



Universidad Católica de Santa María

**Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y
Biotecnológicas**

Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica

**Uso de fertilizantes de origen biológico y químico en la calidad postcosecha
de limón variedad Tahití (*Citrus latifolia*)**

Tesis presentada por:

Martinez Candia, Vyctoria Luz

ORCID: 0009-0006-7083-5195

para optar el Título Profesional de Ingeniera Biotecnóloga

Asesor:

Mg. Johnson Corrales, Fabrizio

ORCID: 0000-0002-5942-3177

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA BIOTECNOLOGICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 25 de Junio del 2026

Dictamen: 015116-C-EPIB-2026

Visto el borrador del expediente 015116, presentado por:

2020244692 - MARTINEZ CANDIA VYCTORIA LUZ

Titulado:

**USO DE FERTILIZANTES DE ORIGEN BIOLÓGICO Y QUÍMICO EN LA CALIDAD POSTCOSECHA
DE LIMÓN VARIEDAD TAHITÍ (CITRUS LATIFOLIA)**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO BIOTECNOLOGO

**42098888 - CORDOVA BARRIOS CINTHIA CAROL
DICTAMINADOR**



**44810251 - TERAN HILARES RULY
DICTAMINADOR**



**47604629 - TEJADA MEZA KEVIN
DICTAMINADOR**



USO DE FERTILIZANTES DE ORIGEN BIOLÓGICO Y QUÍMICO EN LA CALIDAD POSTCOSECHA DE L VARIEDAD TAHITÍ (CITRUS LATIFOLIA)

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS

1 img1.wsimg.com

Fuente de Internet

2 editorial.agrosavia.co

Fuente de Internet

3 laccei.org

Fuente de Internet

4 www.techscience.com

Fuente de Internet

5 sci-platform.org

Fuente de Internet

6 innovacionumh.es

Fuente de Internet

Excluir citas
Excluir bibliografía

Apagado
Apagado

Excluir coincidencias

< 1%

Dedicatoria

A mis padres, quienes siempre están a mi lado y cuidan de mí con amor.



Agradecimientos

A Dios Padre, Hijo y Espíritu Santo.

A mis padres por motivarme e impulsarme a cumplir mis metas.

A mis asesores, por su compromiso, confianza y tiempo durante esta etapa; y a todas las personas que contribuyeron al desarrollo de este trabajo, gracias por compartir sus conocimientos y experiencias. En particular, agradezco a la Dra. Claudia Montoya por brindarme la oportunidad de participar en el proyecto de investigación del que surgió esta tesis.



RESUMEN

El limón Tahití (*Citrus latifolia*) es un cultivo estratégico y de alto valor económico en las exportaciones de Sudamérica. Su creciente demanda aumenta la competitividad y exige estándares estrictos de calidad, lo que resalta la necesidad de implementar tecnologías que permitan enfrentar los desafíos de su producción. Este estudio identificó tendencias y vacíos de investigación en limón Tahití y evaluó el efecto de tratamientos con fertilizantes biológicos y químicos, en su vida útil postcosecha. El análisis bibliométrico identificó que las investigaciones recientes se enfocan en el manejo fitosanitario (tendencia 1), y el rendimiento y calidad poscosecha (tendencia 2). Asimismo, aunque diversos estudios reportaron efectos positivos de los fertilizantes biológicos y minerales sobre la calidad del fruto en cosecha, existe información limitada respecto a su influencia en la conservación de dicha calidad en poscosecha. El análisis experimental identificó un efecto diferencial de los frutos provenientes del tratamiento 1: Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, respecto a la oleocelosis desde el día 7 al 21, con valores de incidencia del 45.61% a 63.15% y un índice de severidad de 0.45 a 0.63, menores al control. En contraste, el tratamiento con Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo (T2) presentó mayor susceptibilidad y/o similares al control durante los 35 días de almacenamiento, alcanzando incidencias del 94.73% y un índice de severidad de 1.01. Por otro lado, las variables físicas no mostraron efectos significativos atribuibles a los tratamientos (p valor > 0.05) durante la poscosecha. T1 y T2 alteraron la acidez titulable y el pH iniciales; al final del almacenamiento, T1 mostró mayor acidez (9.04%) y ambos tratamientos registraron mayor pérdida de peso (10.92%-T1 y 11.45%-T2). En conclusión, los fertilizantes reportaron una calidad de fruto similares al control, conservando mejor el diámetro y firmeza hasta el día 35. Además, podrían retrasar el deterioro fisiológico del fruto.

Palabras claves: Bibliometría, *Citrus latifolia*, vida útil.

ABSTRACT

Tahiti lime (*Citrus latifolia*) is a high-value export crop in South America, where increasing market demands require technologies that improve fruit quality and postharvest performance. This study identified research trends and gaps in Tahiti lime and evaluated the effects of biological and chemical fertilizers on postharvest shelf life. Bibliometric analysis showed that recent studies mainly focus on phytosanitary management, fruit yield, and postharvest quality. However, limited information is available on the effects of biological and mineral fertilizers during postharvest storage. Fruits from Treatment 1 (Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo, and Polysulphate®) showed lower oleocellosis incidence (45.61–63.15%) and severity (0.45–0.63) than the control between days 7 and 21 of storage. In contrast, Treatment 2 (Basfoliar® Calcio and Basfoliar® Rhizo) exhibited susceptibility similar to or greater than the control, reaching 94.73% incidence and a severity index of 1.01 after 35 days. No significant treatment effects were observed on physical quality attributes ($p > 0.05$). However, T1 and T2 modified initial titratable acidity and pH. At the end of storage, T1 showed higher titratable acidity (9.04%), while both treatments exhibited greater weight loss than the control. Overall, fertilizer treatments maintained fruit quality comparable to the control, preserved diameter and firmness during storage, and may contribute to delaying physiological deterioration.

Key words: Bibliometrics, *Citrus latifolia*, shelf life.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria

Agradecimientos

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN..... 1

HIPÓTESIS 4

OBJETIVOS..... 4

CAPITULO I 5

1. MARCO TEÓRICO 5

1.1. Limón Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) 5

1.1.1. Clasificación taxonómica 5

1.1.2. Origen y distribución del cultivo de Limón Tahití..... 5

1.1.3. Valor nutricional 6

1.1.4. Etapa de cultivo..... 7

1.1.4.1. Condiciones de cultivo..... 7

1.1.4.2. Índices de cosecha..... 8

1.1.4.3. Plagas en campo..... 8

1.1.5. Etapa postcosecha..... 9

1.1.5.1. Normas de calidad para la exportación 9

1.1.5.2. Enfermedades poscosecha..... 10

1.1.5.3. Fisiopatías 10

1.1.5.3.1. Chilling injury (CI) 10

1.1.5.3.2. Oleocelosis.....	11
1.2. Fertilizantes de origen biológico y químico	12
1.3. Análisis bibliométrico.....	13
CAPÍTULO II.....	15
2. MATERIALES Y MÉTODOS	15
2.1. Análisis bibliométrico.....	15
2.1.1. Mapeo científico.....	16
2.1.2. Construcción de la red de conocimiento	17
2.2. Análisis experimental	17
2.2.1. Lugar de ejecución	17
2.2.2. Materiales	18
2.2.2.1. Aparatos y equipos.....	18
2.2.2.2. Reactivos.....	19
2.2.2.3. Insumos	19
2.2.2.4. Material de laboratorio y otros.....	20
2.2.3. Métodos	20
2.2.3.1. Material vegetal.....	20
2.2.3.2. Almacenamiento de frutos	21
2.2.3.3. Análisis fisicoquímico	22
2.2.3.4. Análisis fisiológico	24
2.2.4. Diseño experimental.....	25
2.2.5. Diagrama de flujo de actividades	26
CAPÍTULO 3.....	27
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27

3.1.	Análisis bibliométrico.....	27
3.1.1.	Mapeo científico.....	27
3.1.2.	Árbol de la ciencia (<i>Tree of science</i>).....	35
3.1.3.	Tendencias de investigación.....	36
3.1.4.	Futuras líneas de investigación	40
3.1.5.	Tendencia de investigación en nutrición y fertilización vegetal	43
3.2.	Análisis experimental	49
3.2.1.	Variables fisicoquímicas	49
a.	Diámetro horizontal.....	49
b.	Firmeza	51
c.	Pérdida de peso	53
d.	Acidez titulable (%).....	56
e.	pH	59
3.2.2.	Variables fisiológicas	61
a.	Incidencia de oleocelosis	61
b.	Severidad de oleocelosis.....	65
CONCLUSIONES.....		71
RECOMENDACIONES		73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química y biológica de los fertilizantes aplicados en T1 y T2.....	19
Tabla 2. Tratamientos aplicados al cultivo de limón Tahití como variables de estudio.	21
Tabla 3. Producción y citación del top diez de países.	30
Tabla 4. Autores con mayor producción científica sobre limón Tahití.	32
Tabla 5. Principales revistas científicas según cantidad de publicaciones.	34
Tabla 6. Perspectivas de investigación en el cultivo de limón Tahití, tendencia 1 y 2.	40
Tabla 7. Síntesis de la revisión bibliográfica sobre estrategias de fertilización.	45
Tabla 8. Comparación del diámetro ecuatorial (mm) del limón Tahití por día de medición y según los tratamientos.	50
Tabla 9. Clasificación de calibre comercial según la NTC 4087, 2021 (56) de las medias por tratamiento en el día cero.	51
Tabla 10. Comparación de la firmeza (N) de frutos de limón Tahití por día de medición y según tratamientos.	52
Tabla 11. Comparación del porcentaje de pérdida de peso del limón Tahití por día de medición y según los tratamientos.	54
Tabla 12. Clasificación de calibre comercial según la escala de la NTC 4087, 2021 (56) de las medias de peso (g) por tratamiento en el día cero.	56
Tabla 13. Porcentaje de acidez del limón Tahití según tratamientos y días de evaluación.	56
Tabla 14. Valores de pH del jugo de limón Tahití según tratamientos y días de evaluación..	59
Tabla 15. Incidencia de oleocelosis en frutos de lima ácida Tahití tratados con diferentes fertilizantes y evaluados durante 35 días de almacenamiento.	61
Tabla 16. Severidad de oleocelosis en frutos de lima ácida Tahití tratados con diferentes fertilizantes y evaluados durante 35 días de almacenamiento.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bioactivos dietéticos y aceites esenciales de frutos de limón y lima.....	7
Figura 2. Oleocelosis en frutos cítricos.....	11
Figura 3. Flujo de la declaración PRISMA.....	16
Figura 4. Ubicación geográfica de la zona de cultivo de los frutos de limón Tahití, según Google Maps, formato en capas (A) donde se muestra una vista más amplia de la zona, que incluye el Municipio de Caicedonia, el valle Palomino y valle del Cauca; y formato satelital (B), donde se observa la ubicación exacta de la Finca “El Danubio”, según coordenadas.....	18
Figura 5. Armado de cajas y selección de población experimental de limones (A) y almacenamiento de limones Tahití en condiciones de refrigeración a 10 ± 2 °C (B).....	22
Figura 6. Escala diagramática desarrollada por INIA Salto Grande , para la afección de oleocelosis en cítricos.....	24
Figura 7. Flujo de actividades del análisis experimental.	26
Figura 8. Producción científica en el tiempo.....	27
Figura 9. Evolución temporal de términos clave en publicaciones científicas sobre Citrus latifolia.	29
Figura 10. Red de colaboración entre países.....	31
Figura 11. Colaboración entre autores	33
Figura 12. Árbol de la ciencia del limón Tahití.	35
Figura 13. Evolución del crecimiento del diámetro ecuatorial (mm) del limón Tahití por día de medición y según los tratamientos (Control: vertimec©, nordox©, botamisol© y cabtrac©, T1: Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, T2: Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo).	50

Figura 14. Evolución de la firmeza del limón Tahití por día de medición y según los tratamientos. (Control: vertimec©, nordox©, botamisol© y cabtrac©, T1: Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, T2: Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo).	52
Figura 15. Evolución de la pérdida de peso (%) del limón Tahití por día de medición y según los tratamientos (Control: vertimec©, nordox©, botamisol© y cabtrac©, T1: Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, T2: Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo).	54
Figura 16. Evolución del porcentaje de acidez del limón Tahití por día de medición y según los tratamientos (Control: vertimec©, nordox©, botamisol© y cabtrac©, T1: Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, T2: Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo).	57
Figura 17. Evolución del pH del jugo de limón Tahití por día de medición y según los tratamientos (Control: vertimec©, nordox©, botamisol© y cabtrac©, T1: Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, T2: Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo).	60
Figura 18. Evolución del porcentaje de incidencia de oleocelosis en frutos de limón Tahití por día de medición y según los tratamientos (Control: vertimec©, nordox©, botamisol© y cabtrac©, T1: Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, T2: Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo).	62
Figura 19. Limones Tahití afectados por oleocelosis en el grupo control (vertimec©, nordox©, botamisol© y cabtrac©) en el día 1 (A) y el día 35 (B) de evaluación.	63
Figura 20. Limones Tahití afectados por oleocelosis dentro del T1 (Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®) en el día 1 (A) y el día 35 (B) de evaluación.	64
Figura 21. Limones Tahití afectados por oleocelosis dentro del T2 (Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo) en el día 1 (A) y el día 35 (B) de evaluación.	65
Figura 22. Evolución de la severidad de oleocelosis en frutos de limón Tahití por día de medición y según los tratamientos (Control: vertimec©, nordox©, botamisol© y cabtrac©, T1:	

Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, T2: Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo)..... 67

Figura 23. Evolución de la severidad de oleocelosis en frutos de limón Tahití según tratamiento. Control – Día 0 (A) Control – Día 35 (B) T1 - Día 0 (C) T1 – Día 35 (D) T2 – Día 0 (E) T2 – Día 35 (F)..... 68



INTRODUCCIÓN

El limón Tahití es una fruta ácida en ascenso dentro de la industria citrícola y el comercio de exportación debido a su versatilidad y diversas formas de aprovechamiento; ya sea en fresco o procesado, como en aceite, cáscara deshidratada, jugo de limón y pulpa congelada (1). Dentro de los cítricos, las limas y limones son productos fundamentales en las exportaciones de la región Sudamérica, siendo Estados Unidos y la Unión Europea los principales destinos de comercio (2). Según el informe de *IndexBox Market Intelligence Platform* (3), en América Latina y el Caribe se ha registrado un aumento acumulado del 21,9% en el comercio de esta fruta desde 2020, lo que refleja una tendencia sostenida al alza. Además, se proyecta que entre 2024 y 2035 el mercado crecerá a una tasa compuesta anual (CAGR, por sus siglas en inglés) de 2,1% en volumen y 3,4% en valor. A nivel mundial, México se posiciona como el principal país productor y exportador de limón para la campaña 2024/2025 (4). Por su parte, a nivel regional, destacan Argentina, Chile, Brasil y Colombia por el incremento de su actividad exportadora; este último alcanzó un crecimiento notable del 44,6% hasta 2024 (3).

Como se mencionó previamente, existe un gran mercado para esta fruta, sin embargo, también se exigen altos estándares de calibre, color, firmeza, contenido de jugo y sobre todo sanidad hasta llegar al mercado consumidor (5). Durante el transporte, almacenamiento y comercialización de la fruta, las enfermedades poscosecha y lesiones mecánicas comprometen su calidad, conservación y valor comercial, resultando en pérdidas económicas para productores y exportadores (6,7), por ello se adoptan estrategias pre y poscosecha que permitan alargar la conservación de las características de calidad con las que salen del campo.

En este contexto, la adopción de prácticas sostenibles como las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) ha abierto paso a nuevas estrategias que integran el uso de compuestos biológicos y naturales para no solo mejorar el rendimiento, calidad y sanidad del cultivo, sino también, para influir positivamente en la vida útil postcosecha del fruto. Estudios recientes han destacado el papel de ciertos microorganismos para facilitar la asimilación de nutrientes y actuar como medida preventiva contra patógenos en la etapa poscosecha (8). *Bacillus amyloliquefaciens* es una bacteria conocida por sus efectos antifúngicos frente a una amplia variedad de hongos fitopatógenos, además de sus propiedades bioestimulantes. Su aplicación en cítricos ha mostrado una reducción en el porcentaje de descomposición, al disminuir la liberación de etileno y la intensidad respiratoria, reduciendo así la pérdida de peso, manteniendo la firmeza, y aumentando el contenido de sólidos solubles totales y vitamina C (8,9). También se ha observado su capacidad para inducir defensas en cítricos, especialmente contra el moho verde (*Penicillium digitatum*) y el moho azul (*Penicillium italicum*), posicionándose como una opción innovadora de control biológico (10).

Por otro lado, *Ecklonia maxima*, un alga con alto contenido de auxinas ha demostrado tener propiedades que favorecen el desarrollo de cultivos de lechuga y tomate; mejorando parámetros como la longitud, peso seco, área foliar de las plantas y vida útil poscosecha (11,12). Este contenido de auxinas estimula significativamente el crecimiento vegetal, mejorando la calidad de las plántulas y promoviendo el desarrollo de brotes y raíces, lo que aporta un valor adicional a su uso en la agricultura sostenible de frutas y hortalizas (13).

El objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto de tratamientos con fertilizantes de origen biológico y químico sobre la calidad poscosecha del limón Tahití, enfocándose en parámetros fisicoquímicos (pérdida de peso, diámetro, firmeza, pH y % de acidez) y fisiológicos (severidad e incidencia de oleocelosis). Como primer paso, se realizó un análisis bibliométrico para identificar tendencias de investigación y vacíos de conocimiento sobre

limón Tahití. Posteriormente, se desarrolló un análisis experimental basado en la aplicación de tratamientos de fertilizantes comerciales en diferentes etapas fenológicas desde prefloración hasta cosecha: Basfoliar® Rhizo, Basfoliar® Calcio y Polysulphate®, evaluando su efecto sobre los parámetros fisicoquímicos y fisiológicos de frutos limón Tahití durante almacenamiento refrigerado. Estos productos emplean nutrientes minerales, cepas de *Bacillus amyloliquefaciens* y extracto de *Ecklonia máxima* (alga), que ya han demostrado disminuir la tasa de deterioro, aumentar la estabilidad de la composición química y proporcionar una mayor resistencia a daños fisiológicos comunes en la poscosecha de otros cultivos (10,13).

HIPÓTESIS

Debido a que los tratamientos con fertilizantes de origen biológico y químico contienen nutrientes minerales y compuestos bioactivos, incluyendo cepas de *Bacillus amyloliquefaciens* y extractos de *Ecklonia maxima*, es probable que, mejore la calidad fisicoquímica de los frutos de limón variedad Tahití y reduzca la incidencia y severidad de oleocelosis, prolongando así su vida útil en postcosecha.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes comerciales de origen biológico y químico en la vida útil postcosecha de limón variedad Tahití (*Citrus latifolia*), sustentado en un análisis bibliométrico para identificar tendencias y vacíos de investigación relacionados a su cultivo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar tendencias y vacíos de investigación relacionados al estudio de *Citrus latifolia* y su manejo pre y postcosecha mediante la metodología bibliométrica *Tree of Science*.
- Evaluar el efecto de fertilizantes biológicos y químicos sobre los parámetros fisicoquímicos (diámetro, firmeza, % pérdida de peso, % acidez y pH) de frutos de limón Tahití durante el período de almacenamiento en condiciones de refrigeración a 10 ± 2 °C.
- Determinar el efecto de los tratamientos con fertilizantes biológicos y químicos sobre la incidencia y severidad de oleocelosis durante el almacenamiento postcosecha en refrigeración a 10 ± 2 °C.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1.Limón Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka)

1.1.1. Clasificación taxonómica

El limón Tahití (*Citrus latifolia*) es una fruta perteneciente a la familia *Rutaceae*, subfamilia *Aurantioideae*, tribu *Citraeae*, subtribu *Citrinae*, género *Citrus* y la especie *latifolia* Tanaka (14).

La clasificación taxonómica es la siguiente (14):

Reino: Plantae

Clase: Equisetopsida

Subclase: Magnoliidae

Superorden: Rosanae

Orden: Sapindales

Familia: Rutaceae

Género: *Citrus*

Especie: *latifolia*

1.1.2. Origen y distribución del cultivo de Limón Tahití

Las limas o limones ácidos son originarios de la región Indomalaya, expandiéndose en el imperio árabe; África del Norte y al Cercano Oriente. Además, se menciona que llegaron al continente de América desde el Mediterráneo, por Brasil (15), o que ingresaron desde Estados Unidos, de la isla de Tahití, donde proviene su nombre (16).

Este fruto es conocido por diferentes apelativos, en EE. UU. se denomina *Tahití lime*, *seedless lime* y *Persian lime*; en México como limón persa; en España y Portugal como lima Bearss y en Colombia y otros países sudamericanos como limón Tahití (14).

En un contexto más reciente, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (17) presentó los principales productores de limones y limas a nivel mundial hasta el año 2023. A nivel de continente, Asia fue el mayor productor con un equivalente a 9 millones de toneladas; seguido por América con 8,8 millones de toneladas; y, por último, África y Europa con una producción de 1,9 y 1,48 millones de toneladas respectivamente. Paralelamente, se identificaron los 10 países con mayor producción en el mundo, siendo India el país que ocupó el primer puesto, seguido por México, China continental, Argentina, Brasil, Turquía, EE. UU., España, Sudáfrica e Irán; con volúmenes de producción que oscilan entre 3,776,000 millones de toneladas hasta las 508,349 mil toneladas (18). Sin embargo, el Departamento de Agricultura de Estado Unidos (USDA) estima que para la campaña 2024/2025, México se consolidará como el principal productor mundial de limón, lo que revela su liderazgo en el mercado global (4). Asimismo, como se mencionó anteriormente, países sudamericanos como Argentina, Chile, Brasil, Colombia y Perú también muestran un aumento en la exportación del fruto (3,5).

1.1.3. Valor nutricional

El limón Tahití se caracteriza por ser jugoso, de sabor intensamente ácido y sin semillas; al alcanzar la madurez presenta una coloración amarillo-verdosa o pálida, con cáscara delgada que desprende un aroma típico a aceite de limón (16). Su composición nutricional es destacable, pues contiene elevadas cantidades de ácido ascórbico (vitamina C), fundamental para estimular el sistema inmunológico, además de fibra dietética que favorece la digestión y la regulación de la glucosa en sangre. También

aporta minerales esenciales como cobre, calcio, hierro y potasio (19). Asimismo, constituye una fuente importante de ácido cítrico y flavonoides, compuestos con propiedades antioxidantes y potencial neuroprotector, lo que le confiere beneficios adicionales como el aumento del citrato urinario, la reducción del estrés oxidativo, la mejora de los perfiles lipídicos y de los marcadores inflamatorios, así como efectos positivos sobre la salud cerebral (**Figura 1**).

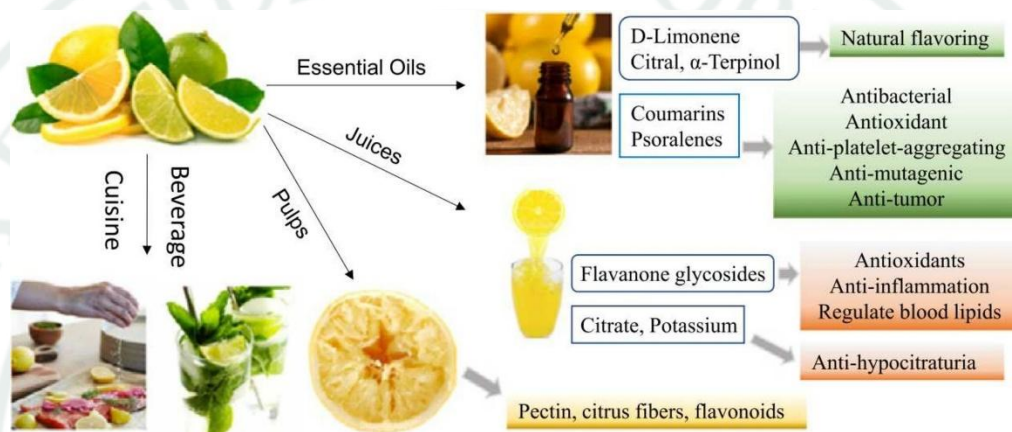


Figura 1. Bioactivos dietéticos y aceites esenciales de frutos de limón y lima (20).

1.1.4. Etapa de cultivo

1.1.4.1. Condiciones de cultivo

Su cultivo requiere condiciones edafoclimáticas específicas, incluyendo suelos bien drenados, aunque pueden crecer en condiciones diferentes: pedregosos, muy pobres, arcillosos y pesados. Necesita un pH entre 5.5 y 6.5, y temperaturas promedio de 23 a 30 °C. Asimismo, este cultivo necesita riegos regulares para mantener niveles adecuados de humedad, especialmente en períodos secos, y la aplicación de fertilizantes equilibrados que incluyan nitrógeno, fósforo y potasio. La poda regular y el manejo integrado de plagas son fundamentales para garantizar rendimientos altos y frutos de calidad (21).

1.1.4.2. Índices de cosecha

Para el limón Tahití, la cosecha suele realizarse cuando alcanzan la madurez. Al ser frutos no climatéricos, las limas alcanzan la madurez en el árbol mismo, sin embargo, el nivel de maduración al cosecharlas determina en gran medida tanto su vida poscosecha como su calidad (22). Se recomienda que los productores tengan en cuenta las exigencias del mercado, para establecer rangos aceptables en características como: tamaño de los frutos, color, porcentaje de zumo y firmeza. Como referencia, se suele cosechar los frutos cuando son verde oscuro y con piel aun rugosa para el mercado internacional, para el nacional, las frutas cosechadas pueden estar de un color más amarillo (23). Asimismo, puede emplearse el tiempo que transcurre desde la floración hasta el cuajado del fruto como otro indicador, que oscila entre los 120 y 165 días desde la floración, o entre 80 y 120 días después del cuajado. Sin embargo, esta variable se ve influenciado por el manejo del cultivo y las condiciones edafoclimáticas (14).

La cosecha manual, común para el comercio, consiste en torcer el fruto para romper el pedúnculo y separarla de la planta (22), también puede usarse herramientas como tijeras o alicates para el corte de cítricos. Para frutos destinados al procesamiento, se puede realizar la cosecha mecánica, aunque las lesiones mecánicas son más frecuentes (23).

1.1.4.3. Plagas en campo

Durante la fase de cultivo, factores como la ubicación geográfica, temporada, portainjertos y manejo de fertilización e irrigación influyen directamente en la calidad del fruto. La mayoría de patógenos se establecen en campo en estado latente y se expresan en poscosecha bajo condiciones ambientales favorables para su desarrollo, como, por ejemplo (7): *Colletotrichum* spp., *Fusarium* spp., *Alternaria*

spp., *Penicillium* spp., *Acremonium* spp., *Trichoderma* spp., *Curvularia* spp., *Phoma* spp., *Stachybotrys* spp. y *Ulocladium* spp.

Otras plagas más relevantes durante el cultivo son: picudo de los cítricos (*Compsus* sp); minador, *Phyllocnistis citrella* (Lepidóptera, Gracillariidae); psílido de los cítricos *Diaphorina citri* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Psyllidae); el ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus*) y el ácaro tostador (*Phyllocoptruta oleivora*); gomosis de los cítricos (*Phytophthora* spp.); antracnosis de los cítricos (*Colletotrichum* spp.) y virus de la Tristeza de los Cítricos (VTC) (21).

1.1.5. Etapa postcosecha

1.1.5.1. Normas de calidad para la exportación

Las normas de calidad para el limón Tahití en Latinoamérica siguen la norma internacional Codex Alimentarios CXS 213-1999, que clasifica los limones según características físicas, químicas, de aspecto y estado de conservación (24).

Los requisitos mínimos según el Codex Alimentario CXS 213-1999 son:

- estar enteras;
- estar sanas, y exentas de podredumbre o deterioro que hagan que no sean aptas para el consumo;
- estar limpias, y prácticamente exentas de cualquier materia extraña visible;
- estar prácticamente exentas de plagas que afecten al aspecto general del producto;
- estar prácticamente exentas de daños causados por plagas;
- estar exentas de humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de
- una cámara frigorífica;
- estar exentas de cualquier olor y/o sabor extraños;

- ser de consistencia firme;
- estar exentas de daños causados por bajas temperaturas;
- estar prácticamente exentas de magulladuras;
- estar sin semillas (24).

Además, se mencionan valores mínimos para el diámetro (>42 mm), contenido de jugo (42%) y de coloración (verde con hasta 30% de manchas amarillas en la superficie).

Algunos países como Colombia suelen adoptar estas directrices o emitir regulaciones propias con valores mínimos diferentes para cumplir con estándares de exportación específicos.

1.1.5.2. Enfermedades poscosecha

En poscosecha, una gestión incorrecta durante la recolección, el traslado o el almacenaje puede causar daños mecánicos, disminución de la humedad y la aparición de patógenos que provienen del campo, lo que disminuye su calidad para el comercio (7). Los defectos más comunes en esta etapa son: manchas rosadas-amarillentas causadas por *Phytophthora* spp.; puntos negros causados por *Mycosphaerella citri*; roña causada por el ácaro *Polyphagotarsonemus latus*; moho verde (*Penicillium digitatum*) y moho azul (*Penicillium italicum*); pudrición terminal (*Lasiodiplodia theobromae*, *Phomopsis citri*); manchas marrones causadas por *Alternaria citri* y cancro asiático de los cítricos causado por *Xanthomonas citri* (21).

1.1.5.3. Fisiopatías

1.1.5.3.1. Chilling injury (CI)

El daño por frío es un trastorno fisiológico que ocurre cuando se emplean bajas temperaturas, generalmente inferiores a 10-13°C. Provoca un acortamiento en la vida útil y no pueden usarse para retrasar el deterioro ni el crecimiento de patógenos. La temperatura óptima para el almacenamiento del limón Tahití oscila entre 10 y 12°C

y una humedad relativa del 85 al 95% (25,26). Bajo estas condiciones, el fruto mantiene su calidad entre cuatro y ocho semanas. Sin embargo, la exposición prolongada a temperaturas menores de 8 °C provoca daños por enfriamiento, evidenciados en la aparición de manchas superficiales y un incremento en los casos de pudrición (25).

1.1.5.3.2. *Oleocelosis*

Es una alteración fisiológica en la cáscara de los cítricos causada por los efectos fitotóxicos de los aceites esenciales liberados por glándulas oleíferas del flavelo de la cáscara, generalmente, después de un daño mecánico a la fruta (27,28). Se caracteriza por la presencia de manchas superficiales de color amarillo, verde o marrón en la corteza de los cítricos, evolucionando hasta necrosis del tejido. En ellas, las glándulas oleíferas rotas sobresalen debido al ligero hundimiento del tejido inter-glandular necrosado (**Figura 2**) (29).



Figura 2. *Oleocelosis en frutos cítricos (29).*

Los daños físicos pueden ocurrir por impactos ocurridos durante la recolección de frutos, transporte postcosecha, mala manipulación o almacenamiento inmediato en cámara frigorífica después su recolección, aún más, si muestra condiciones de turgencia, pues las células epidérmicas son más sensibles a las fricciones, choques o contracción de la piel (29).

Sin embargo, también puede ocurrir sin daño físico, como consecuencia de la pérdida de integridad de las membranas celulares, lo que lleva a la degeneración y colapso celular, generando lesiones aún más severas (28). En condiciones de campo, la turgencia de la corteza es un factor determinante: si hay humedad ambiental (por ejemplo, rocío), la turgencia aumenta y con ello también el riesgo de daño. Además, el balance hídrico del árbol influye en la susceptibilidad del fruto; frutos provenientes de árboles con menor contenido hídrico presentan menor riesgo. Por último, la resistencia de la corteza también es clave: una corteza menos resistente favorece una mayor incidencia de lesiones.

Esta alteración se clasifica en tres tipos (29):

- Oleocelosis de cultivo: cuando se genera con el fruto estando en el árbol debido al rocío, humedades relativas altas, ataque de insectos, etc.
- Oleocelosis de recolección: se genera por riesgos de golpes y magulladuras al recolectar los frutos, o por las condiciones de recolección (humedad excesiva).
- Oleocelosis de manipulación: se produce por caídas, golpes, roces, lesiones, presión, etc. Las manchas son notables después de un día a dos.

1.2.Fertilizantes de origen biológico y químico

Los fertilizantes químicos son productos de origen mineral, sintetizados químicamente para contener los elementos necesarios para el crecimiento de la planta (30). Son fabricados a partir de amoníaco, minerales fosfatados, nitrógeno atmosférico, etc., que se someten a reacciones químicas controladas para generar macronutrientes rápidamente perceptibles por los organismos vegetales (31). Pueden aplicarse al suelo de forma sólida; gránulos que se deshacen y liberan sus compuestos; o de forma líquida, abonos sólidos diluidos en agua (30). Son conocidos por su acción rápida y efectos notorios en la calidad del cultivo, por lo que son comúnmente usados en el sector agrícola (31).

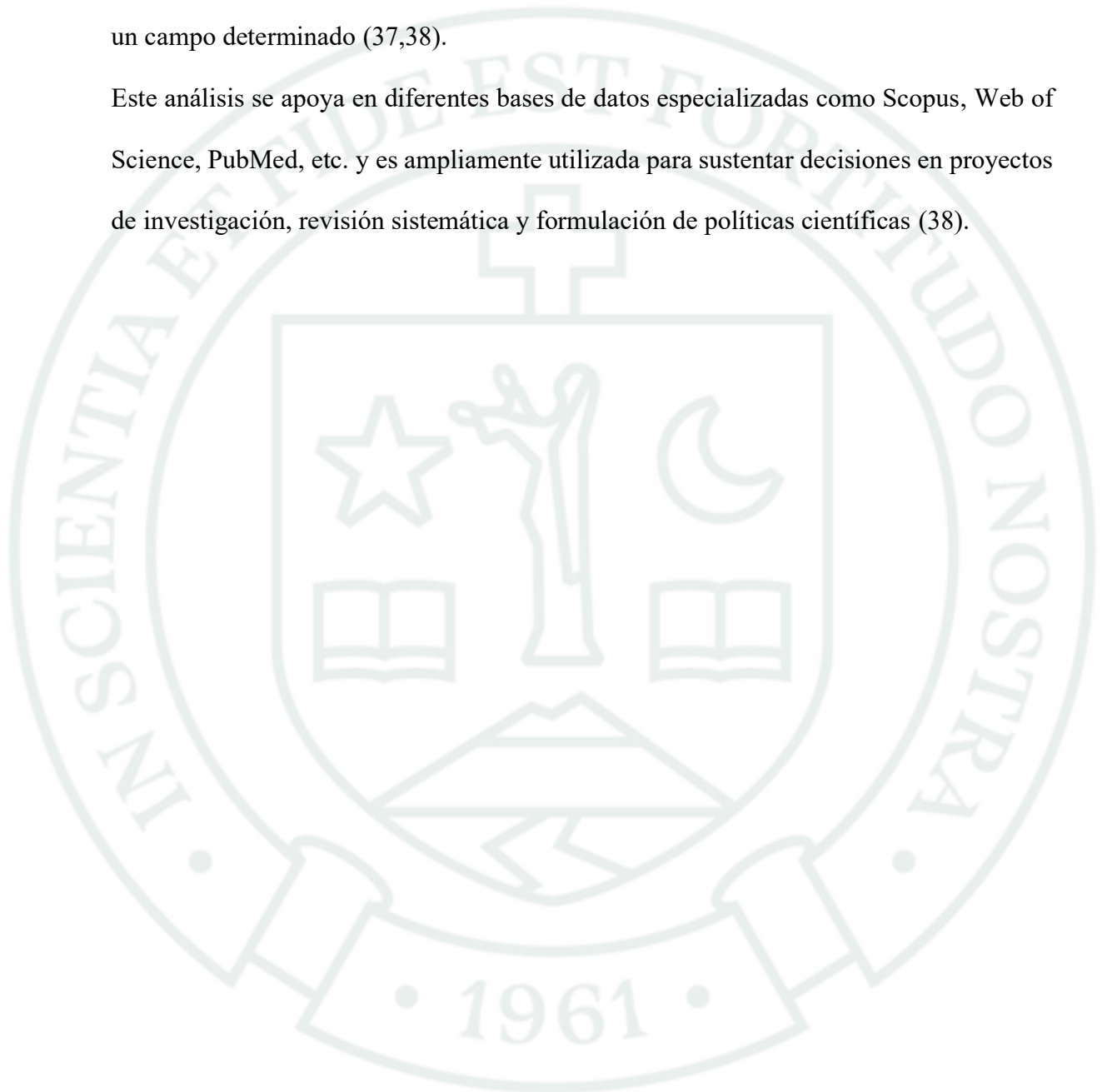
Por otro lado, los fertilizantes biológicos o biofertilizantes son aquellos que contienen microorganismos benéficos o compuestos derivados de organismos vivos, utilizados para mejorar la fertilidad del suelo y promover el crecimiento vegetal. Estos productos se presentan como una alternativa sostenible a los fertilizantes químicos, ya que contribuyen a la reducción del impacto ambiental y favorecen la biodiversidad microbiana del suelo (32,33). Según el interés de este estudio, destacan aquellos basados en bacterias como *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Bacillus* spp., cepas que tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar fósforo y sintetizar fitohormonas que estimulan el desarrollo vegetal (33). Por otro lado, los biofertilizantes derivados de macroalgas marinas, como *Ascophyllum nodosum* y *Sargassum* spp., entre otros, son ricos en compuestos bioactivos como polisacáridos, aminoácidos y fitohormonas. Estos productos mejoran la estructura del suelo, estimulan el crecimiento radicular y aumentan la tolerancia de las plantas al estrés (32). Además, es importante resaltar que diversos fertilizantes pueden contribuir a reducir la susceptibilidad de los frutos a desórdenes fisiológicos. El calcio es especialmente relevante en cítricos por su papel en el fortalecimiento de la pared celular y la cutícula, disminuyendo el riesgo de desórdenes fisiológicos, como la oleocelosis (34,35). Por su parte, biofertilizantes a base de *Bacillus* spp. estimulan mecanismos de defensa y aumentan la tolerancia al estrés, inhibiendo el crecimiento de patógenos como *Neocosmospora*, *Gibellulopsis*, *Penicillium digitatum* y *Penicillium italicum* (10,36).

1.3. Análisis bibliométrico

Se define como una herramienta cuantitativa que aplica métodos matemáticos y estadísticos para estudiar la producción científica en un área específica del conocimiento (37). Hace uso de indicadores como el número de publicaciones, citas, autores, revistas, instituciones y países de un conjunto de documentos bibliográficos, los cuales son

seleccionados cuidadosamente según distintos criterios de exclusión e inclusión para cubrir eficientemente el área objeto del estudio. Su objetivo principal es identificar tendencias de investigación, redes de colaboración y vacíos en la literatura, proporcionando una visión estructurada del desarrollo y evolución del conocimiento en un campo determinado (37,38).

Este análisis se apoya en diferentes bases de datos especializadas como Scopus, Web of Science, PubMed, etc. y es ampliamente utilizada para sustentar decisiones en proyectos de investigación, revisión sistemática y formulación de políticas científicas (38).



CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Análisis bibliométrico

El desarrollo metodológico de esta revisión se organizó en dos etapas principales: el mapeo científico y la construcción de la red de conocimiento. En la primera instancia se llevó a cabo un análisis bibliométrico basado en publicaciones indexadas en la base de datos Scopus, seleccionada por su cobertura amplia y relevancia internacional (39,40). La consulta se realizó el 11 de junio de 2025 y abarcó el periodo 2005–2025. Se incluyeron documentos de tipo artículo, revisión, capítulo de libro, libro y documentos de conferencia, sin restricción en el tipo de revista. La búsqueda se limitó a los campos de título, resumen y palabras clave, utilizando los términos: "*tahiti lime*" OR "*limón tahiti*" OR "*citrus latifolia*" OR "*lima ácida tahiti*". El resultado inicial fue de 399 documentos, que, tras la aplicación de filtros por tipo de documento y periodo de publicación, se depuró a un total de 341 registros.

Posteriormente, se aplicó la teoría del *Tree of Science* (ToS) para estructurar la red de conocimiento en documentos fundacionales (raíces), estructurantes (tronco) y emergentes (perspectivas), empleando para ello herramientas como *R-Studio* y el paquete *Bibliometrix* (41). Esta aproximación permitió responder a dos preguntas clave: ¿quiénes han sido los principales actores (autores, países, instituciones, revistas) en el desarrollo del conocimiento sobre el limón Tahití?, y ¿cuáles son las líneas temáticas y perspectivas de investigación más relevantes en las últimas dos décadas?; siendo la segunda la más relevante para el presente trabajo de investigación.

El proceso de selección y evaluación de documentos se rigió por el protocolo PRISMA 2020 (42), ampliamente aceptado para revisiones sistemáticas (**Figura 3**). Las decisiones

de inclusión y exclusión fueron guiadas por criterios explícitos, priorizando la relevancia temática y la claridad metodológica de los documentos identificados.

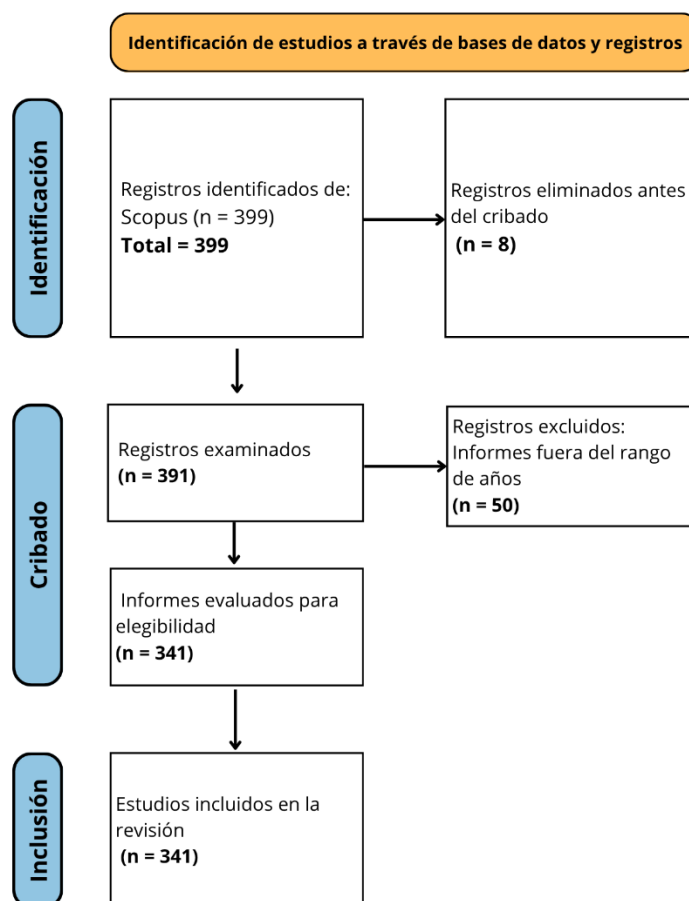


Figura 3. *Flujo de la declaración PRISMA.*

2.1.1. Mapeo científico

En esta primera etapa se aplicaron los procedimientos recomendados por Zupic y Čater en el 2015 para el análisis de coocurrencia de palabras clave, coautoría, acoplamiento bibliográfico y co-citación (43). La integración y organización de la información bibliográfica se realizó mediante *Bibliometrix*, herramienta validada en múltiples estudios en distintas áreas del conocimiento (44–47). Este análisis permitió identificar la evolución de la literatura sobre limón Tahití, así como los principales países, revistas e instituciones que han contribuido al desarrollo de este campo.

2.1.2. Construcción de la red de conocimiento

Con base en el corpus documental depurado, se construyó una red de citas utilizando teoría de grafos (48,49), lo cual facilitó el análisis de la topología y relaciones estructurales entre los documentos. Se utilizaron tres indicadores bibliométricos clave: *Indegree*, que identifica los documentos más citados (fundacionales); *Betweenness*, que mide la centralidad e intermediación en la red (*Freeman*); y *Outdegree*, que permite detectar tendencias emergentes en función del alcance de las citas emitidas. Esta clasificación permitió identificar los documentos que conforman la raíz, el tronco y las hojas del árbol del conocimiento (50), permitiendo observar la evolución histórica del campo, sus estructuras consolidadas y las nuevas líneas de investigación. Adicionalmente, se elaboró un mapa de co-citación para visualizar los clústeres temáticos que estructuran el conocimiento en torno al limón Tahití, siguiendo los criterios metodológicos propuestos por Zuschke y Gurzki & Woisetschläger (51,52).

2.2. Análisis experimental

2.2.1. Lugar de ejecución

El cultivo de limón Tahití se estableció en el lote 3 de la finca “El Danubio” en el Municipio de Caicedonia, departamento de Valle del Cauca, Colombia, ubicada a 4°20'44.6" latitud norte y 75°53'09.2" longitud oeste, a una altura de 1190 msnm (**Figura 4**). Al inicio del estudio, los árboles presentaban una edad de 44 meses (3,6 años) desde su establecimiento en campo, se encontraban bajo un marco de plantación de 6 x 6 m y estaban injertados sobre patrón Zunchy.

El manejo agronómico y aplicación de tratamientos se realizó entre julio y noviembre de 2024. La cosecha se realizó el 28 de octubre del mismo año según protocolos técnicos internos de la empresa productora, y coincidió con el segundo período lluvioso de la

región Andina colombiana, caracterizada por alta humedad relativa y ocurrencia de precipitaciones. Las temperaturas oscilaron entre un mínima de 18°C y máximo de 28°C.

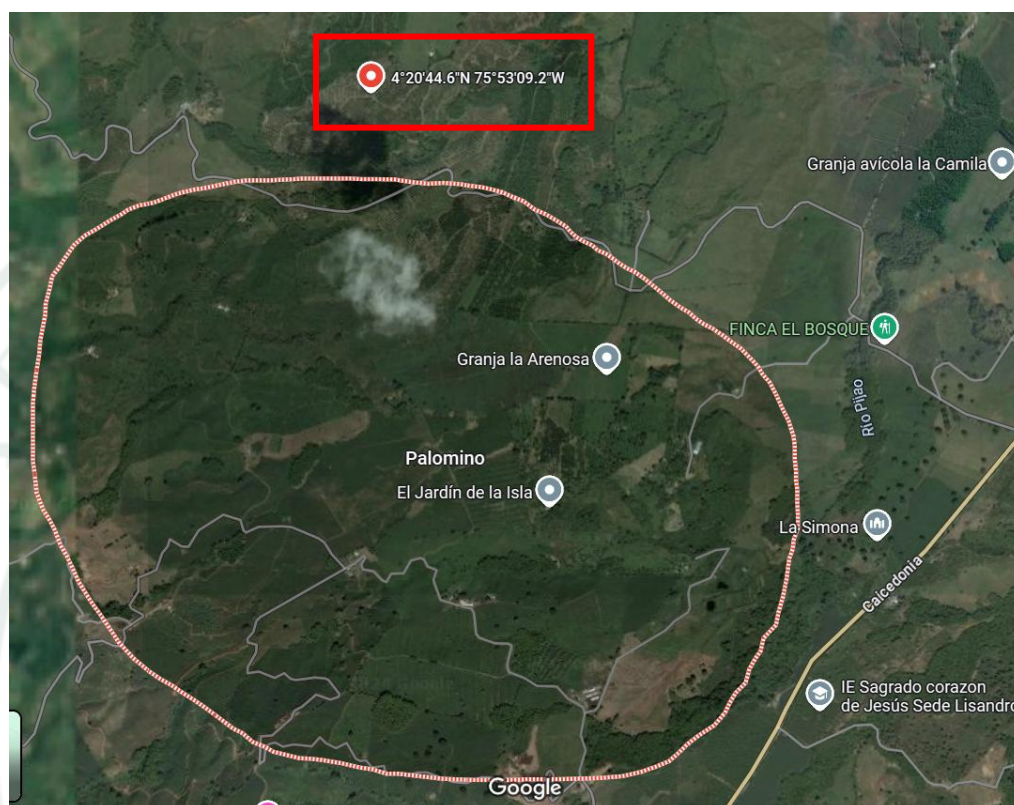


Figura 4. *Ubicación en formato satelital en Google Maps de la Finca “El Danubio”, según coordenadas, donde se cultivó los frutos de limón Tahití.*

El desarrollo de la parte experimental se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de microbiología de alimentos del Instituto de Investigación en Microbiología y Biotecnología Agroindustrial (IMBA) de la Universidad Católica de Manizales, Caldas, Colombia.

2.2.2. Materiales

2.2.2.1. Aparatos y equipos

- Balanza analítica, Vibra SJ 4100E
- Pie de rey digital, Uberman®
- Penetrómetro, Wagner Fruit test TM

- pH-metro y calibradores, SI Analytics Lab 860
- Equipo de titulación digital, Bureta Digital titrette BRAND 50 mL
- Nevera a 10°C, TWIST air

2.2.2.2. Reactivos

- Fenolftaleína
- Hidróxido de Sodio (NaOH) 0.1 N

2.2.2.3. Insumos

- Basfoliar® Calcio: solución inorgánica en base a sales de calcio (53).
- Basfoliar® Rhizo: fertilizante líquido orgánico mineral NK, enriquecido con extracto del alga *Ecklonia maxima* y *Bacillus amyloliquefaciens* (54).
- Polysulphate®: fertilizante multinutriente que contiene azufre, potasio, calcio y magnesio en forma de sulfatos (55).

Tabla 1. Composición química y biológica de los fertilizantes aplicados en T1 y T2.

Componente	Polysulphate®	Basfoliar® Calcio	Basfoliar® Rhizo
Nitrógeno total (%)	-	-	5.5
Nitrógeno ureico (%)	-	-	3.5
Nitrógeno nítrico (%)	-	-	1.5
K ₂ O (%)	14.0	-	5.0
Ca (%)	-	17.0	-
CaO (%)	17.0	-	-
MgO (%)	6.0	-	-
Azufre total (%)	19.2	-	-
Extracto de <i>Ecklonia maxima</i> (%)	-	-	40.0
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (UFC/mL)	-	-	2.2 × 10 ⁹
Auxinas (mg/L)	-	-	4.4
Citoquininas (mg/L)	-	-	0.01
pH	Neutro	8.0 (Sol. 10%)	3.5-5.0 (20°C)

2.2.2.4. Material de laboratorio y otros

Beakers de 50 mL, frascos de rosca azul de 80 mL, micropipeta de 1000 μ L, alcohol 70%, agua destilada, termómetro de mercurio, cuchillo, tabla de picar, tijeras, cutter, exprimidor de limones, cajas de cartón (35 x 45 x 22 cm), etiquetas de rotulación, escala de grado de oleocelosis en cítricos, rotuladores.

2.2.3. Métodos

2.2.3.1. Material vegetal

Los cultivos de limón Tahití fueron tratados durante su desarrollo con aplicaciones en aspersión foliar de fertilizantes de origen químico y biológico en diferentes etapas de su crecimiento: prefloración, floración y cuajado y floración hasta cosecha. El tratamiento uno consistió en tres productos comerciales: Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®; mientras que el tratamiento dos consistió en: Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo, cuyos componentes se detallaron en la sección anterior. El tratamiento control fue una mezcla de sustancias agroquímicas convencionales, según especificaciones del productor (**Tabla 2**).

Una vez cosechados se transportaron a temperatura ambiente al Laboratorio de microbiología de alimentos del IMBA, donde fueron seleccionados para contar con un grupo de evaluación sano y homogéneo en cuando a tamaño y color.

Tabla 2. *Tratamientos aplicados al cultivo de limón Tahití como variables de estudio.*

Tratamiento	Producto	Dosis	Número de aplicaciones	Frecuencia/ Etapa fenológica	Método de aplicación
T1	Basfoliar Calcio	2.5 mL.L ⁻¹	2	Floración y cuajado	Aspersión foliar con estacionaria
	Basfoliar Rhizo	2.5 mL.L ⁻¹	2	Desde floración hasta cosecha	Aspersión foliar con estacionaria
	Polysulphate	240 gr/árbol	1	Prefloración	Aplicación al suelo
T2	Basfoliar Calcio	2.5 mL.L ⁻¹	2	Floración y cuajado	Aspersión foliar con estacionaria
	Basfoliar Rhizo	2.5 mL.L ⁻¹	3	Desde floración hasta cosecha	Aspersión foliar con estacionaria
Control	Vertimec				
	Nordox	Según			
	Botamisol	etiqueta	2	Floración	Foliar
	Cabtrac				

2.2.3.2. Almacenamiento de frutos

Se rotularon los frutos por tratamiento y se almacenaron a una temperatura de 10±2 °C (7) en cajas de cartón construidas según las medidas mencionadas anteriormente (Figura 5).



Figura 5. Armado de cajas y selección de población experimental de limones (A) y almacenamiento de limones Tahití en condiciones de refrigeración a 10 ± 2 °C (B).

2.2.3.3. Análisis fisicoquímico

Se midieron variables importantes para la exportación de limón Tahití según la NCT 4087 de 2021 (56): pérdida de peso, diámetro y firmeza del fruto; además de dos variables químicas que fueron pH y % de acidez. Estos parámetros se evaluaron en los días 1, 7, 14, 21, 28 y 35 de almacenamiento. El total de frutos estudiados en este análisis fue de 60.

a. Diámetro del fruto

- El diámetro de cada limón se determinó según sus medidas del lado transversal utilizando el vernier digital Uberman®.

b. Firmeza del fruto

Empleando un penetrómetro (modelo Wagner Fruit test TM) se midió la fuerza necesaria para traspasar el pericarpio del fruto en su parte media.

c. Pérdida de peso (PP)

La pérdida de peso se evaluó sobre cada fruto por tratamiento, por diferencias del peso final (Pf) respecto al peso inicial (Pi) que se midieron

en una balanza analítica (Vibra SJ 4100E). Los resultados se expresaron en porcentaje según la siguiente ecuación (56)¹⁰:

$$\%PP = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100$$

Donde:

P_i: Peso inicial del limón

P_f: Peso final del limón

d. % de acidez

Se cuantificó la cantidad de ácido cítrico mediante el método volumétrico y según la NTC 4087 de 2021 (56). Se tomaron 2 ml de jugo de cada limón y se adicionó una gota de fenolftaleína. Se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N. El resultado se expresa como porcentaje de ácido cítrico y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Ácido cítrico} = \frac{V_1 \times N}{V_2} \times K \times 100$$

Dónde:

V₁: volumen de NaOH consumido (mL)

V₂: volumen de la muestra (2 mL)

K: peso equivalente del ácido cítrico (0.064 g/meq)

N: normalidad del NaOH (0.1 meq/mL)

e. pH

Se cortaron los limones de forma transversal y con ayuda de un exprimidor se extrajo el jugo de cada limón para determinar su pH. La medición se realizó directamente en el jugo utilizando un pH-metro marca SI Analytics Lab 860.

2.2.3.4. Análisis fisiológico

Esta variable evalúa la efectividad de los tratamientos aplicados frente a la incidencia y severidad de oleocelosis en frutos de limón Tahití (*Citrus latifolia*). Para este propósito, se utilizaron 57 frutos por tratamiento, incluido el control. Se monitoreó el comportamiento de los frutos a lo largo del tiempo (día 1, 7, 14, 21, 28 y 35), sin afectar su integridad.

a. Incidencia

En cada tratamiento, se calculó el porcentaje de incidencia identificando el número de individuos afectados con oleocelosis sobre el conjunto de individuos por tratamiento, multiplicado por 100 (57):

$$\% \text{ Incidencia} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de individuos enfermos}}{\text{N}^\circ \text{ individuos por tratamiento}} \times 100$$

b. Severidad

Para medir la severidad se observaron síntomas y signos de cada fruto y se comparó con una escala cualitativa mostrada en la **Figura 6**.

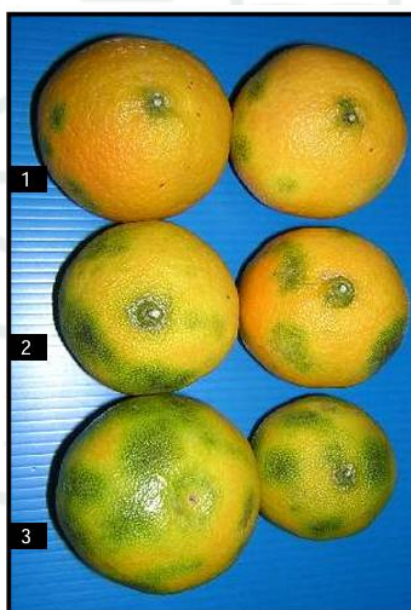


Figura 6. Escala diagramática desarrollada por INIA Salto Grande (58), para la afección de oleocelosis en cítricos.

2.2.4. Diseño experimental

Las evaluaciones se realizaron en los siguientes días de almacenamiento poscosecha: 1, 7, 14, 21, 28 y 35 días. Debido a la naturaleza destructiva de las variables físicas y químicas, se evaluaron 10 limones diferentes por día; y en el caso de la variable fisiológica (no destructiva), 57 limones por tratamiento de inicio a final del ensayo.

Con base a las variables dependientes (parámetros fisicoquímicos y fisiológicos) e independientes (tratamientos de fertilizantes) se planteó un diseño experimental completamente al azar (DCA) que permitió evaluar el efecto de los tratamientos sobre los factores de estudio. Para el procesamiento estadístico se utilizó el software R (versión 4.5.1., The R Foundation for Statistical Computing). Los datos se expresaron con valores promedio $\pm$ desviación estándar (DE).

Se comprobaron los supuestos de normalidad con el test de Shapiro Wilk para $n \leq 50$ o Kolmogorov-Smirnov para $n > 50$; y homogeneidad de varianzas con el test de Levene.

Las variables que cumplieron dichos supuestos se analizaron con ANOVA de una vía con la prueba post hoc Tukey HSD, mientras que aquellas que no los cumplieron se evaluaron con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis seguido de Dunn para comparaciones múltiples.

La incidencia de oleocelosis fue tratada como variable dicotómica a nivel de fruto (0 = ausencia; 1 = presencia), asumiendo una distribución binomial. La precisión de los datos se estimó mediante el error estándar de la proporción binomial, siguiendo el enfoque propuesto por Madden y Hughes (59).

Todas las pruebas se realizaron a un nivel de significancia de $p < 0.05$.

2.2.5. Diagrama de flujo de actividades

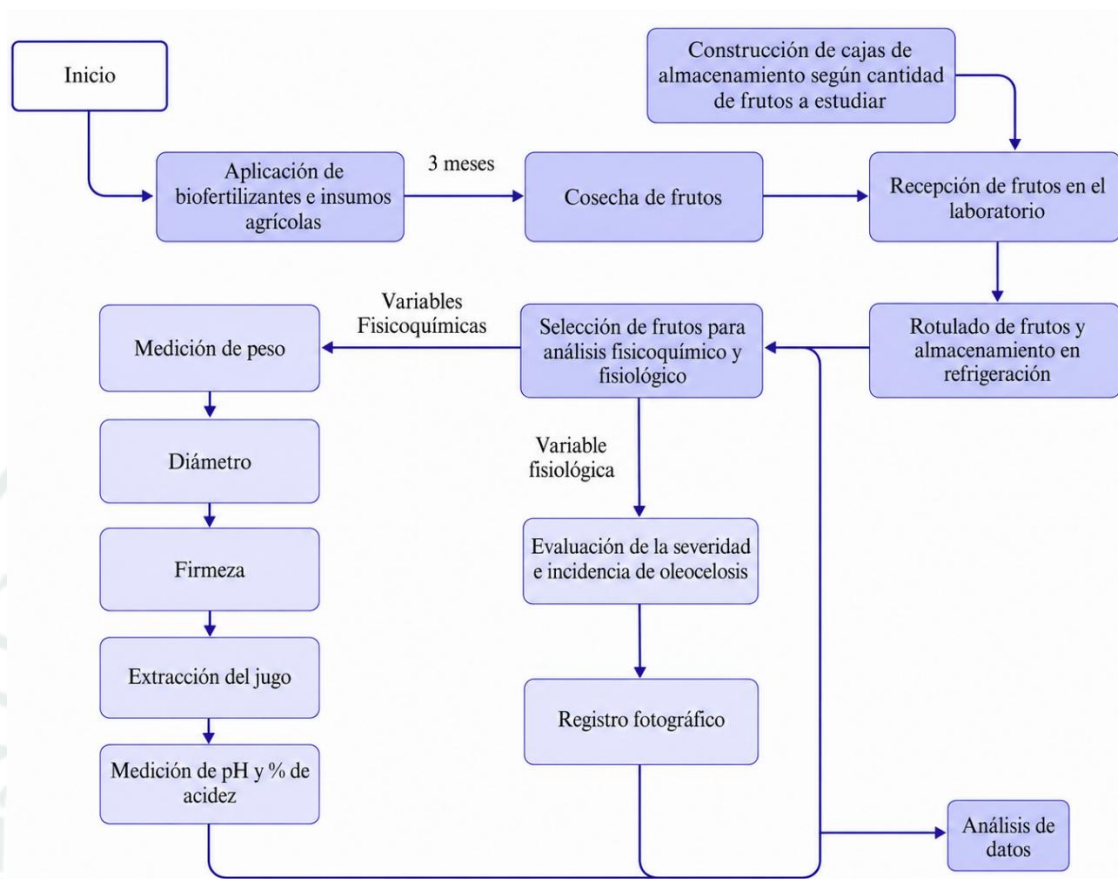


Figura 7. *Flujo de actividades del análisis experimental.*

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis bibliométrico

3.1.1. Mapeo científico

La **Figura 8** muestra la evolución de la producción científica sobre el limón Tahití en los últimos 20 años (2005–2025) con una línea gris que representa la tendencia general. La tasa de crecimiento anual ha sido de 1,95 %, evidenciando una progresión sostenida a lo largo del tiempo. Durante los últimos siete años (2018–2024), se publicaron 151 artículos, lo que representa el 44,28 % de toda la producción acumulada (341 publicaciones), indicando un interés creciente y sostenido en el tema.

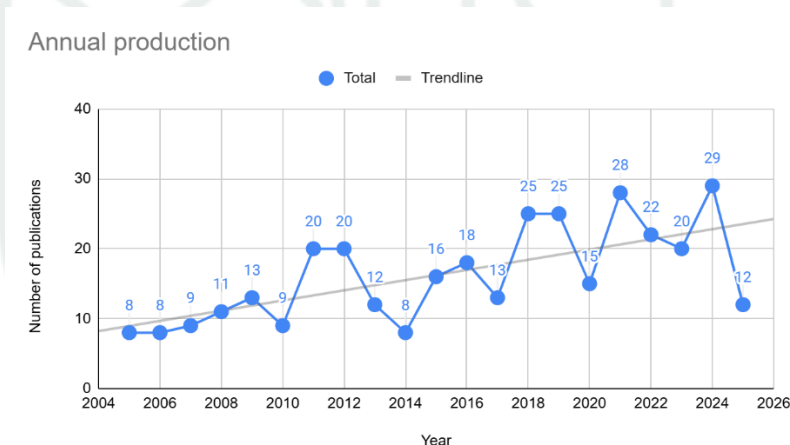


Figura 8. Producción científica en el tiempo.

Complementando este análisis, se puede observar en la **Figura 9**, el estudio bibliométrico de los términos más frecuentes en la literatura científica sobre *Citrus latifolia* entre 2016 y 2025 que permite identificar cómo han evolucionado los enfoques de investigación en este campo. Como se observa algunos términos clave han adquirido relevancia en momentos específicos, reflejando cambios en las prioridades científicas. Por ejemplo, en el año 2020 se observa una alta presencia del término “lime”, así como de términos relacionados con la fisiología vegetal y el manejo agronómico como “rootstock” y

“dicotyledon”. Este patrón sugiere un enfoque más técnico o morfo-fisiológico durante ese año, posiblemente como resultado de estudios en condiciones controladas durante las restricciones de la pandemia.

En contraste, los años 2022 a 2024 marcan un giro hacia aspectos más aplicados y postcosecha, destacando términos como “shelf life”, “high performance liquid chromatography”, “taste”, “calcium oxide”, y “antimicrobial activity”. Esto se alinea con el incremento de publicaciones en esos años y una expansión de los temas hacia el control de calidad, conservación y propiedades del limón Tahití. El año 2024, que presentó el mayor número de publicaciones (29 publicaciones), también muestra la mayor presencia de términos como “*Citrus latifolia*” y “shelf life”, lo cual indica una consolidación del enfoque en caracterización postcosecha, prolongación de vida útil y evaluación de atributos fisicoquímicos, temas de interés creciente en mercados de exportación. Este análisis temático permite entender no sólo la evolución cuantitativa de la investigación (**Figura 9**), sino también su evolución cualitativa y direccional, brindando un panorama más completo del desarrollo científico en torno al limón Tahití.

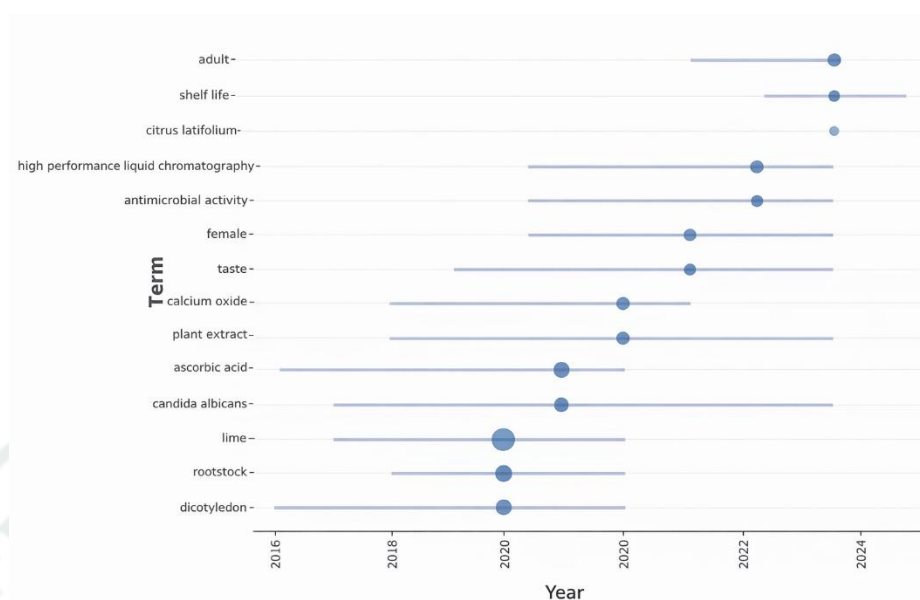


Figura 9. Evolución temporal de términos clave en publicaciones científicas sobre *Citrus latifolia*.

En la **Tabla 3** se puede observar un panorama detallado de los 10 países que contribuyen a la investigación en el limón Tahití representando un 94,43% de la producción académica mundial. Encabezando la lista se encuentra Brasil, con el 37,83%, seguido de México con el 23,17% y España en tercer lugar con el 7,62%. Al examinar la distribución por continente, América que comprende Brasil, México, Colombia, Estados Unidos y Venezuela realiza la mayor contribución con 77,13%, Europa con España y Francia el 10,85%, Asia con Irán y Vietnam del 6,46% y Oceanía Australia con el menor porcentaje de participación del 1,76%. Brasil encabeza la lista de países que contribuyen en la producción académica, siendo líder en investigación sobre enfermedades como el HLB y mejora de la productividad (60). Sin embargo, México, que es el mayor productor (aproximadamente 2,8 millones de toneladas métricas (TM), equivalente al 35% del total global) y exportador (1,4 millones de TM, destinadas principalmente a EE. UU., la Unión Europea y Japón) también se destaca en investigación agronómica, manejo poscosecha y mejora genética del cultivo (61).

Tabla 3. Producción y citación del top diez de países.

País	Número de publicaciones	% del Total	Red de colaboración entre países
Brasil	129	37,83%	
México	79	23,17%	
España	26	7,62%	
Colombia	25	7,33%	
Estados Unidos	22	6,45%	
Irán	14	4,11%	
Francia	11	3,23%	
Venezuela	8	2,35%	
Vietnam	8	2,35%	
Australia	6	1,76%	

En la **Figura 10** podemos observar la red de colaboración entre países, destacando tres grandes redes: la primera conformada por Japón, Tailandia e Indonesia, todos del continente asiático, La segunda, conformada por Australia, Pakistán y Reino Unido y, la tercera, constituida por México, Brasil, Camerún, Venezuela, Francia, Estados Unidos, España, Cuba, Colombia e Italia. Se observa una fuerte relación entre los países de Brasil y México y entre México y España.



Figura 10. Red de colaboración entre países.

La **Tabla 4** muestra a los 10 autores más relevantes en el estudio del limón Tahití según su producción científica, citas recibidas, índice H y las instituciones a las que pertenecen. Esto permitirá identificar a los referentes en el área o con mayor impacto académico.

De Siqueira, D.L. encabeza la lista con 10 publicaciones vinculados al tema de estudio, evidenciando su trayectoria en agronomía y manejo de cultivos, principalmente cítricos y mango. Le sigue Cecon con 9 artículos, quien sobresale por su alto número de citas (7154) y el mayor índice H (34 H-index), respaldando su influencia en biometría y métodos estadísticos aplicados a las ciencias agrarias. Otros autores como Mourão Filho, F.d.A.A. (2037 citas, $h=26$) y Jacomino, A.P. (1670 citas, $h=22$) también tienen amplio reconocimiento en áreas como fruticultura, poscosecha, biotecnología hortícola y producción vegetal (62).

En cuanto a la afiliación, predominan instituciones brasileñas, con 8 de los 10 autores vinculados al país, siendo la Universidad de São Paulo y la Federal de Viçosa las que más resaltan.

Por último, es importante destacar que todos los autores mencionados en la **Tabla 4** comparten experiencia en ciencias agrarias, abordando temas de investigación que se

enfocan en el manejo de diversos cultivos, desde la genética y el cultivo *in vitro* hasta el manejo poscosecha y métodos de conservación.

Tabla 4. *Autores con mayor producción científica sobre limón Tahití.*

Nº	Autor	# de publicaciones	# de citaciones	H-index	Institución	País
1	Dalmo Lopes de Siqueira	10	1102	18	Universidade de São Paulo	Brasil
2	Paulo Roberto Cecon	9	7154	34	Universidade Federal de Viosa	Brasil
3	Angelo Pedro Jacomino	7	1670	22	Universidade de São Paulo	Brasil
4	Luiz Carlos Chamum Salomão	7	967	19	Universidade Federal de Viosa	Brasil
5	Eduardo Sanches Stuchi	7	925	16	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	Brasil
6	Marcos Vinícius Folegatti	6	1328	20	Universidade de São Paulo	Brasil
7	Francisco de Assis Alves Mourão Filho	6	2037	26	Universidade de São Paulo	Brasil
8	Jorge E. Peña	6	3142	32	University of Florida	USA
9	Ricardo Santillán-Mendoza	6	66	4	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias	México
10	Tatiana Eugenia Cantuarias-Avilés	5	366	11	Universidade de São Paulo	Brasil

En la **Figura 11** se identifica una notoria cooperación entre Cecon, P.R. y De Siqueira, D.L., quienes comparten múltiples publicaciones en conjunto, con el respaldo de Salomão, L.C.C.; quien también forma parte activa de esta red de coautoría. Asimismo, se observa una fuerte relación entre autores afiliados a las universidades de São Paulo y Viçosa, lo que refuerza la presencia de redes institucionales sólidas entre investigadores brasileños.

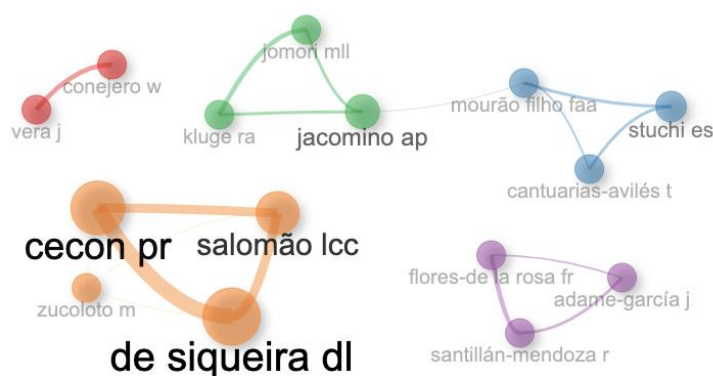


Figura 11. Colaboración entre autores.

En la **Tabla 5**, se encuentran las 10 revistas con mayor número de publicaciones, en la cual se proporciona información sobre el indicador Journal Rank (JR) 2024, el índice calculado a partir de SJR y finalmente la nacionalidad a la que pertenece cada una de las revistas. En el análisis realizado de revistas se puede observar que tres de las revistas son de Brasil, seguidas de Países bajos (1), Belgium (1), Estados Unidos (1), Francia (1), México (1), y Venezuela (1) mostrando una tendencia en los países en los cuales son productores, exportadores e importadores.

La revista *Acta horticulturae* de Brasil ocupa el primer lugar de la lista con 6.16% de artículos de limón Tahití publicados sobre el total de publicaciones. A comparación, de la revista *Journal of agricultural and Food chemistry* de los Estados Unidos, la cual se reconoce por su índice H que alcanza una puntuación de 358, a pesar de su contribución relativamente menor al total de trabajos que representa el 1.76%.

Tabla 5. Principales revistas científicas según cantidad de publicaciones.

Nº	Revista	% del total	SJR 2024	Cuartil SJR	H-index (SJR)	País	Área temática
1	Acta horticulturae	6,16%	0,158	Q4	74	Bélgica	Ciencias Agropecuarias y Biológicas
2	Revista brasileira de fruticultura	4,69%	0,288	Q2	39	Brasil	Ciencias Agropecuarias y Biológicas
3	Scientia horticultura	3,81%	0,899	Q1	155	Países Bajos	Ciencias Agropecuarias y Biológicas
4	Scientia agricola	2,05%	0,356	Q2	69	Brasil	Ciencias Agropecuarias y Biológicas
5	Tropical and subtropical agroecosystems	2,05%	0,180	Q4	24	México	Ciencias Agropecuarias y Biológicas
6	Ciencia rural	1,76%	0,228	Q3	48	Brasil	Ciencias Agropecuarias y Biológicas
7	Fruits	1,76%	0,195	Q4	40	Francia	Ciencias Agropecuarias y Biológicas
8	Journal of agricultural and food chemistry	1,76%	1,215	Q1	358	Estados Unidos	Ciencias Agropecuarias y Biológicas
9	Revista científica UDO agrícola	1,76%	-	-	12	Venezuela	Ciencias Agropecuarias y Biológicas
10	Florida entomologist	1,47%	0,322	Q3	64	Estados Unidos	Ciencias Agropecuarias y Biológicas

3.1.2. Árbol de la ciencia (*Tree of science*)

Los documentos más importantes en el tema de estudio se organizaron en cuatro componentes: 8 temáticas base (raíz), cinco temáticas estructurales (tronco), 3 ramas, y 16 perspectivas de investigación (hojas). Además, la implementación del algoritmo de clusterización planteado permitió la identificación de tres principales temáticas dentro de las hojas, que son: manejo integrado de plagas, rendimiento, calidad y vida útil, y aplicaciones del limón Tahití (**Figura 12**).

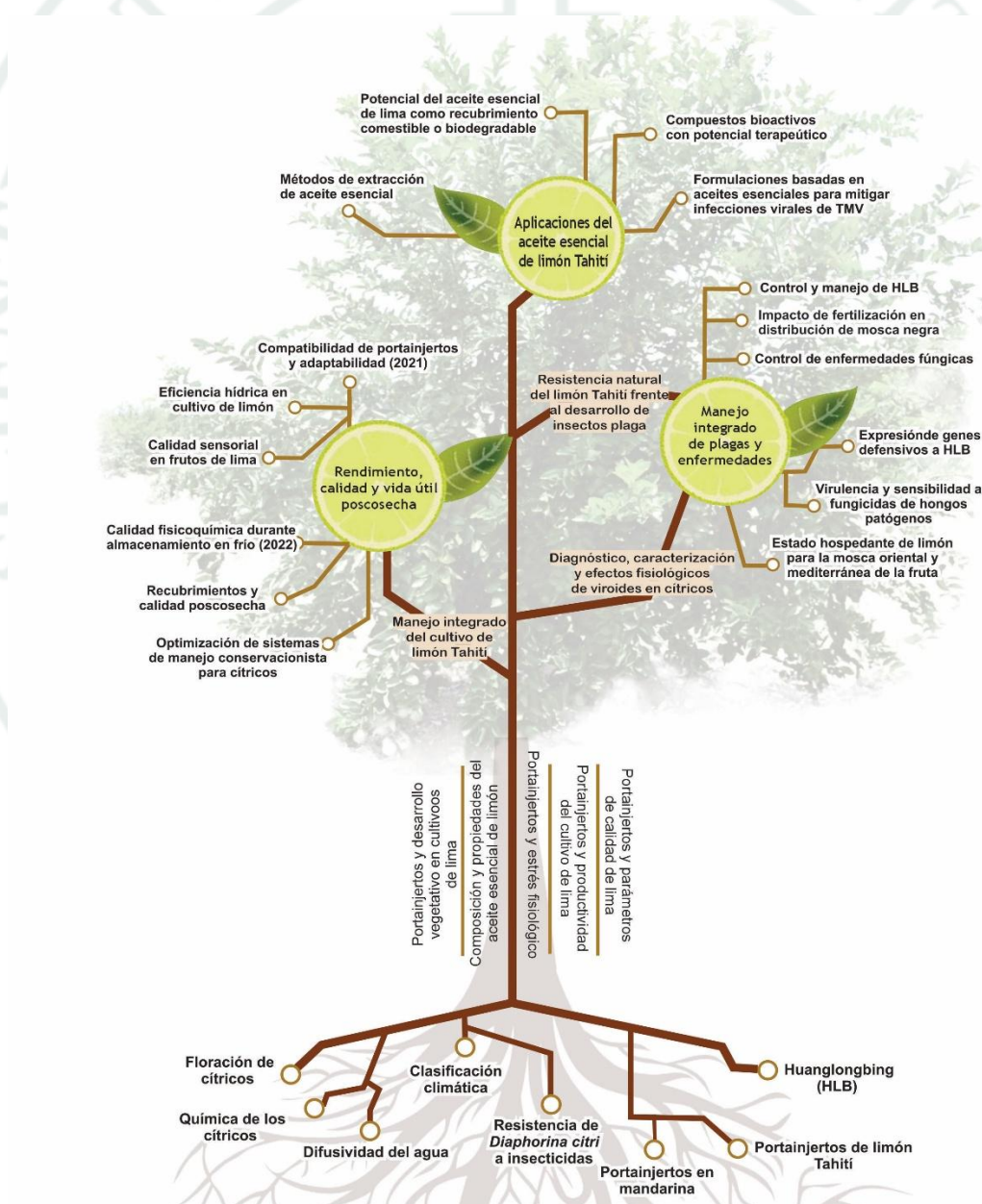


Figura 12. Árbol de la ciencia del limón Tahití.

3.1.3. Tendencias de investigación

a. Tendencia 1: manejo integrado de plagas y enfermedades

El cultivo de limón se enfrenta a factores bióticos y abióticos que reducen su producción, entre ellos las enfermedades causadas por plagas como la mosca oriental y mediterránea de la fruta, y la mosca negra de los cítricos, así como por microorganismos como *Lasiodiplodia* sp. y *Candidatus Liberibacter* spp. Una de las enfermedades más relevantes es el Huanglongbing (HLB), provocado por *Candidatus Liberibacter* spp. y transmitido por *Diaphorina citri*, sin tratamiento efectivo y con un impacto económico de hasta USD 2,7 mil millones como reportó California (63). Su manejo actual incluye control del vector, uso de genes asociados a la tolerancia, portainjertos y mejora de la respuesta inmune. Por ejemplo, Landa Cadena y otros (64) aislaron hongos entomopatógenos de psílidos asiáticos para reducir la población del vector; Preza Murrieta y colaboradores (65) identificaron genes *CIWRKY* como responsables de la tolerancia, mientras que Rosa et al. (66) descartaron implicación de genes *CDR*. Pérez Zarate et al. (67) demostraron que dosis bajas de macro y micronutrientes aplicados al suelo mejoran la respuesta fisiológica y hormonal; y Bettini y colaboradores (68) hallaron portainjertos con mayor tolerancia.

Otra amenaza, es la muerte regresiva en cítricos, causada principalmente por especies de *Lasiodiplodia* (*L. iraniensis*, *L. lignicola*, *L. mexicanensis*, *L. pseudotheobromae*, *L. subglobosa*, *L. brasiliense* y *L. theobromae*), según Núñez García (69) y Santillán Mendoza (70), quienes además evaluaron su sensibilidad a fungicidas comerciales.

En cuanto a plagas, la mosca oriental, la mosca mediterránea y la mosca negra de los cítricos provocan pérdidas, son difíciles de manejar y tienen restricciones

comerciales por su carácter cuarentenario. Follet y colaboradores (71) indicaron que el limón persa puede ser un no-huésped condicional para las dos primeras especies, mientras que Gomes y otros (72) observaron que la fertilización orgánica del cultivo reduce la incidencia de la mosca negra.

b. Tendencia 2: rendimiento, calidad y vida útil poscosecha

Los siguientes artículos abordan dos etapas clave durante la producción: el manejo en campo para obtener frutos con buenas características de calidad, y, las prácticas poscosecha necesarias para conservar dichas características el mayor tiempo posible.

En campo, el portainjerto cumple un papel fundamental en la adaptación, vigor, rendimiento y calidad del limón Tahití, aunque su desempeño depende de la interacción con el genotipo y otras variables agronómicas (73). Se ha reportado que los genotipos CNPMF 5059, Inconha y Eladio mejoran la producción comercial al injertarse sobre ‘Riverside’ citrandarin y ‘Swingle’ citrumelo (74). Asimismo, Tahití CNPMF-02, con portainjertos como ‘LCR-003’, ‘CTRI’, ‘CTRSD’ y otros, incrementa el desarrollo en altura, diámetro, volumen de copa y vigor; mientras que con ‘CTRSD’, 'TSKC × (LCR × TR)-059' y ‘LCR-003’ mejora longitud y masa (73). Esto resalta la necesidad de identificar portainjertos adecuados para cada genotipo o zona.

Aunque el limón Tahití presenta frutos de calidad en regiones tropicales, su expansión a nuevas áreas requiere seleccionar portainjertos compatibles con climas específicos para mantener los estándares de mercado (75). La interacción ambiente-portainjerto puede modificar características como tamaño, contenido de jugo, SST, acidez titulable y color (73). En Brasil, investigaciones utilizan la clasificación

climática de Köppen (76), evidenciando la relación entre bases conceptuales y enfoques actuales de investigación. Otros factores como sistemas de riego, siembra y manejo de malezas también contribuyen a optimizar el rendimiento sin afectar la calidad (77–79).

En poscosecha destacan: refrigeración y el uso de recubrimientos para prolongar la conservación. El almacenamiento en frío reduce el metabolismo y mantiene la calidad de las limas ácidas: a 10 °C el verdor se conserva hasta 28 días con mínima pérdida de peso (80), y a 12 °C se prolonga la vida útil sin tratamientos adicionales; en contraste, a 22 °C el uso de 1-metilciclopropeno (1-MCP) mantiene parámetros como respiración, jugo, SST y flavonoides hasta 20 días (81). Entre los recubrimientos, el quitosano ha demostrado reducir patógenos y etileno, y combinado con 1-MCP y aceite esencial de *Litsea glaucescens* al 1,0 y 1,3% p/v mejora apariencia, turgencia y color (81,82). De igual forma, ceras como carnauba y goma laca disminuyen significativamente la pérdida de peso (83).

En resumen, esta perspectiva resalta la importancia de aplicar nuevas metodologías y/o tratamientos tanto en el cultivo como en poscosecha del limón Tahití, con el objetivo de mejorar su rendimiento y calidad para el comercio nacional e internacional.

c. Tendencia 3: aplicaciones del uso de aceites esenciales del limón Tahití

En el presente apartado se describen las investigaciones recopiladas en torno a los aceites esenciales, particularmente de cítricos como la lima persa, el limón Tahití y el limoncillo, en diversas áreas, desde la conservación de alimentos hasta la protección vegetal. En el sector alimentario, se ha demostrado que los recubrimientos comestibles con nanoemulsiones de aceite esencial de lima persa, combinados con

empaques y captadores de oxígeno, prolongan significativamente la vida útil de productos perecederos como la trucha arcoíris, gracias a sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes (84). De igual manera, el uso de aceites esenciales en la elaboración de películas biodegradables a base de quitosano no solo mejora sus propiedades mecánicas y térmicas, sino que también agrega valor al cultivo de la lima Tahití al ofrecer una alternativa sostenible al uso de residuos, alineados con los principios de economía sostenible (85).

En el sector agrícola, se han desarrollado aplicaciones innovadoras de los aceites esenciales como las nanoemulsiones cargadas con aceites de árbol de té y cáscara de lima que reducen la expresión del virus del mosaico del tabaco en plantas de tabaco, lo cual representa un enfoque ecológico frente a las infecciones virales en cultivos (86). Por su parte en el campo farmacéutico, se ha investigado el potencial ansiolítico de diversas especies del género *Citrus*, resaltando el valor terapéutico de especies subutilizadas y sus compuestos bioactivos como alternativas naturales para el tratamiento de trastornos de ansiedad (87). Asimismo, se ha explorado la eficiencia y optimización de métodos de extracción de aceites esenciales, como el prensado y la hidrodestilación, revelando diferencias significativas en el rendimiento, la concentración de D-limoneno y la calidad sensorial del producto final (88).

A partir de estas investigaciones se sugieren algunas líneas de trabajo con aceites esenciales de cítricos, como la optimización de las condiciones de extracción para mejorar su rendimiento y pureza, además de evaluar su actividad biológica frente a distintos patógenos y aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. También se plantea el estudio de formulaciones activas y biodegradables que integren aceites esenciales en empaques inteligentes.

Finalmente, la identificación de nuevos compuestos terapéuticos derivados de aceites esenciales derivados de especies cítricas, la realización de estudios clínicos y de bioactividad, constituyen un camino prometedor de investigación.

3.1.4. Futuras líneas de investigación

La **Tabla 6** explora la primera y segunda tendencia por mayor afinidad al tema de investigación, y revela diversas líneas de investigación a futuro en el limón Tahití.

Tabla 6. *Perspectivas de investigación en el cultivo de limón Tahití, tendencia 1 y 2.*

Tendencias	Futura línea de investigación	Referencias
Tendencia 1: Manejo integrado de Plagas	Fertilización fraccionada con bajas dosis de macronutrientes y micronutrientes frente a Huanglongbing (HLB).	(67)
	Uso de hongos endófitos como agentes de control biológico para reducir la población de <i>Diaphorina citri</i> y la incidencia del Huanglongbing (HLB) en cítricos.	(64)
	Mejoramiento genético basado en edición génica o cruzamientos genéticos para el control del Huanglongbing (HLB) y comparación de transcriptomas para revelar genes de resistencia no identificados.	(65,66)

Búsqueda de genes y rutas moleculares que
expliquen la tolerancia al HLB en *Citrus* (66)
latifolia.

Análisis proteómicos y epigenéticos para
detectar mecanismos post-transcripcionales (66)
involucrados en la resistencia genética de
plantas.

Evaluación de la sensibilidad o resistencia a
fungicidas de los hongos causantes de canchros, (69)
gomosis y muerte regresiva de ramas y brotes en
el limón.

Evaluación del comportamiento del cultivo de
limón Tahití en diferentes condiciones (78)
climáticas y tipos de suelo.

Efecto del silicato de potasio en combinación
con otros bioinsumos como extractos vegetales (78)
o microorganismos benéficos para potenciar el
control de plagas en cítricos.

Evaluación del desempeño de nuevos
portainjertos bajo condiciones tropicales (73)
extremas.

	Optimización de formulaciones y combinación con otros aceites esenciales o biocompuestos.	(65)
	Evaluación de recubrimientos de diferente origen y el efecto de temperatura en frío.	(81,83)
Tendencia 2:		
Rendimiento,	Efecto de prácticas agronómicas	
calidad y vida	complementarias en combinación con distintos	
útil poscosecha	portainjertos, para potenciar parámetros clave de calidad comercial.	(73)

Como se observa en la **Tabla 6**, las perspectivas futuras de limón Tahití se orientan hacia la integración de disciplinas sobre fisiología y genética vegetal hasta calidad comercial con el objetivo de promover sistemas citrícolas resilientes y sostenibles.

Se destacan estudios sobre el uso de portainjertos adaptados a distintas condiciones ambientales y programas de fertilización basados en insumos biológicos o naturales para reducir las pérdidas del cultivo y mejorar su valor comercial. Según el análisis realizado, las principales líneas de investigación buscan modular respuestas fisiológicas ante el HLB (67), control biológico contra el vector *Diaphorina citri* (64) y prevenir el desarrollo de enfermedades fúngicas causadas por patógenos como *Lasioidiplodia* spp. (70). Asimismo, se identifica un creciente interés por optimizar la calidad y el valor comercial de los frutos de limón Tahití mediante la identificación de portainjertos que favorezcan el rendimiento y el cumplimiento de los estándares de mercado (73,75), así como tecnologías poscosecha para prolongar la vida útil del fruto, destacando los recubrimientos de origen natural; como la cera carnauba y goma laca; por su potencial para mantener su calidad comercial y ofrecer alternativas económicamente viables para la cadena productiva (81–83) .

3.1.5. Tendencia de investigación en nutrición y fertilización vegetal

Considerando que la fertilización vegetal fue identificada como una de las áreas con potencial de desarrollo futuro en *Citrus latifolia*, se realizó una breve revisión complementaria de literatura científica relacionada con esta temática para identificar las oportunidades de estudio aún poco exploradas (**Tabla 7**). Esto se realizó en la plataforma de Google académico con los términos: biofertilizante AND poscosecha; considerando tesis y artículos de 2015-2025.

Durante la última década, las investigaciones sobre fertilización agrícola se han enfocado en la reducción parcial de fertilizantes sintéticos complementada con microorganismos promotores de crecimiento (PGPM): hongos micorrizicos, *Bacillus* spp., *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum brasilense* (89–91); o materia orgánica como compost, lombricomposta y estiércol, con el objetivo de mantener la productividad de los cultivos sin comprometer la salud del suelo (89,92).

La literatura disponible evidencia que la mayoría de investigaciones se centran en variables asociadas al rendimiento y la calidad comercial como: producción total, peso, tamaño y sólidos solubles totales de los frutos. Sin embargo, la evaluación poscosecha también ha adquirido relevancia debido a que permite verificar si los beneficios obtenidos en campo se mantienen durante el almacenamiento. En pepino cv. Sanson, se estudiaron variantes de la solución Steiner y las formulaciones de Morard y Benavides, con el objetivo de determinar su influencia sobre la calidad de los frutos durante el almacenamiento (93). En lechuga, se comparó el uso de lombricomposta elaborada a partir de pulpa de café y heces de borrego frente a fertilizantes químicos, revelando que el uso de lombricomposta fue superior al mantener la luminosidad y el contenido de polifenoles y flavonoides totales durante 10 días de almacenamiento (94). Por parte de los biofertilizantes, en papaya se analizó la calidad poscosecha de frutos provenientes de plantas inoculadas con el hongo

micorrízico *Glomus mosseae*, probando ser una estrategia sustentable para reducir la tasa de deshidratación y retrasar la pérdida de firmeza (91). Asimismo, diversos estudios han evaluado esquemas combinados basados en la reducción parcial de la fertilización mineral NPK y su complementación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal, como *Bacillus sp.* y *Azospirillum sp.*, lo que permitió reducir un 33% la dosis química sin afectar el rendimiento (89). En este contexto, numerosos autores coinciden en que una nutrición equilibrada, particularmente con elementos como calcio, potasio y silicio, contribuye no solo al incremento del tamaño y rendimiento de los frutos, sino también al fortalecimiento estructural de los tejidos, favoreciendo una mayor resistencia frente al daño mecánico, la incidencia de patógenos y los procesos naturales de deterioro poscosecha (95–98). A pesar de ello, los temas relacionados con el rendimiento, producción del cultivo y la calidad visual al momento de la cosecha continúan concentrando la mayor atención científica debido a su estrecha relación con la rentabilidad y las exigencias inmediatas del mercado, dejando aún oportunidades de investigación respecto a la influencia de los programas de fertilización sobre la conservación de la calidad durante el almacenamiento poscosecha, sobre todo en limón Tahití.

Tabla 7. Síntesis de la revisión bibliográfica sobre estrategias de fertilización.

Cultivo	Tipo de fertilizante	Variables evaluadas	Hallazgo relevante	Bibliografía
Marañón	Orgánica (Lixiviado de lombriz y biofermento)	Rendimiento, polifenoles, grasa y acidez	La fertilización orgánica incrementó en un 81% el contenido de polifenoles y mejoró significativamente la calidad del fruto cosechado.	(92)
Pepino	Inorgánica (Soluciones Steiner vs. Morard y Benavides)	Pérdida de peso, SST, acidez y clorofila	La solución Morard y Benavides al 100% proporcionó la mejor calidad poscosecha, atribuyéndose a su mayor contenido de fósforo y calcio.	(93)
Fresa	Orgánica (Humus y lixiviado de lombriz)	Peso, diámetros, SST y número de frutos	El uso combinado de humus y lixiviado de lombriz mejoró notablemente las características organolépticas, aroma y sabor del fruto.	(99)
Melón	Mixta (Inorgánica + <i>Bacillus</i> y <i>Azospirillum</i>)	Rendimiento, peso, SST y diámetros	La reducción del 33% del fertilizante químico suplementada con biofertilizantes logró rendimientos superiores a la dosis tradicional de forma sustentable.	(89)
Uva	Inorgánica (Foliar con Cloruro de Calcio)	Firmeza, pérdida de peso y expresión de genes (<i>CER1</i> , <i>WAX2</i>)	La aplicación de calcio en floración regula genes de biosíntesis de ceras, creando una barrera física que minimiza la deshidratación poscosecha.	(98)

Aguacate 'Hass'	Mineral, Orgánica y Combinada	Rendimiento, calidad, materia seca y firmeza	El fertilizante orgánico destacó en rendimiento de campo, pero la fuente mineral proporcionó frutos con mejor comportamiento y calidad poscosecha.	(100)
Papaya	Química, orgánica e inoculante biológico	Agronómicas, productivas, de calidad y económicas	La fertilización química mostró los mejores resultados en crecimiento, rendimiento y calidad del fruto.	(101)
Limón Assam	Biofertilizantes, Orgánicos e Inorgánicos	Estado de nutrientes del suelo y calidad	La integración de diversas fuentes de nutrición optimizó la disponibilidad de elementos esenciales y el rendimiento final del limón.	(102)
Lechuga	Orgánica (Lombricomposta de café)	Polifenoles, flavonoides y antioxidantes	La lombricomposta conserva mejor los compuestos bioactivos y la luminosidad de las hojas durante el almacenamiento refrigerado.	(94)
Papaya	Biofertilización (Micorrizas <i>Glomus mosseae</i>)	Firmeza, pérdida de peso y actividad enzimática PME	Los frutos inoculados con micorrizas presentaron menores pérdidas de firmeza debido a una mayor estabilidad de las paredes celulares.	(91)
Manzano	Mixta (NPK + Nanopartículas Se y Zn)	Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante	La suplementación con nanopartículas de selenio y zinc incrementó significativamente el contenido nutricional y la resistencia del fruto.	(103)

Chile Chiltepín	Biofertilización (Humus y ARCHÉ)	pH, acidez titulable y grados Brix	La aplicación foliar de biofertilizantes a base de nopal (ARCHÉ) favoreció la acumulación de sólidos solubles sin afectar negativamente el pH.	(104)
Pepino	Biofertilización (Azospirillum/Bacillus) + NPK reducido	Fotosíntesis, rendimiento, firmeza y pérdida de peso	Reducir el nitrógeno químico al 50% suplementado con biofertilizantes mantiene la calidad del fruto y es una alternativa ecológicamente viable.	(95)
Calabacita	Bioestimulantes (<i>Azotobacter</i> y oligosacarinas)	Vitamina C, proteínas y actividad de SOD/CAT	Los tratamientos mejoraron la calidad nutracéutica y redujeron el estrés oxidativo tisular, prolongando la vida de anaquel.	(90)
Rambután	Inorgánica (Foliar)	Firmeza del pericarpio y apariencia visual	La combinación de fertilización foliar adecuada aumentó la firmeza del fruto en un 29%, cumpliendo con estándares de exportación.	(105)
Lima Tahití	Inorgánica (Láminas de riego y Nitrógeno)	Peso, jugo, acidez y vitamina C	El mayor suministro de agua y un nivel alto de nitrógeno (N ₂) optimizaron las características comerciales para mercados internacionales.	(106)
Patata / Brócoli	Mixta (Inoculantes + NPK reducido)	Peso medio, firmeza y almidón	La combinación de bacterias y hongos con fertilización reducida aumentó el peso y firmeza de los tubérculos en comparación con el químico completo.	(36)
Lechuga	Biofertilizante (<i>Fertibacter</i>)	Variación de peso, color e incidencia de plagas	El uso de <i>Fertibacter</i> no solo mejoró el rendimiento en campo, sino que redujo significativamente la pérdida de peso en poscosecha.	(107)

Jitomate	Biofertilización (Microalgas <i>Chlorella</i> sp.)	Diámetro polar, número de frutos y color	Las microalgas aumentaron la productividad y retrasaron significativamente los cambios de color durante el almacenamiento de los frutos.	(108)
Arándano	Bioestimulantes microbianos (<i>Bacillus</i> <i>subtilis</i>)	Rendimiento por planta y calibre exportable	La inoculación con <i>Bacillus subtilis</i> optimizó el rendimiento total y mejoró la proporción de frutos con calibre comercial de exportación.	(109)
Feijoa	Inorgánica (Foliar con Silicato de Mg)	Firmeza, vitamina C y pérdida de peso	El tratamiento con silicio más el almacenamiento a baja temperatura (0°C y 8°C) preservaron mejor la capacidad antioxidante y firmeza.	(96)



3.2. Análisis experimental

3.2.1. Variables fisicoquímicas

a. Diámetro horizontal

La **Tabla 8** presenta las medias del diámetro horizontal (ecuatorial) de los subconjuntos independientes de frutos evaluados en cada tiempo de almacenamiento. Los resultados muestran que no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p>0.05$) y que hasta el día 35, los datos se mantuvieron alrededor de los 50 mm de diámetro.

Aunque no se realizó un seguimiento individual de los mismos frutos, la **Figura 13** muestra el comportamiento general del lote de cada tratamiento, donde se observa que el diámetro promedio de los frutos se mantiene relativamente estable del día 0 al 35. Esto concuerda con la naturaleza no climatérica del limón que no experimenta crecimiento ni cambios fisiológicos drásticos después de la cosecha (110). Aunque la deshidratación durante el almacenamiento puede ocasionar pérdidas de masa y una reducción del rendimiento de jugo, su efecto sobre el diámetro del fruto suele ser limitado (111). Por ello, la disponibilidad y eficiencia en el aprovechamiento de nutrientes son importantes durante el desarrollo del cultivo, ya que el diámetro del fruto depende principalmente de los procesos de crecimiento previos a la cosecha (112).

Arévalo (113) en su evaluación de parámetros de calidad a partir de seis portainjertos de limón Tahití reportó pérdidas de diámetro transversal en los frutos entre 2,2 % y 4,2 % después de 15 días de almacenamiento, atribuyendo este comportamiento a los cambios físicos ocurridos durante la conservación poscosecha. Los resultados del presente trabajo superaron la preservación del diámetro hasta los 35 días, e indican que de por sí, las prácticas de fertilización del agricultor (tratamiento control) garantizan la conservación de esta variable y que los tratamientos 1 y 2 tienen el mismo efecto.

Tabla 8. Comparación del diámetro ecuatorial (mm) del limón Tahití por día de medición y según los tratamientos.

Tratamientos	Diámetro (mm)					
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
Control	52.02 ± 3.99 ^a	55.86 ± 1.48 ^a	57.22 ± 6.30 ^a	54.54 ± 2.60 ^a	55.39 ± 3.68 ^a	54.23 ± 3.45 ^a
T1	50.64 ± 6.18 ^a	54.93 ± 3.19 ^a	54.00 ± 4.23 ^a	52.49 ± 4.29 ^a	49.97 ± 3.59 ^a	50.62 ± 3.10 ^a
T2	54.84 ± 11.81 ^a	54.69 ± 4.03 ^a	52.94 ± 1.99 ^a	54.00 ± 4.21 ^a	53.35 ± 4.04 ^a	51.91 ± 3.04 ^a

Nota: Los valores corresponden a la media ± desviación estándar (n = 10). Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Pruebas aplicadas: Kruskal-Wallis (día 0); ANOVA+Tukey HSD (días 7, 14, 21, 28 y 35).

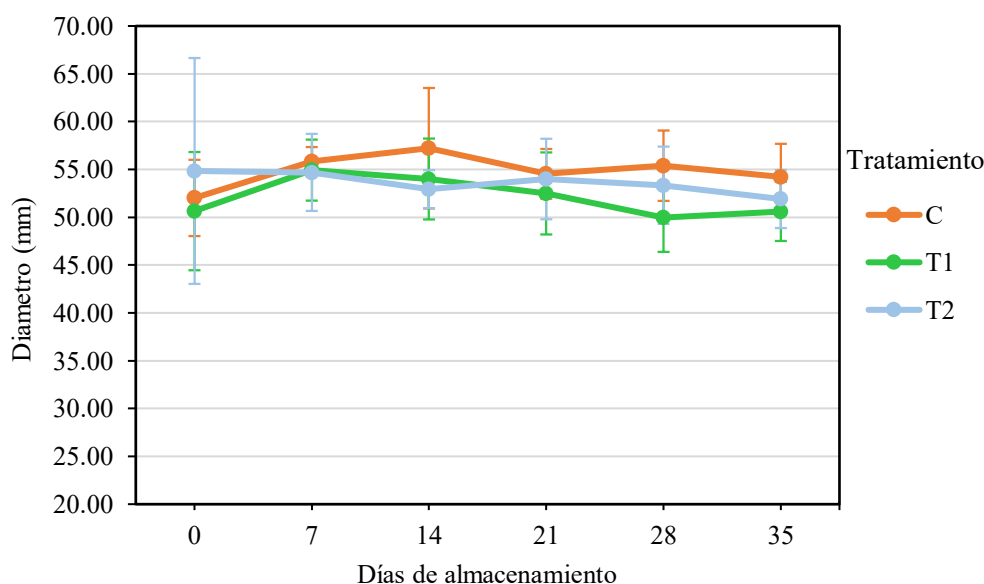


Figura 13. Evolución del crecimiento del diámetro ecuatorial (mm) del limón Tahití por día de medición y según los tratamientos (**Control:** vertimec®, nordox®, botamisol® y cabtrac®, **T1:** Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, **T2:** Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo).

Por otro lado, respecto a la calidad de los frutos, la Norma Técnica Colombiana en su versión actualizada establece diferentes clasificaciones de calibre según el diámetro de la sección ecuatorial del fruto (56), por lo que se calculó una media general por tratamiento al

día cero de almacenamiento. La **Tabla 9** muestra que, en promedio, los frutos del T1 (49.6 mm) igualaron en calibre al grupo control (52.5 mm) siendo clasificados como calibre C, mientras que los frutos del T2, con un diámetro promedio de 55.1 mm se categorizaron un nivel más arriba (Calibre B).

Tabla 9. *Clasificación de calibre comercial según la NTC 4087, 2021 (56) de las medias por tratamiento en el día cero.*

Tratamientos	Diámetro (mm)	Código de calibre
Control	52.5 ± 10.6	C
T1	49.6 ± 11.0	C
T2	55.1 ± 6.06	B

Nota: Los valores corresponden a la media ± desviación estándar (n = 60).

b. Firmeza

El análisis estadístico de la **Tabla 10** revela que no existen diferencias significativas entre tratamientos durante el almacenamiento poscosecha y que en cada día los frutos alcanzan valores cercanos o iguales a 14.00 N. Asimismo, en la **Figura 14** se observa que durante los 35 días de almacenamiento los valores de firmeza se mantienen constantes en todos los grupos, con ligeras variaciones en el día 0 y 28. Se conoce que la firmeza en cítricos tiende a disminuir con el tiempo como consecuencia a la hidrólisis enzimática (pectinesterasas y poligalacturonasas) de pectinas y otros polisacáridos estructurales de la pared celular (114). No obstante, el mantenimiento de la firmeza observado en el presente estudio concuerda con la investigación de Maftoonazad y Ramaswamy (114), donde el almacenamiento a 10°C redujo la velocidad de pérdida de firmeza, mientras que temperaturas elevadas (15°C y 25°C) aceleraron los cambios estructurales de los tejidos, incrementando la constante cinética de degradación y disminuyendo el tiempo de conservación del atributo.

Tabla 10. Comparación de la firmeza (N) de frutos de limón Tahití por día de medición y según tratamientos.

Tratamientos	Firmeza (N)					
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
Control	13.52 ± 0.85 ^a	14.00 ± 0.00 ^a	14.00 ± 0.00 ^a	14.00 ± 0.00 ^a	13.72 ± 0.79 ^a	14.00 ± 0.00 ^a
T1	13.97 ± 0.10 ^a	14.00 ± 0.00 ^a	13.93 ± 0.16 ^a	14.00 ± 0.00 ^a	14.00 ± 0.00 ^a	14.00 ± 0.00 ^a
T2	13.58 ± 1.19 ^a	14.00 ± 0.00 ^a	14.00 ± 0.00 ^a	13.99 ± 0.03 ^a	14.00 ± 0.00 ^a	14.00 ± 0.00 ^a

Nota: Los valores corresponden a la media ± desviación estándar (n = 10). Letras iguales en la misma columna indican ausencia de diferencias significativas entre tratamientos (Kruskal-Wallis; p > 0.05).

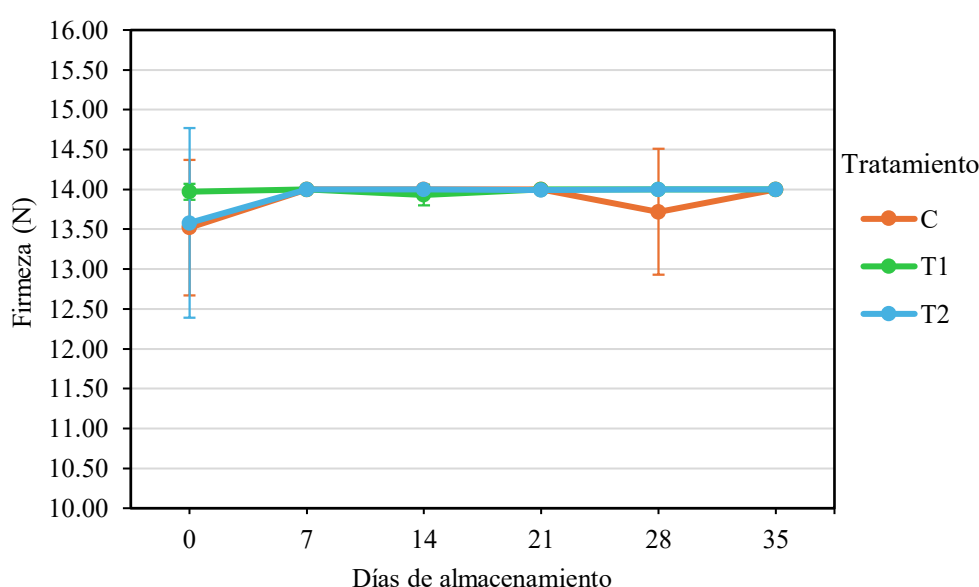


Figura 14. Evolución de la firmeza del limón Tahití por día de medición y según los tratamientos. (**Control:** vertimec®, nordox®, botamisol® y cabtrac®, **T1:** Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, **T2:** Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo).

En base a los valores referencia del tratamiento control, se identifica que T1 y T2 igualaron el rendimiento y buen estado fisiológico de los frutos en poscosecha, lo cual está vinculado a la nutrición en campo proporcionado por los fertilizantes que incluían calcio (Basfoliar® Calcio y Polysulphate®). El calcio constituye un componente fundamental de la pared celular de las plantas, especialmente en la lámina media donde mantiene unidos los microtúbulos en forma de pectato de calcio, por lo que proporciona resistencia y firmeza a

los tejidos (97,115,116). En frutos de fresa Trejo y Gómez (117) encontraron que los frutos con mayor contenido de calcio presentaron una firmeza significativamente superior en comparación de aquellos con menores concentraciones de este nutriente. De igual forma, en frutos de palta “Hass”, aquellos con fertilización mineral a base de calcio presentaron una firmeza significativamente superior a los del tratamiento testigo que no tenían calcio (100). Así, que los frutos de lima ácida Tahití mantuvieran su firmeza durante los 35 días de almacenamiento en todos los grupos, sugiere una adecuada integridad estructural de los tejidos.

c. Pérdida de peso

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre tratamientos en la mayoría de los periodos evaluados, a excepción de los días 21 y 35 (**Tabla 11**). El día 21 el grupo Control (2.31%) presenta una pérdida de peso menor al T1 (3.46%), diferencia que resulta estadísticamente significativa. El T2 se ubica en un punto intermedio (2.63%), sin diferenciarse claramente de los otros dos. Esto indica que, hacia la tercera semana, los limones sometidos al T1 podrían haber acelerado la tasa de transpiración o sufrido alguna ligera alteración de la barrera cuticular como parte del proceso de senescencia (110). El último día de evaluación, el grupo Control (8.93%) presenta una pérdida de peso significativamente menor que el T1 y T2, que alcanzan valores superiores al 10% (10.92% y 11.45% respectivamente).

La tendencia de la **Figura 15** muestra que esta variable aumenta con el tiempo, identificando porcentajes de pérdida de peso relativamente bajas hasta el día 21 (2–3 %), seguidas de un incremento más marcado el día 28 que alcanzó aproximadamente el 6 %. Esto encaja con Blum J. y Ayub R. (110), quienes mencionan que la pérdida de peso en cítricos suele ser

lenta durante la primera etapa debido a una menor tasa de transpiración al inicio del almacenamiento.

Tabla 11. Comparación del porcentaje de pérdida de peso del limón Tahití por día de medición y según los tratamientos.

Tratamientos	Pérdida de peso (%)					
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
Control	0.00 ± 0.00 ^a	0.09 ± 0.03 ^a	1.47 ± 1.04 ^a	2.31 ± 0.71 ^b	5.93 ± 1.48 ^a	8.93 ± 1.15 ^b
T1	0.00 ± 0.00 ^a	0.09 ± 0.02 ^a	2.00 ± 1.44 ^a	3.46 ± 0.85 ^a	6.48 ± 1.04 ^a	10.92 ± 1.53 ^a
T2	0.00 ± 0.00 ^a	0.07 ± 0.04 ^a	1.60 ± 1.46 ^a	2.63 ± 0.65 ^{ab}	6.23 ± 1.48 ^a	11.45 ± 1.85 ^a

Nota: Los valores corresponden a la media ± desviación estándar (n = 10). Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas (p < 0.05). Pruebas aplicadas: ANOVA+Tukey HSD.

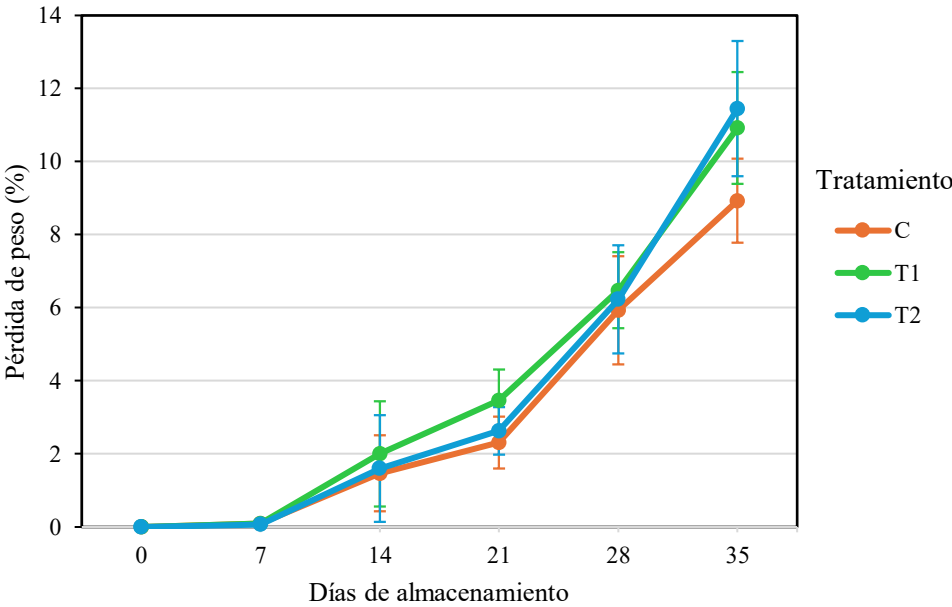


Figura 15. Evolución de la pérdida de peso (%) del limón Tahití por día de medición y según los tratamientos (**Control:** vertimec®, nordox®, botamisol® y cabtrac®, **T1:** Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, **T2:** Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo).

La pérdida de peso en frutos cítricos se debe principalmente a la transpiración, es decir, a la pérdida de agua en forma de vapor (difusión de vapor de agua) que va desde el interior del fruto hacia el ambiente a través de la cáscara del fruto, la cual actúa como una barrera semipermeable (114). Los resultados del día 35 indican que T1 y T2 favorecieron una mayor deshidratación acumulada en comparación con el control, lo cual estaría relacionado a diferencias en cutícula y ceras epicuticulares; componentes de la parte externa de la cáscara. Yang H. y coautores (118) reportaron que la eficacia de esta barrera depende de factores como la proporción de compuestos alifáticos de cadena larga y la expresión de genes involucrados en la acumulación de alcanos C29 y C31, compuestos asociados con una menor permeabilidad cuticular. Asimismo, estudios en uva han demostrado que el calcio modula la expresión de genes clave; como *CER1 (ECERIFERUM1)*, *CER3 (ECERIFERUM3)* y *WAX2 (Wax Biosynthesis Protein 2)*; para la síntesis de componentes de la cera cuticular, y que su aplicación como fertilizante durante la etapa de floración coincidió con el pico más alto de la expresión de estos genes (98). Aunque no se evaluó la composición de la cutícula, no puede descartarse que la adición de Polysulphate® en T1; fuente de calcio, magnesio y azufre; haya influido en la estructura o composición de esta barrera protectora. Sin embargo, desde el punto de vista estadístico, ni T1 ni T2 lograron reducir la pérdida de peso de los frutos en comparación con el tratamiento control.

Adicionalmente, en la **Tabla 12** se reporta la clasificación del calibre de las medias de peso por tratamiento a modo de determinar si cumplen con los mínimos requeridos por la norma. Se determinó que los frutos del T1 mostraron el mayor peso promedio (104.43 g) y por ende la mejor categorización, por el contrario, los frutos del T2, obtuvieron el menor promedio en peso (89.56 g) con asignación de calibre D. A pesar de las diferencias, las medias de los tres grupos de evaluación se mantuvieron dentro de los rangos comerciales establecidos (56).

Tabla 12. Clasificación de calibre comercial según la escala de la NTC 4087, 2021 (56) de las medias de peso (g) por tratamiento en el día cero.

Tratamientos	Peso (g)	Código de calibre
Control	99.73 ± 10.5	C
T1	104.43 ± 29.2	B
T2	89.56 ± 11.6	D

d. Acidez titulable (%)

La **Figura 16** muestra que hasta el día 21, los valores del porcentaje de acidez o acidez titulable (TA) variaron moderadamente sin una tendencia definida, sin embargo, en las siguientes fechas de evaluación se evidenció un aumento progresivo en los valores promedio de todos los tratamientos, destacando T2 por presentar el mayor incremento y los valores finales más elevados. Asimismo, el análisis estadístico muestra que no existe diferencia significativa entre los tres tratamientos, excepto al día cero, 28 y 35, donde el T2 registró los porcentajes más altos, culminando con una acidez total del 9.04%, superior al Control (8.11%) y al T1 (8.36%) (**Tabla 13**).

Tabla 13. Porcentaje de acidez del limón Tahití según tratamientos y días de evaluación.

Tratamientos	Acidez (%)					
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
Control	6.65 ± 0.74 ^b	7.11 ± 0.77 ^a	7.13 ± 0.42 ^a	7.05 ± 0.39 ^a	8.11 ± 0.38 ^b	8.11 ± 0.88 ^b
T1	7.33 ± 0.42 ^a	7.28 ± 0.67 ^a	7.18 ± 0.41 ^a	7.38 ± 0.34 ^a	7.76 ± 0.66 ^b	8.36 ± 0.58 ^{ab}
T2	7.64 ± 0.50 ^a	7.41 ± 0.27 ^a	6.70 ± 0.73 ^a	6.96 ± 0.61 ^a	8.88 ± 0.48 ^a	9.04 ± 0.82 ^a

Nota: Los valores corresponden a la media ± desviación estándar (n = 10). Letras diferentes en una misma columna denotan diferencias significativas (p < 0.05). Pruebas aplicadas: ANOVA + Tukey HSD.

Según la NTC 4087 del 2021 (56) el porcentaje mínimo de acidez para exportación es del 5%, por lo que, teniendo en cuenta los valores promedio registrados el día cero, todos los tratamientos cumplen con el criterio establecido. Ahora bien, la diferencia inicial entre el

control (6.65%), T1 (7.33%) y T2 (7.64%) se debe a la concentración de ácidos orgánicos condicionado por la fertilización durante el desarrollo del cultivo. Abobatta W. y colaboradores (119), mencionan que las condiciones nutricionales previas a la cosecha pueden modificar el metabolismo primario del fruto y, por ende, la concentración inicial de ácidos orgánicos en el jugo. Se ha reportado que N y K están asociados a la acumulación de compuestos ácidos, sobretudo el potasio que contribuye al aumento de ácido ascórbico (vitamina C), indicador de valor nutricional y calidad en el limón (95,120,121). Asimismo, se sabe que bioestimulantes del género *Bacillus* spp. mejoran la absorción de nutrientes esenciales como NPK (109), lo que puede influir en el metabolismo de compuestos ácidos del fruto.

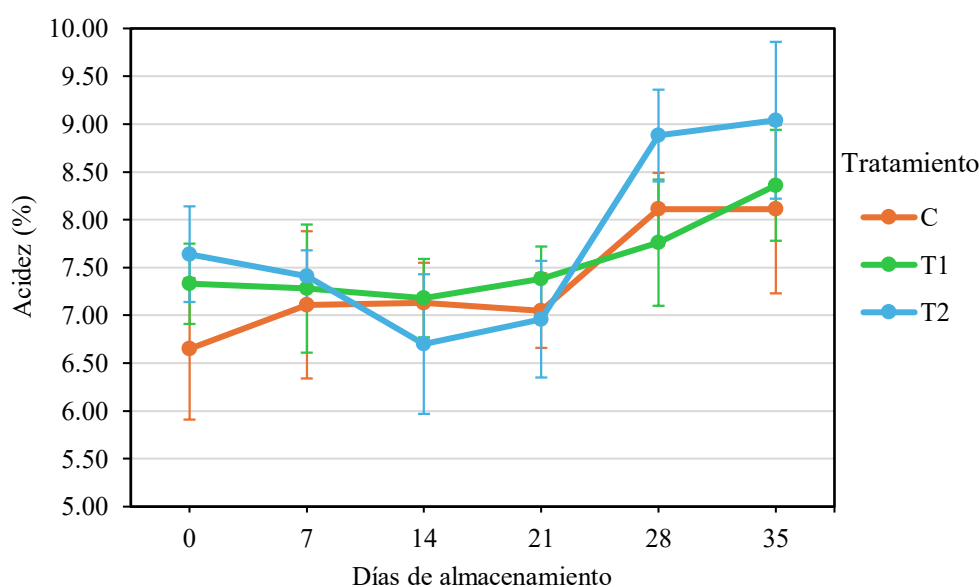


Figura 16. Evolución del porcentaje de acidez del limón Tahití por día de medición y según los tratamientos (**Control:** vertimec®, nordox®, botamisol® y cabtrac®, **T1:** Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, **T2:** Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo).

Normalmente, la TA tiende a disminuir conforme avanza la senescencia, ya sea por respiración, oxidación o conversión de ácidos en azúcares (122–124). Sin embargo, las fluctuaciones observadas en este estudio no responden a la misma tendencia. Resultados similares fueron observados por Eaks y Masias (121) donde los frutos de lima (*Citrus aurantifolia*) aumentaron el porcentaje de acidez de 5.25% a 5.8% durante ocho semanas de almacenamiento a 10°C, asociado al aumento en el volumen de jugo extraíble y a la acidez total en gramos. En rambután, fruto no climatérico, el aumento de la AT ha sido asociado a una redistribución metabólica de los ácidos orgánicos, caracterizada por la disminución del ácido málico y el aumento compensatorio de otros ácidos como el cítrico, succínico, levulínico y láctico. Según autores, estas variaciones responden a ajustes metabólicos inducidos por condiciones de estrés (105). De hecho, se reporta que la oleocelosis puede reconfigurar el metabolismo lipídico del fruto al inducir la degradación de lípidos de membrana y la acumulación de ácidos grasos libres (C16–C18) como resultado al daño oxidativo y la peroxidación lipídica (34), además, induce a una acumulación significativa de sustancias como ácido salicílico, ácido p-cumárico, coniferina y diversos flavonoides, los cuales actúan como barreras químicas y físicas (125). Este explica la disminución inicial y el posterior incremento de la acidez titulable observados en el tratamiento T2 (Figura 16), sugiriendo posibles cambios en el metabolismo de los ácidos orgánicos durante el almacenamiento.

Por otro lado, en la investigación de Blum J. y Ayub R. (110) se demostró que limas ‘Tahití’ almacenadas a temperatura ambiente pueden mostrar un aumento lineal de la AT, explicado por la concentración de los componentes del jugo debido a pérdidas de agua elevadas, evidenciado por el incremento sostenido del porcentaje de pérdida de peso. En el presente trabajo, aunque a 10°C, se identifica un comportamiento similar, pues los porcentajes de PP

aumentaron progresivamente para los tres grupos, siendo el T2 el que mostró el mayor % de PP, seguido por T1 y por último el control.

e. pH

La Tabla 11 muestra que, a excepción del día cero, no hay diferencias significativas entre tratamientos en los valores promedio de pH (**Tabla 14**). En el día 0, el grupo Control presenta un valor de pH más elevado (2.01) en comparación con el T1 (1.77) y el T2 (1.86), lo que indica que los fertilizantes aplicados influyeron en la acidez inicial del jugo. Esta diferencia inicial es relevante porque el pH es un indicador directo de la calidad sensorial y de la estabilidad del producto (90,126). La NTC 4087-2021 no establece un valor específico de pH para limón Tahití, sin embargo, Castro Barrios A. y colaboradores (127) reportan un rango comercial de 2.2-2.5 en el contexto peruano. Los resultados se encuentran por debajo de este intervalo, lo que está relacionado a la acidez titulable de los frutos, donde se identificaron altos porcentajes de AT.

Tabla 14. *Valores de pH del jugo de limón Tahití según tratamientos y días de evaluación.*

Tratamientos	pH					
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
Control	2.01 ± 0.11 ^a	2.10 ± 0.05 ^a	2.04 ± 0.05 ^a	2.07 ± 0.04 ^a	2.10 ± 0.04 ^a	2.10 ± 0.06 ^a
T1	1.77 ± 0.07 ^b	2.05 ± 0.04 ^a	2.05 ± 0.05 ^a	2.09 ± 0.06 ^a	2.10 ± 0.04 ^a	2.03 ± 0.04 ^a
T2	1.86 ± 0.08 ^b	2.10 ± 0.03 ^a	2.12 ± 0.12 ^a	2.09 ± 0.03 ^a	2.11 ± 0.04 ^a	2.06 ± 0.06 ^a

Nota: Los valores corresponden a la media ± desviación estándar (n = 10). Letras diferentes en una misma columna denotan diferencias significativas (p < 0.05). Pruebas aplicadas: ANOVA+Tukey HSD (días 0, 7, 21, 28, 35); Kruskal-Wallis (día 14).

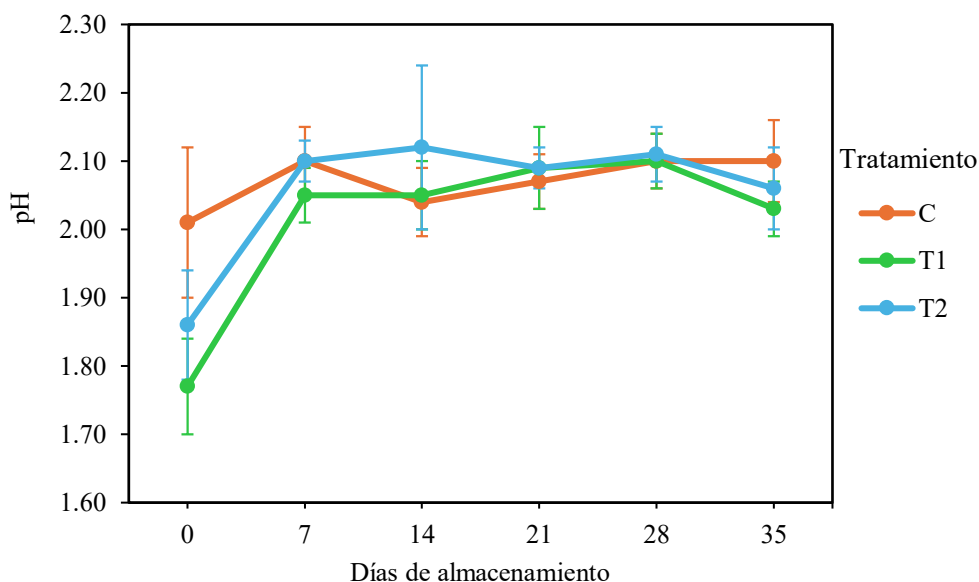


Figura 17. Evolución del pH del jugo de limón Tahití por día de medición y según los tratamientos (**Control:** vertimec®, nordox®, botamisol® y cabtrac®, **T1:** Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, **T2:** Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo).

Respecto al comportamiento temporal, la **Figura 17** muestra una estabilidad a lo largo de los 35 días de almacenamiento, lo que es positivo para la conservación de la calidad del jugo, independientemente del fertilizante aplicado. El comportamiento observado coincide con lo reportado en estudios poscosecha de cítricos, donde las variaciones de pH suelen ser mínimas, incluso cuando se aplican tecnologías de conservación más activas (110,124). En el trabajo de Vidal García (97) el pH se mantuvo entre 2.24 y 2.26 durante el frío (2°C y 7°C) tras 21 días de almacenamiento, sin diferencias significativas entre tratamientos de fertilización. Tal resultado estaría asociado a que el pH está íntimamente relacionado con otros parámetros químicos como la acidez titulable (AT) y los sólidos solubles totales (TSS), incluso, variaciones en este parámetro responden más a dinámicas de respiración y pérdida de agua que a cambios verdaderos en la composición química del jugo (114).

3.2.2. Variables fisiológicas

a. Incidencia de oleocelosis

El día 0, la incidencia de oleocelosis muestra diferencias significativas entre los tratamientos. El control y el T1 presentan valores similares (40.35% y 42.10%, respectivamente), mientras que el T2 registra una incidencia mayor (68.42%). Esto indica que, desde el inicio del almacenamiento, los frutos sometidos al T2 fueron más susceptibles a desarrollar oleocelosis. Durante el día 7, la incidencia aumenta en todos los grupos: el control alcanza 63.15%, el T1 se mantiene más bajo (45.61%), y el T2 llega a 82.45%, mostrando diferencias significativas respecto al T1. Al día 14, la incidencia continúa incrementándose, pero el T1 se mantiene significativamente menor (56.14%). En el día 21, los tres grupos muestran valores elevados, siendo los frutos del T2 los que alcanzan el porcentaje más alto (89.47%), significativamente superior al T1 (63.15%). Ocurre lo mismo en el día 28, y se mantiene hasta el día 35, donde el T2 conserva la mayor incidencia (94.73%), mientras que el Control y el T1 permanecen alrededor de 78.94% y 80.70%, respectivamente (**Tabla 15**).

Tabla 15. Incidencia de oleocelosis en frutos de lima ácida Tahití tratados con diferentes fertilizantes y evaluados durante 35 días de almacenamiento.

Incidencia (%)						
Tratamientos	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
Control	40.35 ± 6.50 ^b	63.15 ± 6.39 ^{ab}	77.19 ± 5.56 ^a	78.94 ± 5.40 ^{ab}	78.94 ± 5.40 ^b	78.94 ± 5.40 ^a
T1	42.10 ± 6.54 ^b	45.61 ± 6.60 ^b	56.14 ± 6.57 ^b	63.15 ± 6.39 ^b	77.19 ± 5.56 ^b	80.70 ± 5.23 ^a
T2	68.42 ± 6.16 ^a	82.45 ± 5.04 ^a	85.96 ± 4.60 ^a	89.47 ± 4.06 ^a	94.73 ± 2.96 ^a	94.73 ± 2.96 ^a

Nota: Valores expresados como incidencia (%) ± error estándar de la proporción binomial (n=57). Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Prueba de Kruskal-Wallis + Dunn.

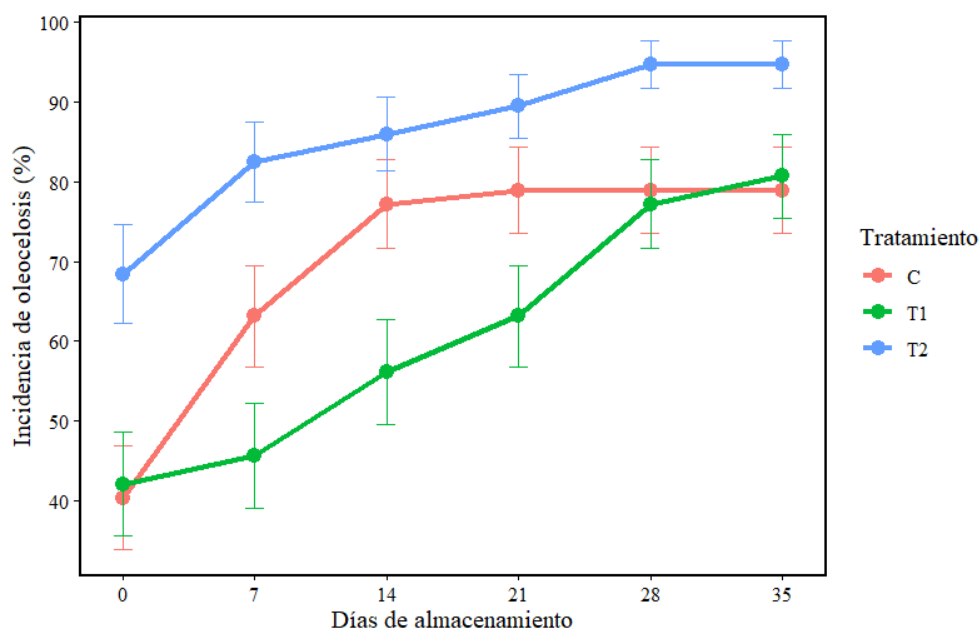


Figura 18. Evolución del porcentaje de incidencia de oleocelosis en frutos de limón Tahití por día de medición y según los tratamientos (**Control:** vertimec®, nordox®, botamisol® y cabtrac®, **T1:** Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, **T2:** Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo).

La **Figura 18** muestra que el porcentaje de incidencia de oleocelosis en frutos de lima Tahití aumentó progresivamente durante el almacenamiento en todos los tratamientos, eso significa que la cantidad de limones afectados por esta fisiopatía aumentó con el tiempo. Este comportamiento se corrobora en las **Figuras 19, 20 y 21**, donde la comparación entre el día 0 y el día 35 muestra una mayor proporción de limones con síntomas. No obstante, el T2 mostró consistentemente los valores más altos, indicando una mayor susceptibilidad de los frutos a este desorden fisiológico. En contraste, el T1 presentó menores porcentajes en las primeras semanas, incluso menor que el control, lo que sugiere un posible efecto protector inicial frente a la oleocelosis.

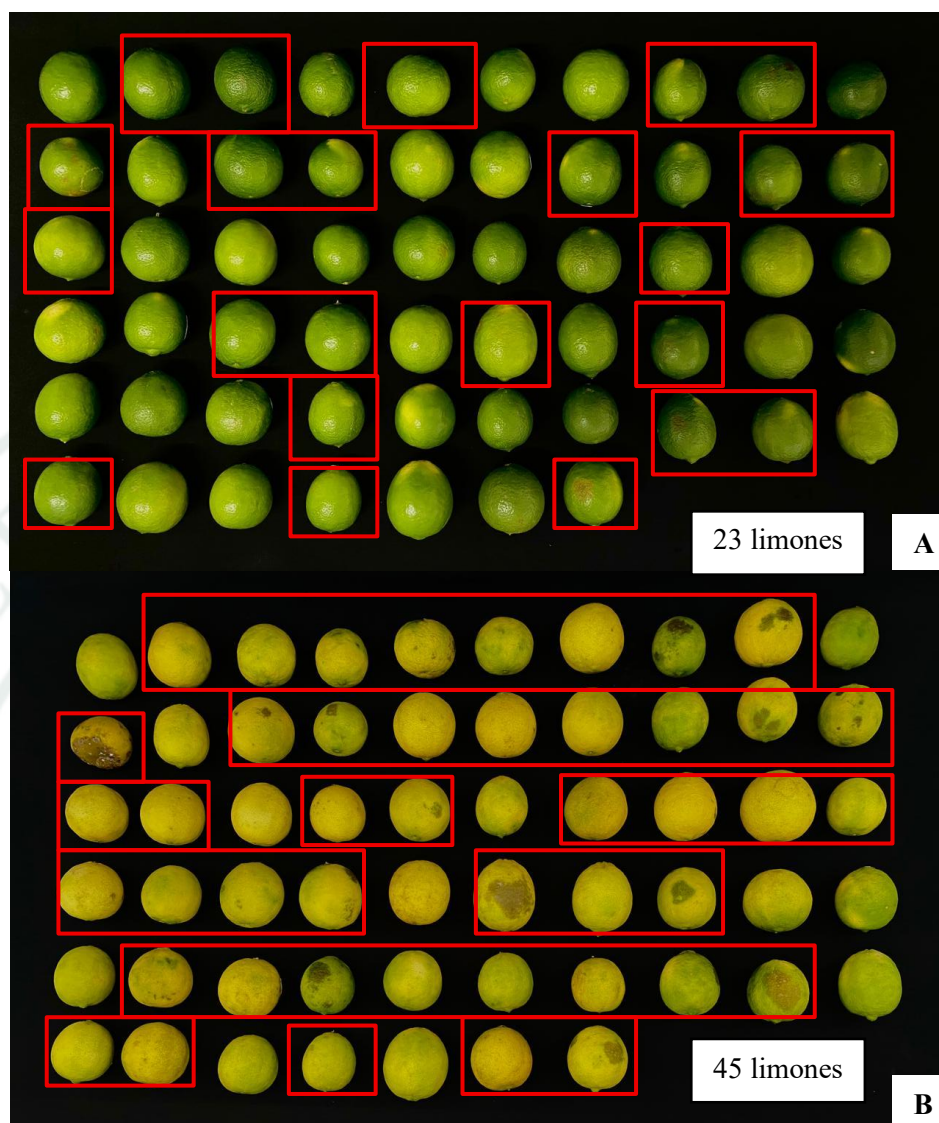


Figura 19. Limones Tahití afectados por oleocelosis en el grupo control (vertimec©, nordox©, botamisol© y cabtrac©) en el día 1 (A) y el día 35 (B) de evaluación.

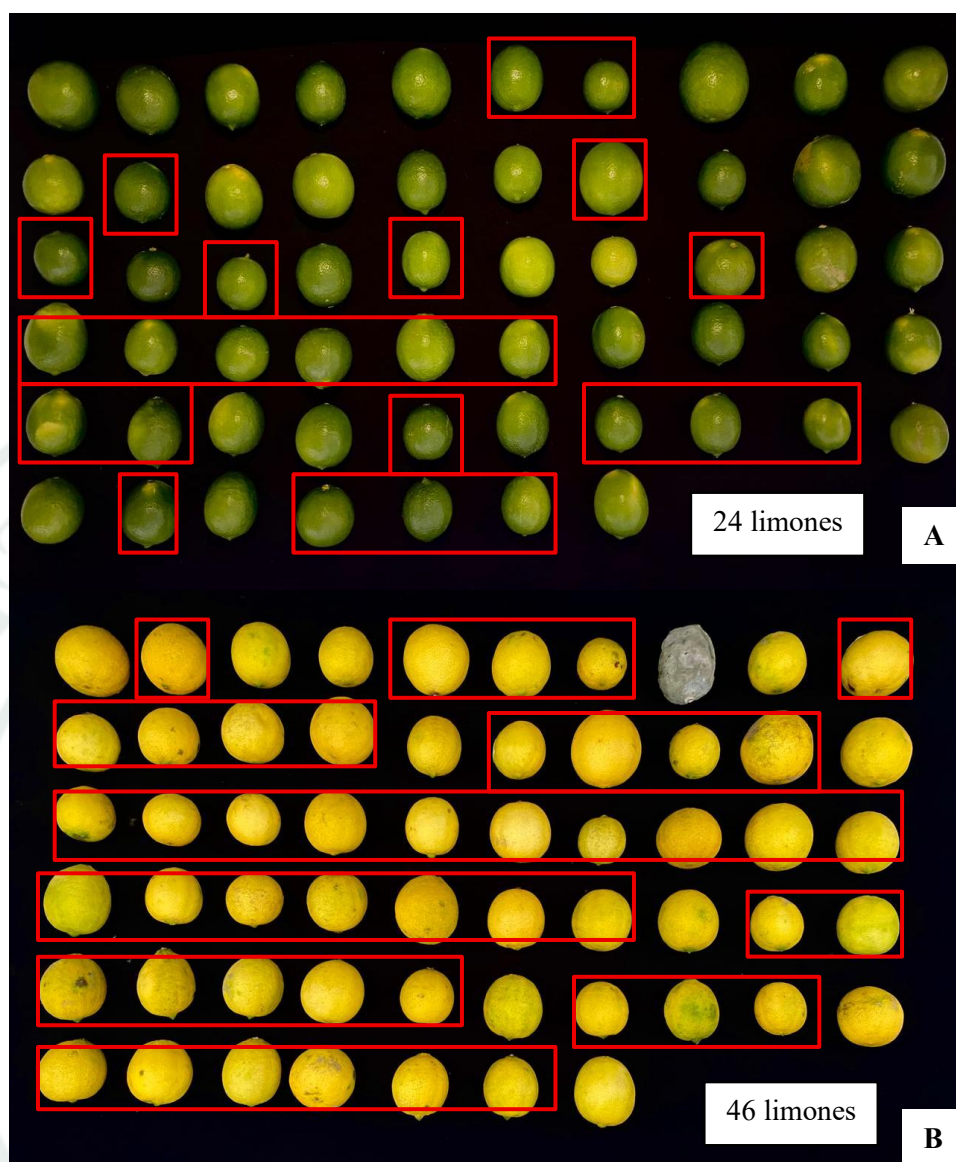


Figura 20. *Limones Tahiti afectados por oleocellosis dentro del T1 (Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®) en el día 1 (A) y el día 35 (B) de evaluación.*

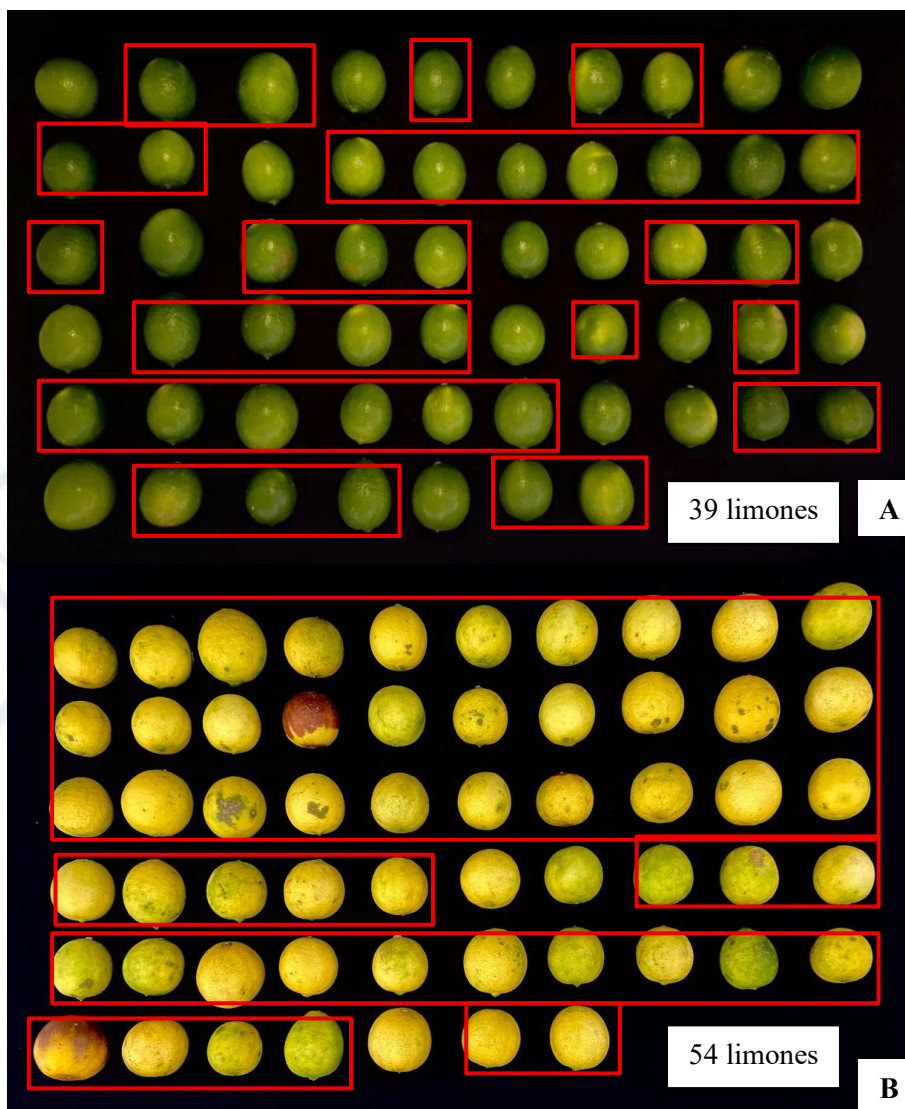


Figura 21. *Limones Tahití afectados por oleocelosis dentro del T2 (Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo) en el día 1 (A) y el día 35 (B) de evaluación.*

b. Severidad de oleocelosis

Con la finalidad de analizar el comportamiento de esta variable durante el periodo de almacenamiento, en la **Tabla 16** se presentan los valores promedio obtenidos para cada tratamiento y día de evaluación.

Tabla 16. Severidad de oleocelosis en frutos de lima ácida Tahití tratados con diferentes fertilizantes y evaluados durante 35 días de almacenamiento.

Tratamientos	Índice de Severidad					
	Día 0	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
Control	0.47 ± 0.62 ^b	0.73 ± 0.64 ^a	0.89 ± 0.58 ^a	0.98 ± 0.64 ^a	1.00 ± 0.65 ^a	1.01 ± 0.66 ^a
T1	0.42 ± 0.49 ^b	0.45 ± 0.50 ^b	0.56 ± 0.50 ^b	0.63 ± 0.48 ^b	0.78 ± 0.45 ^a	0.82 ± 0.42 ^a
T2	0.68 ± 0.46 ^a	0.84 ± 0.41 ^a	0.87 ± 0.38 ^a	0.91 ± 0.34 ^a	0.98 ± 0.29 ^a	1.01 ± 0.35 ^a

Nota: Los valores corresponden a la media ± desviación estándar (n = 57). Letras diferentes en una misma columna denotan diferencias significativas (p < 0.05). Kruskal-Wallis + Dunn.

El día 0 se registraron diferencias significativas en la severidad de la oleocelosis: el control y el T1 mostraron valores bajos y similares (0.47 y 0.42), mientras que el T2 presentó un índice mayor (0.68), evidenciando una mayor afectación inicial. Para el día 7 la severidad aumentó en todos los tratamientos, pero el T1 mantuvo el valor más bajo (0.45), significativamente inferior al control (0.73) y al T2 (0.84). Esta tendencia continuó el día 14, donde el T1 volvió a presentar el menor índice (0.56), por debajo del Control (0.89) y del T2 (0.87), lo que indica un posible efecto atenuante en la progresión temprana del daño.

A partir del día 21 y hasta el día 35, los índices de severidad se estabilizaron en niveles altos y sin diferencias significativas entre los grupos. El control y el T2 alcanzaron valores cercanos a 1.0, mientras que el T1 permaneció ligeramente inferior (0.63–0.82), aunque ya sin diferencias estadísticas. Así, se identificó que la severidad aumentó de forma sostenida en todos los tratamientos, con el T2 mostrando mayor afectación inicial y el T1 evidenciando menor severidad únicamente durante las primeras dos semanas. Hacia el final del almacenamiento, la progresión de la oleocelosis fue uniforme entre los tratamientos (**Figura 22**).

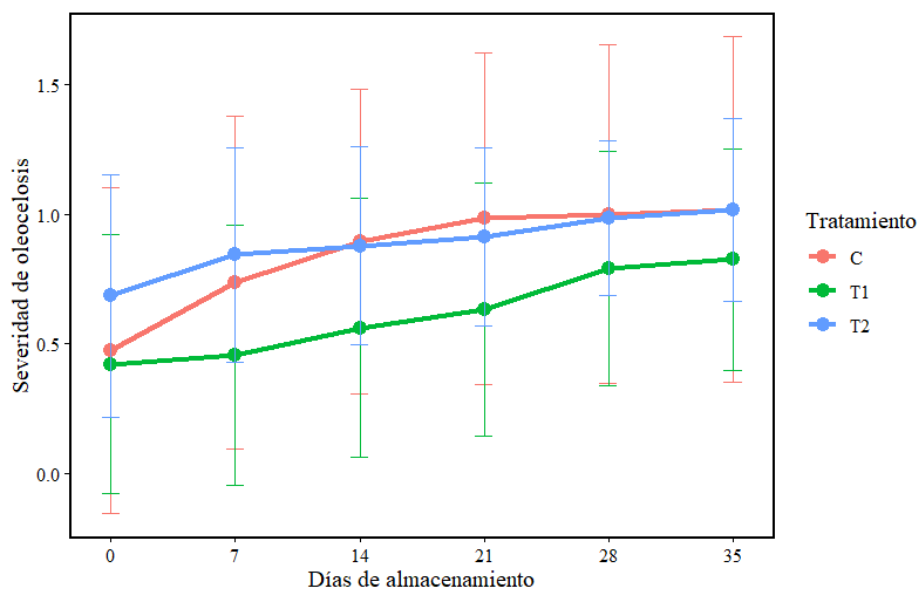


Figura 22. Evolución de la severidad de oleocelosis en frutos de limón Tahití por día de medición y según los tratamientos (**Control:** vertimec®, nordox®, botamisol® y cabtrac®, **T1:** Basfoliar® Calcio, Basfoliar® Rhizo y Polysulphate®, **T2:** Basfoliar® Calcio y Basfoliar® Rhizo).

En la **Figura 23** se aprecia la diferencia visual entre la severidad de los tres grupos de estudio, donde, desde el día 0 se identifica que el T2 es el más afectado, seguido por el control y por último T1, hasta el día 35.



Figura 23. Evolución de la severidad de oleocelosis en frutos de limón Tahiti según tratamiento. Control – Día 0 (A) Control – Día 35 (B) T1 - Día 0 (C) T1 – Día 35 (D) T2 – Día 0 (E) T2 – Día 35 (F).

La oleocelosis es un desorden fisiológico provocado por lesiones mecánicas del fruto como consecuencia de cortes, rajaduras y/o golpes en la cáscara. Los resultados obtenidos muestran que la incidencia y severidad de oleocelosis aumentó progresivamente durante el almacenamiento, lo cual coincide con el carácter acumulativo de este desorden fisiológico en frutos cítricos (29). Según Xie J. y coautores (128) la incidencia de la oleocelosis se

incrementa conforme avanza la maduración y el período de almacenamiento poscosecha, alcanzando mayores niveles tras tiempos prolongados de conservación.

En ambos parámetros evaluados, el T2 presentó los valores más altos desde el inicio, mientras que el T1 mantuvo niveles menores, incluso del control. En este contexto, se considera que el fertilizante Polysulpate®, parte de la combinación de T1, favoreció a una estructura celular más estable gracias a los minerales que incluye: azufre, potasio, calcio y magnesio (55). El calcio en particular que, como se mencionó anteriormente, se asocia a la integridad de la pared celular y a la reducción de daños en la piel del fruto (129). Buelvas y colaboradores (130) indican que la aplicación de calcio (Ca) durante la floración favorece la estabilidad de las paredes celulares, incrementando la resistencia de los frutos al daño mecánico por manipulación y/o transporte. Asimismo, se ha investigado el rol del calcio en la regulación de procesos fisiológicos, donde favorece la activación de la vía de los fenilpropanoides mediante la regulación del gen de fenilalanina amonio-liasas 1 (PAL1), promoviendo la síntesis de compuestos fenólicos y lignina asociados con la resistencia de los tejidos frente al daño mecánico y al estrés (35,98).

Adicionalmente, considerando la composición de los biofertilizantes aplicados, se destaca el aporte de los componentes biológicos en Basfoliar® Rhizo. Guo X. y otros (122,131) han mostrado los efectos benéficos de *Bacillus amyloliquefaciens* en cítricos, como la inducción de enzimas de defensa y resistencia del pericarpio como la peroxidasa (POD) y la polifenol oxidasa (PPO) que fortalecen la respuesta frente a factores de estrés y reducen la incidencia de patologías poscosecha. Asimismo, los extractos de algas marinas se han asociado con una mejor condición nutricional y mayor resistencia al estrés gracias a compuestos bioactivos similares a fitohormonas, además de minerales y aminoácidos (129,132). Estos componentes contribuyen a desarrollar tejidos más equilibrados, disminuyendo la expresión temprana de daños (119).

No obstante, la desaparición de diferencias significativas entre tratamientos a partir de día 28 de almacenamiento, indica que los efectos protectores iniciales ya no fueron suficientes para contrarrestar el avance del daño fisiológico bajo las condiciones evaluadas. Esto concuerda con investigaciones de cítricos almacenados en frío, donde la oleocelosis tiende a intensificarse con el tiempo sin importar el manejo pre-cosecha cuando la exposición al estrés continúa (28).

En general, la relación entre incidencia y severidad en este estudio evidencia una progresión simultánea y coherente, mostrando que los frutos más propensos a desarrollar oleocelosis (T2) también manifestaron niveles más altos de daño visible. El T1, en cambio, presentó una reducción inicial en ambas variables, atribuida a la mayor concentración de calcio (Ca) contenida en Polysulphate®, reflejado en una mejor condición fisiológica inicial del fruto.

CONCLUSIONES

- El análisis cuantitativo evidenció un crecimiento sostenido en la investigación sobre el limón Tahití durante las dos últimas décadas, con fuerte liderazgo de países latinoamericanos como Brasil y México. El desarrollo reciente se concentra en tres tendencias principales de investigación: **(1)** manejo integrado de plagas y enfermedades, **(2)** rendimiento y calidad del fruto con especial énfasis en la vida útil poscosecha, y **(3)** aplicaciones de los aceites esenciales. Entre ellas, la primera y segunda fueron más afín a este estudio, dado que abordan factores agronómicos, sanitarios, fisiológicos, ambientales y tecnológicos que influyen en la conservación y calidad del limón Tahití. Además, aunque la fertilización es una temática recurrente, existe menor desarrollo específico en la evaluación del efecto de fertilizantes de origen biológico y formulaciones minerales sobre variables de calidad poscosecha, particularmente en limón Tahití, lo que representa un vacío de investigación abordado en el presente estudio.
- Se determinó que los frutos de limón Tahití sometidos a tratamientos de fertilizantes biológicos y químicos (T1 y T2) no mostraron diferencias significativas respecto al grupo control en las variables fisicoquímicas durante los 35 días de almacenamiento a 10 ± 2 °C. Sin embargo, se identificaron diferencias puntuales en las variables (%AT y pH) el día cero, atribuido a la composición nutricional de los tratamientos (NK). Asimismo, al final del almacenamiento (día 35), T2 presentó un mayor porcentaje de acidez titulable, mientras que T1 y T2 registraron mayores pérdidas de peso en comparación con el control. En conjunto, los resultados confirman que ningún tratamiento predominó sobre otro, no obstante, en su mayoría igualaron las condiciones del tratamiento control.

- Durante el período de almacenamiento poscosecha, se identificó un incremento constante de la incidencia y severidad de oleocelosis en todos los frutos de limón Tahití. Se encontró que el T2 presentó los valores más altos en ambos parámetros desde el día cero, indicando mayor susceptibilidad del fruto pese a contener *Bacillus amyloliquefaciens* y extracto de *Ecklonia maxima*; mismos componentes biológicos del T1 en donde sí se evidenció un efecto protector, debido al contenido adicional de calcio en Polysulphate®, reportando promedios estadísticamente inferiores al control en incidencia y severidad de oleocelosis del día 7 hasta el día 21 de almacenamiento. Esto sugiere una contribución positiva de los componentes biológicos combinados con Polysulphate® para detener el deterioro fisiológico.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la empresa Eurofert Colombiana S.A.S. validar y ajustar las combinaciones de fertilizantes evaluadas, especialmente del Tratamiento 1, debido al efecto protector inicial observado en la incidencia y severidad de oleocelosis. Además, se aconseja que enfoquen la investigación al rendimiento y calidad del cultivo de limón Tahití más que en la etapa poscosecha.
2. Se sugiere explorar otras prácticas de manejo más específicas e integradas para el cultivo de limón Tahití, tal como se proponen en las tendencias de investigación del análisis bibliométrico: portainjertos, recubrimientos y temperaturas de almacenamiento; para potenciar el efecto en la calidad de las propiedades fisicoquímicas del limón Tahití y su conservación poscosecha.
3. Se recomienda incorporar otras variables adicionales como la tasa de respiración o la actividad de enzimas asociadas a estrés, para comprender mejor los mecanismos mediante los cuales los biofertilizantes podrían influir en su etapa poscosecha.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pizarro Yáñez R. El dulce ascenso de una fruta ácida. Redagícola. 2025;16–7.
2. Grupo Ruiz. Reporte asia [Internet]. 2025 [citado el 1 de agosto de 2025]. ¿Cuáles son los cítricos más exportados en Sudamérica? Disponible en: <https://reporteasia.com/noticias/2025/04/29/cuales-son-los-citricos-mas-exportados-en-sudamerica/>
3. Portal Frutícola [Internet]. 2025 [citado el 1 de agosto de 2025]. Mercado de limones y limas de Latinoamérica seguirá creciendo. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2025/06/27/limones-y-limas-latinoamerica/>
4. Rivera Pérez D. Revista Industria Alimentaria [Internet]. 2024 [citado el 1 de agosto de 2025]. México lidera la producción mundial de limón en 2024. Disponible en: <https://www.industriaalimentaria.org/blog/contenido/mexico-lidera-la-produccion-mundial-de-limon-en-2024>
5. Romainville Izaguirre M. Redagícola [Internet]. 2022 [citado el 1 de agosto de 2025]. Limón Tahití: anotaciones para un cultivo con alto potencial. Disponible en: <https://redagricola.com/limon-tahiti-anotaciones-para-un-cultivo-con-alto-potencial/>
6. Menezes Bassan M, De Assis F, Mourão A, Ii F, Fernandes R, Iii A, et al. Beneficiamento pós-colheita de lima ácida “Tahiti” afeta sua qualidade e conservação. Ciência Rural. enero de 2016;46(1):184–90. doi:10.1590/0103-8478CR20141492

7. Botina A BL, García M MC, Romero B Y. Pre- and post-harvest factors that affect the quality and commercialization of the Tahiti lime. *Sci Hortic.* el 17 de noviembre de 2019;257. doi:10.1016/J.SCIENTA.2019.108737
8. Guo X, Qiao M, Yang Y, Luo K, Liu Z, Liu J, et al. *Bacillus amyloliquefaciens* M73 reduces postharvest decay and promotes anthocyanin accumulation in Tarocco blood orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) during cold storage. *Postharvest Biol Technol.* diciembre de 2021;182:111698. doi:10.1016/j.postharvbio.2021.111698
9. Zhang M, Lu Q, Zhou X, Wang L, Sun J, Gao H, et al. Effect of *Bacillus amyloliquefaciens* GSBa-1 on Polyphenol Synthesis and Phenylpropanoid Metabolism in *Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* Swingle. *食品科学.* 2024;45(3):175. doi:10.7506/SPKX1002-6630-20230319-184
10. Radouane N, Adadi H, Ezrari S, Kenfaoui J, Belabess Z, Mokriini F, et al. Exploring the Bioprotective Potential of Halophilic Bacteria against Major Postharvest Fungal Pathogens of Citrus Fruit *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum*. *Horticulturae.* el 13 de agosto de 2023;9(8):922. doi:10.3390/horticulturae9080922
11. Aja KJ, Al-Abbasi GBA. Effect of Foliar Application of Bimin221 and Seaweed Extract on Lime Seedling Growth. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* el 1 de noviembre de 2021;910(1):012120. doi:10.1088/1755-1315/910/1/012120
12. Miceli A, Vetrano F, Moncada A. Influence of *Ecklonia maxima* Extracts on Growth, Yield, and Postharvest Quality of Hydroponic Leaf Lettuce. *Horticulturae.* el 1 de noviembre de 2021;7(11):440. doi:10.3390/horticulturae7110440

13. Moncada A, Vetrano F, Esposito A, Miceli A. Effects of NAA and Ecklonia maxima Extracts on Lettuce and Tomato Transplant Production. *Agronomy*. el 27 de enero de 2022;12(2):329. doi:10.3390/agronomy12020329
14. Murcia Riaño N, Martínez MF, Orduz-Rodríguez JO, Ríos-Rojas L, López Galé Y, Yacomelo Hernández MJ, et al. Modelo productivo de lima ácida Tahití (*Citrus × latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez) para Colombia. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia)*; 2020. doi:10.21930/agrosavia.model.7403435
15. Davies F Stanley, Albrigo L Gene. *Citrus*. Vol. 2. Michigan: CAB International; 1994.
16. Reuther W, Batchelor LD, Webber HJ. *The Citrus Industry*. Vol. I. History, World Distribution, Botany and Varieties. Berkeley: University of California; 1967. 431–459 p.
17. Food and Agriculture Organization of the United States [Internet]. [citado el 29 de agosto de 2025]. Crop and livestock products FAOSTAT. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
18. Tri Santosa Y. The science agriculture [Internet]. 2024 [citado el 29 de agosto de 2025]. 10 World's Biggest Country Producers of Lemon and Limes. Disponible en: <https://www.scienceagri.com/2023/02/10-worlds-biggest-producers-of-lemon.html>
19. HerbaZest Editorial Team. Lime [Internet]. 2025 [citado el 29 de agosto de 2025]. Disponible en: <https://www.herbazest.com/herbs/lime#nutrition>
20. Liu S, Li S, Ho CT. Dietary bioactives and essential oils of lemon and lime fruits. *Food Science and Human Wellness*. el 1 de julio de 2022;11(4):753–64. doi:10.1016/J.FSHW.2022.03.001

21. Lima ácida Tahití *Citrus latifolia* Tanaka. Asohofrucol; 2020.
22. Bassan MM, Mourão Filho F de AA, Caron VC, Couto HTZ do, Jacomino AP. The harvesting system affects the quality and conservation of the 'Tahiti' acid lime. *Sci Hortic.* el 29 de mayo de 2013;155:72–7. doi:10.1016/J.SCIENTA.2013.03.008
23. *Citrus aurantiifolia* (lime). CABI Compendium. el 20 de noviembre de 2019. doi:10.1079/CABICOMPENDIUM.13438
24. Norma para la lima-limón. CODEX ALIMENTARIUS - Normas internacionales de los alimentos. 1999.
25. Kluge RA, Lye Jomori ML, Jacomino AP, Dario Vitti MC, Clemente Vitti DC. Intermittent warming of "Tahiti" lime to prevent chilling injury during cold storage. *Sci Agric.* 2003;60(4):729–34.
26. Huynh TD, Kha CT, Nguyen VA. Changes in quality parameters and bioactive components of seedless lime fruit (*Citrus latifolia*) during cold storage. *Food Res.* el 3 de abril de 2024;8(2):268–79. doi:10.26656/fr.2017.8(2).619
27. Agustí M, Almela V, Juan M, Mesejo C, Martínez-Fuentes A, Reig C. Phytohemeroteca [Internet]. 2008 [citado el 30 de agosto de 2025]. Desórdenes fisiológicos precosecha de los frutos cítricos y su control. Disponible en: <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/201-agosto-septiembre-2008/desordenes-fisiologicos-precosecha-de-los-frutos-citricos-y-su-control>
28. Knight TG. Structural Basis of the Rind Disorder Oleocellosis in Washington Navel Orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Ann Bot.* el 1 de diciembre de 2002;90(6):765–73. doi:10.1093/aob/mcf258

29. tecnicoagricola [Internet]. 2011 [citado el 30 de agosto de 2025]. Oleocelosis en cítricos. Disponible en: <https://www.tecnicoagricola.es/oleocelosis-en-citricos/>
30. AEFA - Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes [Internet]. 2022 [citado el 30 de agosto de 2025]. Fertilizante químico. Disponible en: <https://aefa-agronutrientes.org/fertilizante-quimico>
31. Cherlinka V. Fertilizantes Orgánicos E Inorgánicos: ¿Cuál Es Mejor Opción? [Internet]. 2025 [citado el 30 de agosto de 2025]. Disponible en: <https://eos.com/es/blog/fertilizantes-organicos-e-inorganicos/>
32. Kumar S, Diksha, Sindhu SS, Kumar R. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Curr Res Microb Sci.* 2022;3:100094. doi:10.1016/j.crmicr.2021.100094
33. Mahanty T, Bhattacharjee S, Goswami M, Bhattacharyya P, Das B, Ghosh A, et al. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. *Environmental Science and Pollution Research.* el 26 de febrero de 2017;24(4):3315–35. doi:10.1007/s11356-016-8104-0
34. Zhou X, Wang Z, Zhu C, Yue J, Yang H, Li J, et al. Variations of membrane fatty acids and epicuticular wax metabolism in response to oleocellosis in lemon fruit. *Food Chem.* febrero de 2021;338:127684. doi:10.1016/j.foodchem.2020.127684
35. Boudadi I, El Merzougui S, Lachguer K, Lagram K, El boullani R, Serghini MA. Enhancing in vitro rooting and acclimatization of *Spathiphyllum wallisii* through explant size, NAA, and substrate selection. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 2025 160:2. el 31 de enero de 2025;160(2):38-. doi:10.1007/s11240-025-02987-7

36. Ollio I. Combinación de bioestimulantes microbianos y fertilización reducida para una rotación hortícola sostenible. [Cartagena]: Universidad Politécnica de Cartagena; 2024.
37. Rivera Arroyo JK, Araya Castillo L, Ganga Contreras F, Torres JP, Sánchez Morales F. Análisis bibliométrico de la investigación en calidad de servicio. *Interciencia*. 2021;46(11):404–15.
38. Solano López E, Castellanos Quintero SJ, Magdalena López Rodríguez del Rey M, Hernández Fernández JI. La bibliometría: una herramienta eficaz para evaluar la actividad científica postgraduada. *MediSur* [Internet]. 2009 [citado el 30 de agosto de 2025];7(4):59–62. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2009000400011&lng=es&nrm=iso&tlng=es
39. Prancutė R. Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today's Academic World. *Publications*. el 12 de marzo de 2021;9(1):12. doi:10.3390/publications9010012
40. Zhu J, Liu W. A tale of two databases: the use of Web of Science and Scopus in academic papers. *Scientometrics*. el 22 de abril de 2020;123(1):321–35. doi:10.1007/s11192-020-03387-8
41. Aria M, Cuccurullo C. Bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *J Informetr*. noviembre de 2017;11(4):959–75. doi:10.1016/j.joi.2017.08.007
42. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones

- sistemáticas. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*. septiembre de 2021;74(9):790–9. doi:10.1016/j.rec.2021.07.010
43. Zupic I, Čater T. Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organ Res Methods*. el 22 de julio de 2015;18(3):429–72. doi:10.1177/1094428114562629
44. Alzate P, Isaza GA, Toro EM, Jaramillo-Garzón JA. Advances and emerging research trends in maritime transport logistics: environment, port competitiveness and foreign trade. *International Journal of Production Management and Engineering*. el 31 de enero de 2024;12(1):1–18. doi:10.4995/ijpme.2024.21090
45. Duque P, Trejos D, Hoyos O, Chica Mesa JC. Finanzas corporativas y sostenibilidad: un análisis bibliométrico e identificación de tendencias. *Semestre Económico*. el 1 de enero de 2021;24(56):25–51. doi:10.22395/seec.v24n56a1
46. Tani M, Papaluca O, Sasso P. The System Thinking Perspective in the Open-Innovation Research: A Systematic Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. septiembre de 2018;4(3):38. doi:10.3390/joitmc4030038
47. A. AMG, Robledo S, Zuluaga M. Topic Modeling: Perspectives From a Literature Review. *IEEE Access*. 2023;11:4066–78. doi:10.1109/ACCESS.2022.3232939
48. Wallis WD. *A Beginner's Guide to Graph Theory*. Boston, MA: Birkhäuser Boston; 2007. doi:10.1007/978-0-8176-4580-9
49. Yang S, Keller FB, Zheng L. *Social Network Analysis: Methods and Examples*. SAGE Publications; 2016.

50. Hernández-Betancur JE, Montoya-Restrepo I, Montoya-Restrepo LA. The tree of science of deliberate and emergent strategies. *IIMB Management Review*. diciembre de 2020;32(4):413–33. doi:10.1016/j.iimb.2020.12.004
51. Gurzki H, Woisetschlager DM. Mapping the luxury research landscape: A bibliometric citation analysis. *J Bus Res*. agosto de 2017;77:147–66. doi:10.1016/j.jbusres.2016.11.009
52. Zuschke N. An analysis of process-tracing research on consumer decision-making. *J Bus Res*. abril de 2020;111:305–20. doi:10.1016/j.jbusres.2019.01.028
53. Eurofert Colombiana S.A.S. Basfoliar Calcio [Internet]. [citado el 19 de junio de 2026]. Disponible en: <https://eurofertcolombia.com/project/basfoliar-calcio/>
54. Eurofert Colombiana S.A.S. Basfoliar Rhizo [Internet]. [citado el 19 de junio de 2026]. Disponible en: <https://eurofertcolombia.com/project/basfoliar-rhizo/>
55. Eurofert Colombiana S.A.S. Polysulphate [Internet]. [citado el 19 de junio de 2026]. Disponible en: <https://eurofertcolombia.com/project/polysulphate/>
56. Frutas frescas. Lima ácida Tahití. Especificaciones NTC 4087. febrero de 2021.
57. Vivas Zarate DH, Castro Ríos K. Evaluación del efecto de una cera y un bioprotectante comerciales en la vida útil en poscosecha del mango (*Mangifera indica* L) variedad “Keitt”. [Manizales]: Universidad Católica de Manizales; 2021.
58. Lado Lindner J, Rivas F. Oleocelosis: sus causas y alternativas de control. INIA Salto Grande. mayo de 2009.
59. Madden L V., Hughes G. Sampling for Plant Disease Incidence. *Phytopathology*. noviembre de 1999;89(11):1088–103. doi:10.1094/PHYTO.1999.89.11.1088

60. Embrapa. 2025. International - Portal Embrapa.
61. FAO. 2025. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
62. Lattes P. CNPq. Plataforma Lattes. 2025.
63. Durborow SL, Lopez JA. An Analysis of the Potential Economic Impact of Huanglongbing on the California Citrus Industry. 2013 Annual Meeting, February 2-5, 2013, Orlando, Florida. 2012. doi:10.22004/AG.ECON.142771
64. Landa-Cadena MG, Trigos A, Hernández-Rosas F, Salinas-Castro A. IDENTIFICACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS PARA EL CONTROL BIOLÓGICO DE *Diaphorina citri* EN ÁRBOLES DE CÍTRICOS. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. el 12 de febrero de 2025;28(1). doi:10.56369/tsaes.5733
65. Preza-Murrieta B, Noa-Carrazana JC, Flores-Estévez N, Estrella-Maldonado H, Santillán-Mendoza R, Matilde-Hernández C, et al. WRKY transcription factors identified in the transcriptome of *Citrus latifolia* Tan. and their expression in response to Huanglongbing disease. *Journal of General Plant Pathology*. el 20 de noviembre de 2024;90(6):309–21. doi:10.1007/s10327-024-01196-y
66. Rosa FRF de la, González-Cruz C, Adame-García J, Chan-León A, Santillán-Mendoza R, Santamaría JM, et al. Transcriptome wide identification of CDR family in *Citrus latifolia* and its expression during HLB infection. 2022. doi:10.21203/rs.3.rs-2026520/v1
67. Pérez-Zarate LA, Martínez-Hernández A, Osorio-Acosta F, García-Pérez E, Morales-Trejo F, Villanueva-Jiménez JA. Fertilization Strategies in Huanglongbing-Infected

- Citrus latifolia* and Their Physiological and Hormonal Effects. *Plants*. el 1 de abril de 2025;14(7):1086. doi:10.3390/plants14071086
68. Bettini BA, Cavichioli TM, Cristofani-Yaly M, Azevedo FA, Martins ALM, Schinor EH. Performance and reaction to huanglongbing of ‘Tahiti’ acid lime grafted on citrandarins. *Acta Hortic.* enero de 2019;(1230):101–8. doi:10.17660/ActaHortic.2019.1230.13
69. Núñez-García PR, Carrillo-Fasio JA, Correia KC, Nieto-López EH, Mora-Romero GA, Valdéz-Torres JB, et al. Phylogeny, pathogenicity, and fungicide sensitivity of *Botryosphaeriaceae* fungi associated with Persian lime dieback in Sinaloa, Mexico. *Physiol Mol Plant Pathol.* noviembre de 2024;134:102474. doi:10.1016/j.pmpp.2024.102474
70. Santillán-Mendoza R, Estrella-Maldonado H, Marín-Oluate L, Matilde-Hernández C, Rodríguez-Alvarado G, Fernández-Pavía SP, et al. Phylogenetic and Pathogenic Evidence Reveals Novel Host–Pathogen Interactions between Species of *Lasioidiplodia* and *Citrus latifolia* Dieback Disease in Southern Mexico. *Journal of Fungi*. el 14 de julio de 2024;10(7):484. doi:10.3390/jof10070484
71. Follett PA, Sun X, Walse SS. Host Status of Persian Lime (*Citrus latifolia* Tan.) to Oriental Fruit Fly and Mediterranean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) in Hawai’i. *Insects*. el 14 de octubre de 2024;15(10):799. doi:10.3390/insects15100799
72. Gomes AMS do V, Lemos RNS de, Lopes G da S, Carvalho CS, Reis F de O, Araujo JRG, et al. Dynamics of *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae) in Tahiti acid lime (*Citrus latifolia*) orchards under different fertilizer applications. *Aust J Crop Sci.* el 1 de junio de 2022;(16(06):2022):826–32. doi:10.21475/ajcs.22.16.06.p3576

73. García-Muñoz MC, Henao-Rojas JC, Moreno-Rodríguez JM, Botina-Azain BL, Romero-Barrera Y. Effect of rootstock and environmental factors on fruit quality of Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) grown in tropical regions. *Journal of Food Composition and Analysis*. octubre de 2021;103:104081. doi:10.1016/j.jfca.2021.104081
74. Malikouski RG, Peixoto MA, Ferreira FM, Morais AL de, Alves RS, Zucoloto M, et al. Genotypic diversity and genetic parameters of “Tahiti” acid lime using different rootstocks. *Pesqui Agropecu Bras*. 2023;58. doi:10.1590/s1678-3921.pab2023.v58.02768
75. de Carvalho Campos Botelho S, Roncatto G, Olibone D, Pereira de Souza Í, Rafael da Silva B, Mendes Botelho F. Vegetative growth and fruit quality of “Tahiti” acid lime grafted onto different rootstocks. *Comunicata Scientiae*. el 28 de enero de 2025;16:e4309. doi:10.14295/cs.v16.4309
76. Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, de Moraes Gonçalves JL, Sparovek G. Köppen’s climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. el 1 de diciembre de 2013;22(6):711–28. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507
77. Azevedo FA de, Almeida RF de, Martinelli R, Próspero AG, Licerre R, Conceição PM da, et al. No-Tillage and High-Density Planting for Tahiti Acid Lime Grafted Onto Flying Dragon Trifoliolate Orange. *Front Sustain Food Syst*. el 16 de julio de 2020;4. doi:10.3389/fsufs.2020.00108
78. Rivera-Hernández B, González-Jiménez V, Carrillo-Ávila E, Garruña-Hernández R, Andrade JL, Quej-Chi VH, et al. Yield, Physiology, Fruit Quality and Water Footprint in Persian Lime (*Citrus latifolia* Tan.) in Response to Soil Moisture Tension

- in Two Phenological Stages in Campeche, México. *Water* (Basel). el 22 de marzo de 2022;14(7):1011. doi:10.3390/w14071011
79. Soares MBB, Galli JA, Martins MH, Oliveira AC, Bianco S. Weed management in the dry season: interferences in physiology and quality of Persian lime fruits. *Pesqui Agropecu Trop*. 2021;51. doi:10.1590/1983-40632021v5167779
 80. Huynh TD, Kha CT, Nguyen VA. Changes in quality parameters and bioactive components of seedless lime fruit (*Citrus latifolia*) during cold storage. *Food Res*. el 3 de abril de 2024;8(2):268–79. doi:10.26656/fr.2017.8(2).619
 81. Ariza-Flores R, Ambriz-Cervantes R, Cadena-Iñiguez P, Gálvez-Marroquín LA, Cano-García MA. Effect of Senescence Retardants on the Quality of Persian Lime Fruits. *Phyton* (B Aires). 2024;93(8):1805–18. doi:10.32604/phyton.2024.050093
 82. Villa-Ruano N, Evangelista-Castro JD, Coyotl-Pérez WA, Pacheco-Hernández Y, Lozoya-Gloria E, Varela-Caselis JL, et al. “Delaying Rot Emergence in Persian Lime (*Citrus × latifolia*) Through Antifungal Hybrid Films Containing *Litsea glaucescens* Essential Oil”. *Chem Biodivers*. el 25 de febrero de 2024;21(2). doi:10.1002/cbdv.202301689
 83. Castro Barrios AY, Balcazar Seclen M, Hoyos Alayo WM, Leiva Piedra JL. Application of a waxy coating to improve the quality and marketing of Tahiti lemons. En: *Proceedings of the 4th LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development (LEIRD 2024): “Creating solutions for a sustainable future: technology-based entrepreneurship”*. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions; 2024. doi:10.18687/LEIRD2024.1.1.246

84. Heydari-Farsani H, Fallah AA, Mokhtari A, Ghasemi M, Mousavi Khaneghah A. Edible coating of Farsi gum with Persian lime oil nanoemulsion and oxygen scavenger packaging to preserve chilled rainbow trout fillets. *Food Chem X*. abril de 2025;27:102496. doi:10.1016/j.fochx.2025.102496
85. Daza L, Montealegre M, Sandoval Aldana A, Obando M, Váquiro H, Eim V, et al. Effect of Essential Oils from Lemongrass and Tahiti Lime Residues on the Physicochemical Properties of Chitosan-Based Biodegradable Films. *Foods*. el 28 de abril de 2023;12(9):1824. doi:10.3390/foods12091824
86. Besati M, Safarnejad MR, Aliahmadi A, Farzaneh M, Rezadoost H, Rafati H. Optimization and characterization of essential oil-loaded nanoemulsions for enhanced antiviral activity against tobacco mosaic virus (TMV) in tobacco plants. *Ind Crops Prod*. noviembre de 2024;220:119253. doi:10.1016/j.indcrop.2024.119253
87. Kaur H, Kaushik U, Choudhary N. Therapeutics Effects of the Genus *Citrus* in Anxiety Disorder. *J Pharmacol Pharmacother*. el 17 de diciembre de 2024;15(4):373–388. doi:10.1177/0976500X241278037
88. Thien Hien T, Thi Tuu T, Tien Le X, Long Tran B, Phong Huynh X. Application of pressing and hydro distillation technology in the extraction of seedless lemon essential oil (*Citrus latifolia* Tanaka). *E3S Web of Conferences*. el 12 de octubre de 2023;434:03001. doi:10.1051/e3sconf/202343403001
89. González-Salas U, Gallegos-Robles MÁ, Preciado-Rangel P, García-Carrillo M, Rodríguez-Hernández MG, García-Hernández JL, et al. Efecto de fuentes de nutrición orgánicas e inorgánicas mezcladas con biofertilizantes en la producción y calidad de frutos de melón. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*. el 30 de abril de 2021;39. doi:10.28940/terra.v39i0.904

90. Saucedo Espinosa YA. Cambios poscosecha de la calidad de calabacita (*Cucurbita Pepo* l. Var. Grey Zucchini) por efecto de la aplicación de bacterias promotoras de crecimiento y oligosacarinas durante el desarrollo de las plantas. Centro de investigación en Química Aplicada; 2020.
91. Vázquez Hernández M. Nutrición mineral e inoculación con hongos micorrizicos en la calidad de frutos de papaya Maradol postcosecha . [Texcoco]: Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas; 2011.
92. Adriano Anaya L, Trejo Roblero G, Rosas Quijano R, Velázquez Ovalle G, Vazquez Ovando A. Mejoramiento del rendimiento y calidad de fruto y pseudofruto de marañon con un ciclo de fertilización orgánica. Rev Bras Frutic. el 18 de diciembre de 2017;39(5). doi:10.1590/0100-29452017674
93. Moreno Velázquez D, Hernández Hernández B, Barrios Díaz JM, Ibáñez Martínez A, Cruz Romero W, Berdeja Arbeu R. Calidad poscosecha de frutos de pepino cultivados con diferente solución nutritiva. Rev Mex Cienc Agríc. 2015;6(3).
94. Aquino-Bolaños EN, Salazar-Benito SI, Santos-Basurto MA, Lara-Capistrán L, Moreno-Cortés ML, Alba-Jiménez JE. Uso de Fertilizantes Orgánicos para Conservar la Calidad de *Lactuca sativa* L. Durante el Almacenamiento Postcosecha. Terra Latinoamericana. 2025;43.
95. Cruz Gómez BA. Efectos de la aplicación de biofertilizantes y fosfitos de potasio durante cultivo y un recubrimiento de poli(acetato de vinilo-co-alcohol vinílico) sobre la calidad y vida poscosecha de pepino (*Cucumis sativus* L.). Centro de investigación en química aplicada; 2015.

96. Reyes Ramos D. Fertilización foliar precosecha con silicato de magnesio y molibdato de amonio y su efecto poscosecha en frigoconservación de frutos de feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). [Maestría]. Universidad Autónoma Chapingo; 2023.
97. Vidal García A. EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD POSTCOSECHA DE NECTARINA ATINEA Y LIMON FINO TRAS SU FERTIRRIGACIÓN ALTERNATIVA CON SULFATO CÁLCICO MICRONIZADO. [Cartagena]: Universidad Politécnica de Cartagena; 2017.
98. Zeng Y, Su H, Xie L, Xiong Y, Yu Z, She J, et al. Enhancing postharvest storage quality and cuticular wax composition of summer black grapes through preharvest calcium application. *Food Chem X*. diciembre de 2025;32:103260. doi:10.1016/j.fochx.2025.103260
99. Gómez-Salgado S, Flores-Naveda A, Ruelas-Chacón X, Preciado-Rangel P, Muñoz-Urbina A, Rueda-Puente EO. Comportamiento productivo de la fresa (*Fragaria ananassa*) con nutrición química y orgánica. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. el 31 de octubre de 2025;12(3). doi:10.19136/era.a12n3.4292
100. García-Martínez R, Cortés-Flores JI, López-Jiménez A, Etchevers-Barra JD, Carrillo-Salazar JA. La fuente fertilizante condiciona el rendimiento y calidad del fruto de aguacate 'Hass'. *Rev Mex De Cienc Agric*. el 27 de agosto de 2025;16(5):e3780. doi:10.29312/remexca.v16i5.3780
101. Alcantara Jimenez JA, Aguilar Carpio C, Leyva Bautista S, Alcántara Nazario AO. Rendimiento y rentabilidad de genotipos de papaya en función de la fertilización química, orgánica y biológica. *Rev Mex De Cienc Agric*. el 14 de mayo de 2019;10(3):575–84. doi:10.29312/remexca.v10i3.1498

102. Hazarika TK, Aheibam B. Soil nutrient status, yield and quality of lemon (*Citrus limon* Burm.) cv. 'Assam lemon' as influenced by bio-fertilizers, organics and inorganic fertilizers. *J Plant Nutr.* el 9 de mayo de 2019;42(8):853–63. doi:10.1080/01904167.2019.1584213
103. Montaña Herrer MCA. Efecto de la fertilización edáfica y aplicación foliar con nanopartículas de Cu, Se, Fe, y Zn sobre el rendimiento y calidad poscosecha de *Malus domestica* L. y *Pyrus communis* L. [Doctorado]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; 2023.
104. Castelán Arroyo Á. Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes en frutos de chile chilpetín (*Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*). [Hidalgo]: Universidad autónoma del Estado de Hidalgo; 2025.
105. Reyes-Moreno M, García-Villanueva E, Chávez-Franco S, Muratalla-Luna A, Reyes-Moreno J, Aguilar-Luna JME. Fertilización en rambután (*Nephelium lappaceum* L.) para mejorar la calidad de frutos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios.* el 23 de marzo de 2020;7(1). doi:10.19136/era.a7n1.2412
106. Dorado Guerra D, Grajales LC, Ríos L. Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de lima ácida Tahití *Citrus latifolia* Tanaka (Rutaceae). *Corpoica Cienc Tecnol Agropecu.* 2015;16(1).
107. Rocha Alcarraz NL. Evaluación del comportamiento en poscosecha de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Botiola con la aplicación de *Fertibacter* en campo en Salache-Latacunga, 2024. [Latacunga]: Universidad Técnica de Cotopaxi.; 2025.
108. López-Cruz R, Santos-Cárdenas MV, Becerra-Zamorano CC, Ponce-Contreras M, Rodríguez-Flores R., Calderón-Santoyo M. Biofertilización a base de efluentes

- dulceacúcolas y microalgas sobre la productividad y calidad del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Politécnica de Aguascalientes*. 2025;5(4).
109. Tapia Ochoa JJ. Evaluación de bioestimulantes microbianos comerciales en el rendimiento y calidad del arándano “*Vaccinium corymbosum*” cv. Biloxi en Huaral. [Huacho]: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión; 2022.
110. Blum J, Ayub RA. Conservação pós-colheita da lima ácida “Tahiti” tratada com 1-metilciclopropeno. *Biotemas*. 2008;21(2):27–31.
111. Pristijono P, Bowyer MC, Papoutsis K, Scarlett CJ, Vuong Q V., Stathopoulos CE, et al. Improving the storage quality of Tahitian limes (*Citrus latifolia*) by pre-storage UV-C irradiation. *J Food Sci Technol*. el 18 de marzo de 2019;56(3):1438–44. doi:10.1007/s13197-019-03623-x
112. Gómez-Salgado S, Flores-Naveda A, Ruelas-Chacón X, Preciado-Rangel P, Muñoz-Urbina A, Rueda-Puente EO. Comportamiento productivo de la fresa (*Fragaria x ananassa* D.) con nutrición química y orgánica. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. el 31 de octubre de 2025;12(3). doi:10.19136/era.a12n3.4292
113. Arévalo Rodríguez PA. Caracterización físico - química en poscosecha de diferentes materiales de lima ácida Tahití, (*Citrus latifolia* Tanaka) para exportación. [Bogotá]: Universidad Nacional de Colombia; 2016.
114. Maftoonazad N, Ramaswamy HS. Application and Evaluation of a Pectin-Based Edible Coating Process for Quality Change Kinetics and Shelf-Life Extension of Lime Fruit (*Citrus aurantifolium*). *Coatings*. el 26 de abril de 2019;9(5):285. doi:10.3390/coatings9050285

115. Kabir MdY, Díaz-Pérez JC. Calcium Route in the Plant and Blossom-End Rot Incidence. *Horticulturae*. el 8 de julio de 2025;11(7):807. doi:10.3390/horticulturae11070807
116. Hepler PK. Calcium: A Central Regulator of Plant Growth and Development. *Plant Cell*. agosto de 2005;17(8):2142–55. doi:10.1105/tpc.105.032508
117. Trejo Téllez LIGMFC. Nutrient management in strawberry. Effects on yield, quality and plant health. En: *Strawberries: Cultivation, Antioxidant Properties and Health Benefits*. First edition. Nova Science Publishers.
118. Yang H, Zhu Z, Zhang M, Li X, Xu R, Zhu F, et al. QTL analysis reveals reduction of fruit water loss by NAC042 through regulation of cuticular wax synthesis in citrus fruit. *Hortic Plant J*. noviembre de 2022;8(6):737–46. doi:10.1016/j.hpj.2022.10.009
119. Abobatta W, Ismaiel H, Mohamed S. INFLUENCE OF NANO SILICON AND SEAWEED EXTRACT APPLICATIONS ON GROWTH AND FRUITING OF YOUNG LIME TREES (*Citrus aurantifolia* Swingle) UNDER SANDY SOIL CONDITIONS. *Mesopotamia Journal of Agriculture*. el 31 de marzo de 2024;52(1):1–16. doi:10.33899/mja.2024.146188.1351
120. Soto JM, Piña Ramírez FJ, Sánchez Chávez E, Pérez Leal R. Fertigation with macronutrients in apple “Golden Delicious”: Impact on yield and quality of fruit. *Nova Scientia*. 2016;8(16):162–80.
121. Eaks IL, Masias E. Chemical and Physiological Changes in Lime Fruits During and After Storage. *J Food Sci*. el 25 de mayo de 1965;30(3):509–15. doi:10.1111/j.1365-2621.1965.tb01794.x

122. Guo X, Qiao M, Yang Y, Luo K, Liu Z, Liu J, et al. *Bacillus amyloliquefaciens* M73 reduces postharvest decay and promotes anthocyanin accumulation in Tarocco blood orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) during cold storage. *Postharvest Biol Technol.* diciembre de 2021;182:111698. doi:10.1016/j.postharvbio.2021.111698
123. Huynh TD, Kha CT, Nguyen VA. Changes in quality parameters and bioactive components of seedless lime fruit (*Citrus latifolia*) during cold storage. *Food Res.* el 3 de abril de 2024;8(2):268–79. doi:10.26656/fr.2017.8(2).619
124. Ariza-Flores R, Ambriz-Cervantes R, Cadena-Iñiguez P, Gálvez-Marroquín LA, Cano-García MA. Effect of Senescence Retardants on the Quality of Persian Lime Fruits. *Phyton (B Aires)*. 2024;93(8):1805–18. doi:10.32604/phyton.2024.050093
125. Zhou X, Yue J, Yang H, Zhu C, Zhu F, Li J, et al. Integration of metabolome, histochemistry and transcriptome analysis provides insights into lignin accumulation in oleocellosis-damaged flavedo of citrus fruit. *Postharvest Biol Technol.* febrero de 2021;172:111362. doi:10.1016/j.postharvbio.2020.111362
126. Hernández Fuentes ACMR; PEJM. Comportamiento poscosecha de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) var. California por efecto de la fertilización química y aplicación de lombrihumus. *Rev Iber Tecnología Postcosecha*. 2010;11(1):82–91.
127. Castro Barrios AY, Balcazar Seclen M, Hoyos Alayo WM, Leiva Piedra JL. Application of a waxy coating to improve the quality and marketing of Tahiti lemons. En: *Proceedings of the 4th LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development (LEIRD 2024): “Creating solutions for a sustainable future: technology-based entrepreneurship”*. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions; 2024. doi:10.18687/LEIRD2024.1.1.246

128. Xie J, Deng B, Wang W, Zhang H. Changes in sugar, organic acid and free amino acid levels and the expression of genes involved in the primary metabolism of oleocellosis in citrus peels. *J Plant Physiol.* enero de 2023;280:153877. doi:10.1016/j.jplph.2022.153877
129. Batelja Lodeta K, JEMRIĆ T, JURIĆ S, VUKOVIĆ M, FRIGANOVIĆ T, OČIĆ V, et al. Enhancing organic fruit production: insights into biostimulant applications for sustainable growth, quality, and resilience in diverse agroecological settings. *Journal of Central European Agriculture.* 2025;26(1):229–39. doi:10.5513/JCEA01/26.1.4396
130. Buelvas Salgado GAMCCACRMLABMT. Alternativas Agroindustriales del mango criollo. Servicio Nacional de Aprendizaje. 2017.
131. Radouane N, Adadi H, Ezrari S, Kenfaoui J, Belabess Z, Mokrini F, et al. Exploring the Bioprotective Potential of Halophilic Bacteria against Major Postharvest Fungal Pathogens of Citrus Fruit *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum*. *Horticulturae.* el 13 de agosto de 2023;9(8):922. doi:10.3390/horticulturae9080922
132. Aja KJ, Al-Abbasi GBA. Effect of Foliar Application of Bimin221 and Seaweed Extract on Lime Seedling Growth. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* el 1 de noviembre de 2021;910(1):012120. doi:10.1088/1755-1315/910/1/012120