneficiado y la industrialización se vuelve frágil y dependiente de intermediarios.

Finalmente, persiste un reto conceptual importante: la confusión entre vainilla natural y vainillina sintética en el mercado. La competencia con productos artificiales de bajo costo y la simplificación del aroma a un solo compuesto generan presiones sobre el precio y obligan a los productores de vainilla natural a diferenciarse más allá del volumen, apostando por calidad, trazabilidad e identidad (Vijayalakshmi et al., 2019).

Tabla 15. Retos y oportunidades para la industrialización de la vainilla en Ecuador

Dimensión	Reto principal	Oportunidad asociada
Productiva	Baja uniformidad del fruto y limitada escala productiva	Implementación de sistemas productivos más controlados y selección dirigida de materia vegetal
Tecnología	Dependencia de métodos de curado empíricos y alta variabilidad del proceso	Adaptación y validación de procesos de curado controlados según condiciones locales
Calidad	Dificultad para estandarizar perfiles aromáticos y atributos comerciales	Diferenciación por calidad, origen y perfil sensorial en nichos especializados

Organizativa	Escasa articulación entre productores, beneficiarios y transformadores	Fortalecimiento de esquemas asociativos y gobernanza de la cadena de valor
Comercial	Acceso limitado a mercados especializados y baja agregación de valor local	Desarrollo de productos semi-industriales y estrategias de calor agregado en origen
Territorial	Riesgo de replicar modelos productivos no adaptados al contexto amazónico	Integración de la vainilla en sistemas agroforestales y economías territoriales sostenibles
Conocimiento	Brecha entre investigación científica y prácticas productivas	Transferencia tecnológica y construcción de conocimiento con actores locales

Nota: Síntesis de retos estructurales y oportunidades emergentes para el desarrollo agroindustrial de la vainilla en Ecuador.

4.3.2 Oportunidades para un desarrollo diferenciado

Frente a estos desafíos, emergen oportunidades claras que posicionan a la vainilla ecuatoriana —y en particular a especies nativas— como un recurso estratégico dentro de la bioeconomía. Una de las principales oportunidades radica en la valorización del aroma natural como una matriz compleja, no reproducible por sustitutos sintéticos. La evidencia demuestra que la vainilla natural mantiene un valor diferencial basado en su complejidad química y sensorial, lo que abre espacios en nichos de mercado especializados que privilegian autenticidad y origen (Dignum et al., 2001).

Otra oportunidad relevante se encuentra en la diversificación de productos. Como se analizó en el apartado anterior, los extractos y oleorresinas representan formatos industrializables coherentes con la química de la vainilla y accesibles a diferentes escalas productivas. Estos productos permiten ampliar la captura de valor sin depender exclusivamente de la comercialización de la vaina entera, reduciendo la vulnerabilidad frente a fluctuaciones de precio y calidad.

Desde una perspectiva territorial, Ecuador presenta la ventaja de contar con modelos productivos contrastados, desde sistemas agroforestales amazónicos hasta esquemas tecnificados bajo invernadero. Esta diversidad no debe interpretarse como una dicotomía excluyente, sino como una oportunidad para adaptar las estrategias productivas a contextos específicos, equilibrando sostenibilidad, control técnico y productividad (Quintana & Aguilar, 2020). Reconocer esta pluralidad permite avanzar hacia soluciones más realistas y menos normativas.

Finalmente, el potencial de las especies silvestres y nativas, como *Vanilla odorata*, constituye una oportunidad estratégica de largo plazo. La literatura en mejoramiento genético destaca que el germoplasma no domesticado puede aportar variabilidad, resiliencia y perfiles aromáticos diferenciados, siempre que su estudio y aprovechamiento se realicen de manera responsable (Sasikumar, 2010). En este sentido, la investigación aplicada orientada a especies nativas no solo amplía el conocimiento científico, sino que puede sentar las bases para propuestas productivas con identidad propia.

El futuro de la vainilla en Ecuador no depende de replicar modelos externos ni de imponer una única vía de desarrollo. Los retos

identificados exigen una mirada crítica que reconozca los límites biológicos, técnicos y organizativos del sistema, mientras que las oportunidades invitan a construir cadenas de valor diferenciadas, basadas en calidad, conocimiento y coherencia territorial. Más que acelerar la industrialización, el desafío consiste en hacerla pertinente, alineando ciencia, práctica productiva y mercado en torno a la singularidad de la vainilla y de los territorios donde se produce.

4.4 Aporte técnico–experimental: fundamentos para la adaptación del proceso de beneficiado

El análisis integrado de la literatura científica, de los procesos de beneficiado descritos y de la diversidad biológica del género *Vanilla* conduce a una consideración técnica de fondo: los esquemas de curado no pueden asumirse como universales ni completamente transferibles entre especies. A lo largo de este libro se ha mostrado que la formación del aroma en la vainilla depende de la fisiología del fruto, de la naturaleza de sus precursores y de la dinámica de transformación inducida por el proceso postcosecha, más que de la aplicación rígida de una secuencia operativa predeterminedada.

Diversos estudios han establecido que el curado constituye un proceso altamente dependiente de la estructura tisular y del metabolismo secundario de la vaina. En este sentido, la liberación y estabilización de los compuestos aromáticos no responde únicamente al cumplimiento de etapas formales, sino a la interacción entre daño tisular, actividad enzimática, condiciones ambientales y tiempo de proceso. Esta dependencia explica por qué un mismo esquema de beneficiado puede

generar resultados distintos cuando se aplica a frutos con características fisiológicas diferentes, aun dentro del mismo género botánico.

La literatura revisada refuerza esta idea desde múltiples enfoques. Se ha demostrado que el curado no es un procedimiento estandarizable de manera absoluta, sino un proceso sensible a la fisiología específica del fruto. Asimismo, se reconoce que las especies silvestres o con menor grado de domesticación no presentan necesariamente la misma respuesta al manejo postcosecha que aquellas sometidas a selección prolongada. A ello se suma la evidencia de que el método de beneficiado no solo permite expresar el aroma existente, sino que condiciona qué fracciones aromáticas emergen, se transforman o se pierden durante el proceso.

En este marco, la aplicación generalizada del método tradicional desarrollado para *Vanilla planifolia* como referencia casi exclusiva para el beneficiado de otras especies responde más a una lógica histórica que a una validación específica por especie. Este enfoque ha permitido avances importantes y ha sido fundamental para consolidar prácticas de curado funcionales; sin embargo, también ha generado una cierta inercia tecnológica, donde la mejora del proceso se concibe como ajuste marginal, más que como adaptación estructural.

El caso de *Vanilla odorata* resulta particularmente ilustrativo. La evidencia disponible indica que esta especie posee un potencial organoléptico propio, expresado en perfiles aromáticos complejos que no se explican únicamente por los parámetros clásicos utilizados para evaluar la vainilla comercial. Esta singularidad sugiere que la aplicación de esquemas de beneficiado diseñados para otra especie

podría no estar optimizando la expresión completa de su calidad aromática, aun cuando los resultados obtenidos sean aceptables desde un punto de vista comercial.

Desde esta perspectiva, el aporte técnico–experimental que se propone no consiste en cuestionar los saberes acumulados ni en desestimar la experiencia de productores y beneficiadores que han logrado resultados positivos con los métodos existentes. Por el contrario, parte del reconocimiento de que el conocimiento empírico y la práctica sostenida han sido esenciales para el desarrollo del sector. El planteamiento central es que ese mismo conocimiento constituye una base sólida para avanzar hacia procesos mejorados, siempre que se mantenga una actitud abierta a la adaptación y a la validación técnica.

En consecuencia, este apartado plantea como línea prioritaria la necesidad de explorar, adaptar y eventualmente desarrollar esquemas de beneficiado específicos para *Vanilla odorata*, construidos a partir de su fisiología, su respuesta al estrés térmico e hídrico y su perfil químico característico. Este llamado no se formula como una exigencia normativa, sino como una invitación técnica dirigida tanto a investigadores como a productores y beneficiadores, orientada a enriquecer las prácticas existentes mediante procesos de mejora continua fundamentados en la ciencia y en la experiencia acumulada.



Figura 12. Marco conceptual para la adaptación del proceso de beneficiado en el género *Vanilla*

Nota: Esquema conceptual que integra daño tisular, actividad enzimática, condiciones ambientales y tiempo de proceso como determinantes del perfil aromático final en especies del género *Vanilla*.

RECOMENDACIONES FINALES

El análisis desarrollado a lo largo de este libro permite formular un conjunto de recomendaciones orientadas a fortalecer el desarrollo técnico, productivo y científico de la vainilla en Ecuador, con especial énfasis en especies nativas como *Vanilla odorata*. Estas recomendaciones no constituyen prescripciones rígidas, sino líneas de acción fundamentadas en la evidencia científica, la práctica productiva y la necesidad de mejora continua en un sistema caracterizado por su complejidad biológica y tecnológica.

1) Avanzar hacia la adaptación de esquemas de beneficiado específicos por especie

Promover investigaciones aplicadas orientadas a evaluar la respuesta de *Vanilla odorata* a variaciones controladas en las etapas del curado, considerando su fisiología, la dinámica de sus precursores aromáticos y su comportamiento durante el secado y acondicionamiento. La replicación directa de esquemas desarrollados para *V. planifolia* ha sido

funcional, pero no necesariamente óptima para maximizar el potencial aromático de especies nativas.

2) Integrar la investigación científica con la experiencia de productores y beneficiadores

Los procesos de mejora del beneficiado deben construirse de manera colaborativa, reconociendo el conocimiento empírico acumulado por quienes han trabajado históricamente con la vainilla. La validación técnica de nuevas propuestas resulta más sólida cuando articula ciencia, experiencia de campo y condiciones reales de operación, evitando enfoques exclusivamente experimentales o tradicionales.

3) Priorizar la calidad aromática integral sobre indicadores únicos

Es importante que los criterios de evaluación de la vainilla, tanto en investigación como en comercialización, trasciendan la concentración de vainillina como único parámetro de calidad. La valoración del perfil aromático completo, incluyendo compuestos secundarios y atributos sensoriales, resulta especialmente relevante para especies como *V. odorata*, cuyo valor puede residir en su complejidad organoléptica diferenciada.

4) Fortalecer el control de la calidad de la materia prima desde el sistema de cultivo

Las estrategias de mejora del beneficiado deben ir acompañadas de un manejo agronómico que garantice homogeneidad y sanidad del fruto cosechado. En este sentido, se recomienda evaluar y fortalecer sistemas productivos que permitan mayor control de variables ambientales,

reduciendo la variabilidad precosecha que condiciona el éxito del proceso postcosecha.

5) Fomentar la diversificación de productos coherentes con la naturaleza química de la vainilla

Priorizar el desarrollo de extractos y oleorresinas como formatos de industrialización compatibles con la química del aroma de la vainilla, evitando extrapolaciones conceptuales como la producción de aceites esenciales en sentido estricto. Esta diversificación puede ampliar la captura de valor y reducir la dependencia de un único formato comercial.

6) Orientar políticas y programas de apoyo hacia la innovación técnica contextualizada

Las iniciativas institucionales deberían promover procesos de innovación adaptados a las especies, territorios y capacidades locales, más que la adopción de modelos únicos. En el caso de la vainilla nativa, el apoyo a investigación aplicada, validación de procesos y formación técnica especializada constituye una inversión estratégica para la consolidación de cadenas de valor diferenciadas y sostenibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adedeji, O. S., Olatoye, O. J., & Oladipo, M. O. (1993). Chemical composition of vanilla flavour extracts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 63(2), 213–218.
- Ahmad, H., Khera, R. A., Hanif, M. A., Ayub, M. A., & Jilani, M. I. (2020).
Vanilla. En *Medicinal Plants of South Asia* (Cap. 48, pp. 657–667). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102659-5.00048-3>
- Andrade-Andrade, G., Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B. E., Bustamante-González, A., Soto-Hernández, R. M., & Guízar-González, C. (2023). Humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa influyen en el rendimiento de fruto de *Vanilla planifolia*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26, Article 020. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4177>
- Antonio-Gutiérrez, O., Pacheco-Reyes, I., Lagunez-Rivera, L., Solano, R., Cañizares-Macías, M. d. P., & Vilarem, G. (2023). Effect of microwave and ultrasound during the killing stage of the curing process of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) pods. *Foods*, 12(3), 469. <https://doi.org/10.3390/foods12030469>
- Barrera-Rodríguez, A. I., Espejel-García, A., & Herrera-Cabrera, B. E. (2016). La asociatividad de productores de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) como estrategia productiva y comercial. *Agroproductividad*, Suplemento noviembre, 39–40.

- Barrera Rodríguez, A. I., Espejel, A., Pérez, M. G., & Ramírez García, A. G. (2022). Atributos tangibles e intangibles y diferenciación sensorial de la vainilla mexicana. *Polibotánica*, (54), 241–255. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.54.15>
- Brunschwig, C., Duponchel, L., Kone, M. C., & Fernandez, X. (2016). Tahitian vanilla (*Vanilla ×tahitensis*): A vanilla species with unique features. En R. K. Gupta (Ed.), *Vanilla: Cultivation, curing, chemistry and health benefits* (pp. 1–24). InTech.
- Brunschwig, C., Senger-Emonnot, P., Aubanel, M. L., Pierrat, A., & Fernandez, X. (2009). Evaluation of chemical variability of cured vanilla beans (*Vanilla tahitensis* and *Vanilla planifolia*). *Natural Product Communications*, 4(10), 1393–1398.
- Cid-Pérez, T. S., & López-Malo, A. (2011). Extractos de vainilla: Una mezcla de componentes químicos de aroma y sabor. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 5(1), 51–63
- Chen, L., Chaisiwamongkhol, K., Chen, Y., & Compton, R. G. (2019). Rapid electrochemical detection of vanillin in natural vanilla. *Electroanalysis*, 31(1), 1–9. <https://doi.org/10.1002/elan.201900037>
- Chiron, G., Sambin, A., & Krahl, A. H. (2021). *Taxonomic notes on Vanilla odorata, Vanilla fimbriata and related species (Orchidaceae)*. *Richardiana*, 5, 76–115.
- Dignum, M. J. W., Kerler, J., & Verpoorte, R. (2001). Vanilla production: Technological, chemical, and biosynthetic aspects.

Food Reviews International, 17(2), 119–120.
<https://doi.org/10.1081/FRI-100000269>

Dignum, M. J. W., Kerler, J., & Verpoorte, R. (2002). Vanilla curing under laboratory conditions. *Food Chemistry*, 79(2), 165–171. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00125-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00125-5)

Espinosa, M., & Rocha Estrada, M. (2019). Evaluación del proceso de beneficiado de vainilla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 845–856.

Fundación Pachamama & GIZ. (2021). *Guía para el manejo de la vainilla amazónica: Sistema chakra*. GITEC.

Gatfield, I., Hilmer, J.-M., Weber, B., Hammerschmidt, F., Reiß, I., Poutot, G., Bertram, H.-J., & Meier, D. (2007). Chemical and biochemical changes occurring during the traditional Madagascan vanilla curing process: Effects on the sensory qualities of cured beans. *Perfumer & Flavorist*, 32(7), 20–28.

Havkin-Frenkel, D., & Frenkel, C. (2006). Postharvest handling and storage of cured vanilla beans. *Stewart Postharvest Review*, 2(4), 1–9.

Herrera-Cabrera, B. E., Salgado Garciglia, R., Ocaño Higuera, V. M., Barrales-Cureño, H. J., Delgado Alvarado, A., Montiel-Montoya, J., Diaz-Bautista, M., Almorin Albino, R., & Reyes, C. (2022). Producción y caracterización de vainilla (*Vanilla planifolia*) en función de la concentración de vainillina. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 9(2), 47–62.

- Heryanto, R., Hadipoentyanti, E., Wahyuni, S., & Udarno, L. (2023). Morphological characters and yields of five *Vanilla (Vanilla planifolia Andrews)* clones in Bali. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1255(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1255/1/012014>
- Karremans, A. P., Chinchilla, I. F., Rojas-Alvarado, G., Cedeño-Fonseca, M., Damián, A., & Léotard, G. (2020). A reappraisal of Neotropical *Vanilla*, with a note on taxonomic inflation and the importance of alpha taxonomy in biological studies. *Lankesteriana*, 20(3), 395–497. <https://doi.org/10.15517/lank.v20i3.45203>
- Karremans, A. P., Bogarín, D., Fernández Otarola, M., Sharma, J., Watteyn, C., Warner, J., Rodríguez Herrera, B., Carman, E., Rojas Valerio, E., Pillco Huarcaya, R., & Whitworth, A. (2023). *First evidence for multimodal animal seed dispersal in orchids*. *Current Biology*, 33(2), 364–371. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.11.041>
- Kelso Bucio, H. A., Reyes López, D., Cruz Palacios, M. I., Villegas Rodríguez, I., Rodríguez Morales, B., Pascual Ramírez, F., Mamadou Bâ, K., Magaña Hernández, F., & Huerta Gómez, I. (2013). Beneficiado semi-mecanizado de vainilla. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(Número especial), 38–40.
- Krishnakumar, V., Bindumol, G. P., Potty, S. N., & Govindaraju, C. (2007). Processing of vanilla (*Vanilla planifolia Andrews*) beans - Influence of storing fresh beans, killing temperature and

duration of killing on quality parameters. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 16(1), 31–37.

Luna-Guevara, J. J., Luna-Guevara, M. L., Amador-Espejo, G. G., Herrera-Cabrera, B. E., Arévalo-Galarza, M. L., & Ruiz-Espinosa, H. (2016). Caracterización fisicoquímica y sensorial de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews con diferentes esquemas de beneficiado. *Agroproductividad*, 9(1), 34–40.

Ndoye, B., & Sarr, M. (2006). Drying of vanilla using batch tray dryers. *Drying Technology*, 24(11), 1387–1396. <https://doi.org/10.1080/07373930600952487>

NMX-FF-074-SCFI-2009. (2009). *Productos no industrializados para uso humano—Vainilla—Especificaciones y métodos de prueba*. Secretaría de Economía, México.

Pardio, V. T., Mariezcurrena, M. D., Waliszewski, K. N., Sánchez, V., & Janczur, M. K. (2009). Effects of killing conditions of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) pods during the curing process on aroma composition of pod ethanol extract. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 2417–2423. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01944.x>

Pérez-Silva, A., Nicolás-García, M., Petit, T., Dijoux, J. B., Vivar-Vera, M. de los Á., Besse, P., & Grisoni, M. (2021). Quantification of the aromatic potential of ripe fruit of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) and several of its closely and distantly related

species and hybrids. *European Food Research and Technology*, 247, 1489–1499. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03726-w>

Quintana, M., & Aguilar, J. (2020). Desarrollo de cultivos sostenibles de vainilla en Ecuador. *Revista de Investigación Talentos*, 7(1), 71–79. <https://doi.org/10.33789/talentos.7.1.123>

Röling, W. F. M., Kerler, J., Braster, M., Apriyantono, A., Stam, H., & van Verseveld, H. W. (2001). Microorganisms with a taste for vanilla: Microbial ecology of traditional Indonesian vanilla curing. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(5), 1995–2003. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.5.1995-2003.2001>

Sánchez-Galindo, M., Arévalo-Galarza, M. L., Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B. E., & Osorio-García, C. (2018). Quality of green and cured vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) fruit in relation to its age at harvest. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 24(3), 203–213. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.02.004>

Sasikumar, B. (2010). Vanilla breeding: A review. *Agricultural Research Communication Centre*, 31(2), 139–144.

Soto Arenas, M. A., & Cribb, P. (2010). A new infrageneric classification and synopsis of the genus *Vanilla* Plum. ex Mill. (*Orchidaceae: Vanillinae*). *Lankesteriana*, 9(3), 355–398.

Shigeto, A., Nurasti, E. N., Sugiarto, A., Togawa, M., & Kumazawa, K. (2017). The influence of harvest maturity on the aroma quality of vanilla. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi (Journal of*

the Japanese Society for Food Science and Technology), 64(10), 502–506. <https://doi.org/10.3136/nskkk.64.502>

Teoh, E. (2019). The story of vanilla. En *Orchids as aphrodisiac, medicine or food*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18255-7_7

Van Dyk, S., McGlasson, W. B., Williams, M., & Gair, C. (2010). Influence of curing procedures on sensory quality of vanilla beans. *Fruits*, 65(6), 387–399. <https://doi.org/10.1051/fruits/2010033>

Vijayalakshmi, S., Disalva, X., Srivastava, C., & Arun, A. (2019). Vanilla – natural vs artificial: A review. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 12(6), 3068–3072. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2019.00520.1>

Walton, N. J., Mayer, M. J., & Narbad, A. (2003). Vanillin. *Phytochemistry*, 63(5), 505–515. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00149-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00149-3)

Warji, W., Tamrin, T., Kuncoro, S., Lanya, B., & Muzaqi, H. (2023). Drying vanilla using a hybrid dryer. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 12(1), 212–222. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v12i1.212-222>

Waris, A. (2014). Design of prototype dual-purposed vanilla drying-fermentation machine. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(9), 154–157.

- Xochipa-Morante, R. C., Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B. E., Escobedo-Garrido, J. S., & Arévalo-Galarza, L. (2016). Influencia del proceso de beneficiado tradicional mexicano en los compuestos del aroma de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *Agroproductividad*, 9(1), 55–62.
- Yeh, C.-H., Chou, C.-Y., Wu, C.-S., Chu, L.-P., Huang, W.-J., & Chen, H.-C. (2022). Effects of different extraction methods on vanilla aroma. *Molecules*, 27(14), 4593. <https://doi.org/10.3390/molecules27144593>
- Zhang, Y., & Mueller, C. (2012). Comparative aroma analysis of vanilla species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(47), 11833–11841.

Agradecimiento

A Dios, fuente de vida, orden y sentido, por la fortaleza concedida para culminar este trabajo y por permitir que el conocimiento se construya con disciplina, paciencia y propósito.

A mi familia, por el apoyo constante, la comprensión y el acompañamiento silencioso a lo largo de este proceso académico, que hizo posible sostener el esfuerzo requerido para desarrollar esta obra



Vainilla Biología, aroma y beneficiado, se publicó en el mes de febrero de 2026.

ISBN: 978-9907-802-01-6

Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
[https://grupobl.com/](https://grupobl.com/publicaciones@grupobl.com)
publicaciones@grupobl.com

BIOGRAFÍA DEL AUTOR

Denis Viterbo Moncayo Palchisaca:

Denis Viterbo Moncayo Palchisaca es investigador y consultor ecuatoriano vinculado al ámbito agroindustrial y al estudio de sistemas productivos sostenibles, con especial interés en cultivos de alto valor y origen amazónico.

Ingeniero en Industrias Pecuarias y Magíster en Agroindustria con mención en Gestión de la Calidad y Seguridad Alimentaria, ha desarrollado su formación y experiencia en el análisis de procesos productivos, calidad alimentaria y valorización de recursos naturales.

Su trabajo se ha orientado a la investigación aplicada y al acompañamiento técnico de iniciativas productivas en contextos rurales, integrando criterios de sostenibilidad, conocimiento científico y saberes locales.

En los últimos años ha profundizado en el estudio de la vainilla amazónica, abordando aspectos relacionados con su producción, manejo postcosecha y potencial agroindustrial.

El autor se encuentra actualmente incursionando en el campo de la consultoría agroindustrial, con interés en el fortalecimiento de cadenas de valor y el desarrollo de modelos productivos viables y responsables.

Esta obra constituye su trabajo de carácter científico-divulgativo, orientado a contribuir a la comprensión y valorización de la vainilla como recurso estratégico para el desarrollo local y la agroindustria sostenible.

VAINILLA, BIOLOGÍA, AROMA Y BENEFICIADO

Estimado lector, la vainilla es uno de los productos aromáticos más valorados del mundo, pero su calidad no depende únicamente del cultivo, sino de los complejos procesos que transforman el fruto después de la cosecha. Este libro aborda la vainilla desde una perspectiva científica y técnica, analizando cómo la fisiología del fruto, la actividad enzimática y las condiciones de curado determinan la expresión final del aroma.

A partir del análisis de la literatura especializada y de la diversidad biológica del género *Vanilla*, la obra cuestiona la aplicación universal de los métodos tradicionales de beneficiado y propone una mirada crítica sobre su transferencia entre especies. En particular, se pone énfasis en el contexto de la Amazonía ecuatoriana y en el potencial de especies nativas como *Vanilla odorata*, cuya singularidad aromática plantea nuevos desafíos y oportunidades. Dirigido a investigadores, estudiantes y actores del sector productivo, este libro ofrece fundamentos para comprender y adaptar los procesos de beneficiado, promoviendo una aproximación basada en la ciencia, la experiencia y la mejora continua.

Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
[https://grupobl.com/
publicaciones@grupobl.com](https://grupobl.com/publicaciones@grupobl.com)



ISBN: 978-9907-802-01-6



9 789907 802016