

**Efectividad de tratamientos nutricionales con biofertilizantes en la producción y calidad
del aguacate Hass en vereda el Silencio, Palestina, Huila**

Jazmín Rocío Murcia Artunduaga

Juan Carlos Ramos Cano

Asesor:

Luis Herney Salazar Nieto

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA

Agronomía

2026

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante, que hicieron posible la culminación de este proyecto académico.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, a mi familia y a todas las personas que contribuyeron directa e indirectamente al desarrollo de este trabajo, en especial a quienes brindaron orientación técnica y apoyo durante el proceso de investigación.

Nota de aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Pitalito, Mayo del 2026

Resumen

El cultivo de aguacate Hass (*Persea americana*) ha adquirido gran importancia económica en Colombia; sin embargo, su sostenibilidad se ve afectada por la alta dependencia de fertilizantes químicos y los impactos negativos asociados. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo determinar la efectividad del uso de biofertilizantes en el rendimiento, la calidad del fruto y la rentabilidad del cultivo de aguacate Hass en la vereda El Silencio, municipio de Palestina, Huila, comparando un modelo de Agricultura Tropical basado en bioinsumos (T2) con un modelo de Agricultura Convencional (T1). El estudio se desarrolló durante el periodo enero–noviembre de 2024 en la parcela experimental N° 005, bajo un diseño experimental en bloques. Se evaluaron variables productivas relacionadas con el tamaño y peso del fruto, así como la calidad comercial mediante la distribución de calibres de exportación. Adicionalmente, se realizó un análisis económico de costos de producción y una evaluación cualitativa de la sostenibilidad de ambos sistemas de fertilización. Los resultados indicaron que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el diámetro, longitud y peso promedio del fruto. No obstante, el tratamiento con biofertilizantes mostró una tendencia favorable en la distribución de calibres comerciales, concentrando una mayor proporción de frutos en los calibres intermedios más demandados para exportación. Desde el punto de vista económico, el T2 presentó una reducción del 44,6 % en los costos de producción y un menor costo por árbol frente al T1. Asimismo, el tratamiento T2 evidenció mayores niveles de sostenibilidad económica y ambiental.

Palabras Clave: Biofertilizante, Manejo de suelos, Medio ambiente, Norma, Orgánico

Abstract

Hass avocado (*Persea americana*) cultivation has gained significant economic importance in Colombia; however, its sustainability is affected by the high dependence on chemical fertilizers and the associated negative impacts. In this context, this research aimed to determine the effectiveness of biofertilizer use on the yield, fruit quality, and profitability of Hass avocado cultivation in the El Silencio village, municipality of Palestina, Huila, by comparing a Tropical Agriculture model based on bio-inputs (T2) with a Conventional Agriculture model (T1). The study was conducted from January to November 2024 in experimental plot No. 005, using a randomized complete block design. Productive variables related to fruit size and weight, as well as commercial quality through the distribution of export sizes, were evaluated. Additionally, an economic analysis of production costs and a qualitative evaluation of the sustainability of both fertilization systems were performed. The results indicated no statistically significant differences between treatments in the average fruit diameter, length, and weight. However, the biofertilizer treatment showed a favorable trend in the distribution of marketable fruit sizes, concentrating a higher proportion of fruit in the intermediate sizes most in demand for export. From an economic standpoint, T2 showed a 44.6% reduction in production costs and a lower cost per tree compared to T1. Furthermore, treatment T2 demonstrated greater levels of economic and environmental sustainability.

Keywords: Biofertilizer, Soil management, Environment, Standard, Organic

Tabla de Contenido

Introducción	13
Planteamiento del Problema	15
Pregunta Problema	16
Justificación	17
Objetivos	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos.....	19
Marco Teórico.....	20
Taxonomía	20
Características Morfológicas del Aguacate Hass (<i>Persea americana</i> var. Hass).....	20
Árbol	20
Hojas	21
Flores	21
Fruto	22
Sistema Radicular	22
Fases Fenológicas Principales.....	22
Brotación Vegetativa	22
Inducción Floral	23
Floración	23
Cuajado de Fruto.....	23
Desarrollo del Fruto	23
Maduración y Cosecha.....	23

Requerimientos Agroecológicos.....	24
Clima.....	24
Suelo	24
Manejo Agroecológico.....	24
Huella Hídrica y Sostenibilidad.....	25
Consideraciones Socioambientales.....	25
Principales Enfermedades del Cultivo de Aguacate Hass	26
Principales Plagas del Cultivo de Aguacate Hass.....	27
Producción Agrícola Sostenible.....	27
Marco Referencial.....	30
Marco Conceptual.....	36
Marco Contextual.....	37
Metodología	38
Área de Estudio y Localización de la Parcela Experimental	38
Tratamiento 1 (T1): Modelo de Agricultura Convencional.....	38
Fertilización Edáfica	38
Fertilización Foliar.....	39
Manejo Fitosanitario	39
Tratamiento 2 (T2): Modelo de Agricultura Tropical.....	40
Fertilización Edáfica (drench)	40
Fertilización Foliar.....	40
Manejo Fitosanitario	40
Diseño Experimental.....	41

Recolección de la Cosecha Traviesa.....	41
VARIABLES EVALUADAS.....	42
Clasificación de Calibres del Aguacate Hass.....	42
Análisis de la Información de Cosecha.....	43
Resultados.....	44
Influencia del Biofertilizante en la Producción del Cultivo.....	44
Tamaño del Fruto.....	44
Peso del fruto.....	48
Efectos del Biofertilizante en la Calidad del Fruto, por Medio de Calibres de Exportación....	50
Rentabilidad del Uso del Biofertilizante Frente a Fertilizantes Convencionales.....	55
Análisis de Costos de Producción.....	56
Comparación del Rendimiento Económico.....	60
Sostenibilidad del Sistema de Fertilización.....	62
Discusión.....	66
Conclusiones.....	70
Recomendaciones.....	72
Referencias.....	73
Apéndices.....	77

Lista de Tablas

Tabla 1 Descripción taxonómica de Aguacate Hass (<i>Persea americana</i> var. Hass)	20
Tabla 2 Principales enfermedades del cultivo de Aguacate Hass	26
Tabla 3 Principales plagas del cultivo de Aguacate Hass	27
Tabla 4 Clasificación empleada en el estudio	42
Tabla 5 <i>Resultados Descriptivos del Diámetro Ecuatorial promedio del Fruto T1 y T2</i>	45
Tabla 6 <i>Análisis de Varianza del Diámetro Ecuatorial del fruto en T1 y T2</i>	46
Tabla 7 <i>Resultados Descriptivos del Longitud Promedio del Fruto T1 y T2</i>	47
Tabla 8 <i>Análisis de Varianza del Longitud del fruto en T1 y T2</i>	48
Tabla 9 <i>Resultados Descriptivos del Peso Promedio del Fruto T1 y T2</i>	49
Tabla 10 <i>Análisis De Varianza Peso del Fruto</i>	50
Tabla 11 <i>Distribución Porcentual de Calibres de Exportación del Fruto, Tratamiento 1 y 2</i> <i>Bloque 1</i>	51
Tabla 12 <i>Distribución Porcentual de Calibres de Exportación del Fruto, Tratamiento 1 y 2</i> <i>Bloque 2</i>	53
Tabla 13 <i>Análisis de costos de producción</i>	56
Tabla 14 <i>Participación porcentual de los costos por tipo de fertilización y actividad en los</i> <i>tratamientos T1 y T2</i>	57
Tabla 15 <i>Costos totales de producción por tratamiento</i>	59
Tabla 16 <i>Comparación del Rendimiento Económico</i>	61
Tabla 17 <i>Comparación de la sostenibilidad del sistema de fertilización entre tratamientos</i>	63
Tabla 18 <i>Escala Numérica de Valoración de Criterios de Sostenibilidad</i>	64

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Localización de la vereda El Silencio y la finca Los Tres Potrillos.</i>	37
Figura 2 <i>Distribución Porcentual de Calibres de Exportación del Fruto, Tratamiento 1 y 2</i> <i>Bloque 1</i>	52
Figura 3 <i>Distribución Porcentual de Calibres de Exportación del Fruto, Tratamiento 1 y 2</i> <i>Bloque 1</i>	54
Figura 4 <i>Participación porcentual de los costos por tipo de fertilización T1 y T2</i>	57
Figura 5 <i>Porcentaje de Reducción en Tratamiento 2</i>	59
Figura 6 <i>Comparación del Rendimiento Económico Tratamiento 1 y 2</i>	61
Figura 7 <i>Comparación de los Criterios de Sostenibilidad entre T1 y T2</i>	65

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Muestreo unidad experimental 1. TTO CONVENCIONAL B1</i>	77
Apéndice B <i>Muestreo unidad experimental 2. TTO CONVENCIONAL B1</i>	78
Apéndice C <i>Muestreo unidad experimental 3. TTO AGRICULTURA TROPICAL B1</i>	79
Apéndice D <i>Muestreo unidad experimental 4. TTO AGRICULTURA TROPICAL B1</i>	80
Apéndice E <i>Muestreo unidad experimental 5. TTO AGRICULTURA TROPICAL B1</i>	81
Apéndice F <i>Muestreo unidad experimental 6. TTO CONVENCIONAL B1</i>	82
Apéndice G <i>Muestreo unidad experimental 7. TTO CONVENCIONAL B1</i>	83
Apéndice H <i>Muestreo unidad experimental 8. TTO AGRICULTURA TROPICAL B1</i>	84
Apéndice I <i>Unidad experimental 9. TTO AGRICULTURA TROPICAL B1</i>	85
Apéndice J <i>Unidad experimental 10. TTO CONVENCIONAL B1</i>	86
Apéndice K <i>Unidad experimental 11. TTO AGRICULTURA TROPICAL B2</i>	87
Apéndice L <i>Unidad experimental 12. TTO AGRICULTURA TROPICAL B2</i>	88
Apéndice M <i>Unidad experimental 13. TTO CONVENCIONAL B2</i>	89
Apéndice N <i>Unidad experimental 14 TTO CONVENCIONAL B2</i>	90
Apéndice O <i>Unidad experimental 15. TTO AGRICULTURA TROPICAL B2</i>	91
Apéndice P <i>Unidad experimental 16. TTO CONVENCIONAL B2</i>	92
Apéndice Q <i>Unidad experimental 17. TTO CONVENCIONAL B2</i>	93
Apéndice R <i>Unidad experimental 18. TTO AGRICULTURA TROPICAL B2</i>	94
Apéndice S <i>Unidad experimental 19. TTO AGRICULTURA TROPICAL B2</i>	95
Apéndice T <i>Unidad experimental 20. TTO CONVENCIONAL B2</i>	96
Apéndice U <i>Gramera</i>	97
Apéndice V <i>Diámetro</i>	98

Introducción

El cultivo de aguacate Hass (*Persea americana*) se ha consolidado en los últimos años como una de las principales actividades agrícolas de importancia económica en Colombia, debido a su alta demanda en los mercados nacionales e internacionales. Este crecimiento ha impulsado la intensificación de los sistemas productivos, los cuales, en muchos casos, dependen en gran medida del uso de fertilizantes químicos sintéticos para alcanzar niveles aceptables de productividad y calidad del fruto. No obstante, esta práctica ha generado incrementos en los costos de producción, así como efectos negativos sobre la fertilidad del suelo, la biodiversidad microbiana y la sostenibilidad ambiental de los sistemas agrícolas.

En respuesta a estas problemáticas, han surgido alternativas de manejo agrícola orientadas hacia la sostenibilidad, entre las cuales se destaca el uso de biofertilizantes como parte de los modelos de Agricultura Tropical. Estos insumos biológicos, elaborados a partir de materiales orgánicos y microorganismos benéficos, contribuyen a mejorar la disponibilidad de nutrientes, fortalecer la actividad biológica del suelo y reducir la dependencia de insumos externos, sin comprometer el desarrollo y la calidad del cultivo. Sin embargo, a pesar de sus ventajas potenciales, aún existe limitada información técnica que evalúe de manera integral su efecto sobre variables productivas, calidad comercial del fruto y rentabilidad económica en el cultivo de aguacate Hass bajo condiciones locales.

En el departamento del Huila, particularmente en el municipio de Palestina, el aguacate Hass representa una alternativa productiva estratégica para pequeños y medianos productores. No obstante, estos sistemas enfrentan desafíos relacionados con el aumento de los costos de fertilización y la necesidad de adoptar prácticas agrícolas más sostenibles y económicamente eficientes. En este contexto, resulta pertinente evaluar modelos productivos que integren el uso

de biofertilizantes y permitan generar información confiable que respalde su adopción a nivel regional.

Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia del uso de biofertilizantes sobre la calidad del fruto y la rentabilidad del cultivo de aguacate Hass, comparando un modelo de Agricultura Convencional con un modelo de Agricultura Tropical basado en bioinsumos. Los resultados de este estudio buscan aportar información técnica y económica que contribuya a la toma de decisiones en sistemas productivos de aguacate Hass, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles, competitivas y adaptadas a las condiciones agroecológicas de la región.

Planteamiento del Problema

El cultivo de aguacate Hass (*Persea americana*) ha experimentado un crecimiento significativo en Colombia, impulsado por la alta demanda en los mercados nacionales e internacionales. No obstante, la sostenibilidad de su producción enfrenta diversos desafíos, entre los cuales se destacan la degradación del suelo y la dependencia de fertilizantes químicos, factores que pueden afectar tanto la calidad del fruto como el equilibrio ecológico (Uribe, 2025). En la vereda El Silencio, municipio de Palestina, Huila, los productores han expresado preocupación por la eficiencia de los métodos convencionales de fertilización, así como por la necesidad de implementar estrategias que permitan mejorar la productividad sin comprometer la sostenibilidad del sistema agrícola.

El uso excesivo de fertilizantes químicos ha sido relacionado con la reducción de la biodiversidad microbiana del suelo, la acidificación y la contaminación de fuentes hídricas, lo que pone en riesgo la viabilidad del cultivo a largo plazo (Vargas, 2025). Como alternativa, los biofertilizantes han demostrado ser una herramienta prometedora para optimizar la nutrición del aguacate Hass, ya que favorecen la disponibilidad de nutrientes esenciales, estimulan el crecimiento de las plantas y mejoran la calidad del suelo (Pareja B, 2024). No obstante, la información sobre su impacto en el rendimiento y calidad del fruto bajo las condiciones agroecológicas específicas de Palestina, Huila, sigue siendo limitada.

Estudios han indicado que la combinación de biofertilizantes con fertilización química puede generar mejores resultados que el uso exclusivo de productos sintéticos, mejorando tanto el desarrollo de la planta como la calidad de la cosecha (Mora et al., 2019). Sin embargo, se requiere una evaluación más detallada de estas interacciones para determinar qué estrategias ofrecen un balance óptimo entre productividad, rentabilidad y sostenibilidad. La falta de

investigaciones locales sobre el uso de biofertilizantes en el cultivo de aguacate Hass en la región impide que los productores tomen decisiones informadas sobre su implementación en los sistemas de producción.

Ante esta problemática, la presente investigación busca evaluar el impacto del uso de biofertilizantes en la producción y calidad del aguacate Hass en la vereda El Silencio, comparando diferentes estrategias de fertilización. Los resultados generados permitirán establecer recomendaciones basadas en evidencia científica que contribuyan a la adopción de prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles. De este modo, se espera fortalecer la competitividad del sector aguacatero en Huila y fomentar el uso de tecnologías agrícolas que minimicen el impacto ambiental de la producción.

Pregunta Problema

¿Cuál es el impacto del uso de biofertilizantes en la producción y calidad del aguacate Hass (*Persea americana*) en la vereda El Silencio, municipio de Palestina, Huila, en comparación con la fertilización química e integrada?

Justificación

Durante el año 2024, se inició la investigación titulada "Evaluación del uso de biofertilizante en el rendimiento y calidad de fruta en el cultivo de Aguacate Hass (*Persea americana*)". Este estudio se implementó en la parcela investigativa 005 con el objetivo de analizar el impacto del biopreparado Supermagro en comparación con otros tratamientos de fertilización. Tras socializar el proyecto con el equipo departamental, se decidió continuar con el enfoque inicial, evaluando la efectividad del biofertilizante en relación con la fertilización integrada, química y un tratamiento testigo.

La necesidad de extender la investigación se basa en la importancia de un mayor tiempo de aplicación para obtener resultados concluyentes. Investigaciones previas han demostrado que los biofertilizantes, como Supermagro, pueden mejorar la disponibilidad y absorción de nutrientes esenciales en las plantas, aumentar su resistencia a enfermedades y estrés, y favorecer un crecimiento más saludable (Vega, 2024). Además, su aplicación en sistemas agrícolas ha sido asociada con beneficios en la estructura del suelo y la biodiversidad microbiana, lo que puede contribuir a una mayor eficiencia en el uso de nutrientes (Mora et al., 2019).

En el caso específico del cultivo de aguacate, estudios han evidenciado que la aplicación de biofertilizantes puede incrementar la producción y mejorar la calidad de la fruta, optimizando parámetros como el contenido de materia seca y la proporción de aceites esenciales (Mora et al., 2019). Asimismo, se ha identificado que la combinación de biofertilizantes con fertilizantes químicos puede generar un efecto sinérgico, logrando un mayor rendimiento en comparación con el uso exclusivo de insumos químicos (Vega, 2024). Esto sugiere que una estrategia de fertilización equilibrada podría resultar más eficiente y sostenible a largo plazo.

Desde una perspectiva ambiental, el uso de biofertilizantes representa una alternativa viable para reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos y mitigar los impactos negativos de la agricultura convencional en el suelo y los recursos hídricos. Según estudios recientes, el empleo de estos biopreparados no solo promueve la salud del ecosistema agrícola, sino que también puede contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de fertilizantes industriales (Vega, 2024). En este contexto, la evaluación de Supermagro en el cultivo de aguacate Hass cobra relevancia como una estrategia para fomentar prácticas agrícolas más sostenibles.

Por lo tanto, la presente investigación busca proporcionar evidencia comparativa sobre la eficacia de los diferentes tratamientos de fertilización en el cultivo de aguacate Hass. Al generar datos sólidos sobre el rendimiento y la calidad del fruto, se espera contribuir al desarrollo de estrategias agrícolas innovadoras y ambientalmente responsables. Los resultados obtenidos podrían ser fundamentales para orientar a productores y técnicos agrícolas en la toma de decisiones sobre el manejo nutricional del cultivo, promoviendo un sistema de producción más eficiente y sostenible.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la efectividad de los diferentes tratamientos de manejo de nutrición en el cultivo de aguacate Hass, utilizando biofertilizante.

Objetivos Específicos

Analizar la influencia del biofertilizante en la producción del cultivo, midiendo parámetros para el rendimiento por árbol como el tamaño y peso del fruto

Evaluar los efectos del biofertilizante en la calidad del fruto, por medio de calibres de exportación.

Comparar la rentabilidad del uso del biofertilizante frente a fertilizantes convencionales, analizando costos de producción, rendimiento económico y sostenibilidad del sistema de fertilización.

Marco Teórico

El cultivo de aguacate Hass (*Persea americana* var. Hass), representa una alternativa agroindustrial estratégica en zonas de altitud media, gracias a su alta demanda internacional, valor nutricional y adaptabilidad edafoclimática. Este sistema productivo requiere una integración de prácticas agronómicas sostenibles, manejo fitosanitario especializado y planificación técnica basada en modelos predictivos (Agrosavia, 2025).

El aguacate Hass fue desarrollado en California en 1926 por Rudolph Hass, a partir de una semilla guatemalteca. Su expansión en Colombia ha sido significativa en departamentos como Huila, Tolima y Antioquia, donde las condiciones agroecológicas favorecen su desarrollo. (Bernal, 2024, p. 26).

Taxonomía

Tabla 1

Descripción taxonómica de Aguacate Hass (Persea americana var. Hass)

Descripción Taxonómica de Aguacate Hass (<i>Persea americana</i> var. Hass)	
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Lurales
Familia	Lauraceae
Género	Persea
Especie	<i>Persea americana</i> Mill.

Fuente. (Bernal, 2024).

Características Morfológicas del Aguacate Hass (*Persea americana* var. Hass)

Árbol

El aguacate Hass es un árbol perenne de porte medio a alto, caracterizado por un crecimiento erecto y vigoroso. En condiciones silvestres puede alcanzar alturas cercanas a los 20

m; sin embargo, en sistemas productivos comerciales su altura se regula generalmente entre 5 y 10 m mediante podas de formación y mantenimiento, lo que facilita las labores de manejo, cosecha y control fitosanitario. La copa es abierta y de forma redondeada, con ramas abundantes y bifurcadas que favorecen la aireación interna. El tronco es robusto, con una corteza festoneada de color gris claro a oscuro y un grosor que puede alcanzar hasta 3 cm, proporcionando soporte estructural al árbol (MinAgricultura, 2012).

Hojas

Las hojas del aguacate Hass son simples, enteras y de forma elíptica, dispuestas de manera alterna. Presentan un tamaño promedio de 14 a 19 cm de largo y 7 a 9 cm de ancho, con un pecíolo bien definido de 3 a 4,5 cm. En estado juvenil exhiben tonalidades rojizas, que cambian progresivamente a un verde intenso en la madurez. La superficie superior es glabra y lisa, mientras que el envés presenta una ligera pubescencia. Aunque el cultivo es perenne, el árbol puede experimentar una renovación parcial o casi total del follaje durante la etapa de floración, asociada a la dinámica fisiológica del cultivo (MinAgricultura, 2012).

Flores

Las flores del aguacate Hass son hermafroditas, pequeñas y de simetría regular, con una coloración verde amarillenta. Su diámetro promedio es de aproximadamente 1 cm y se agrupan en inflorescencias tipo panícula, que pueden contener hasta 200 flores, localizadas en posiciones terminales o subterminales. El cultivo presenta un ciclo sexual dicotómico, conocido como dicogamia protogínica, en el cual la flor abre inicialmente en fase femenina durante la mañana y, tras cerrarse, reabre al día siguiente en fase masculina durante la tarde. Este mecanismo favorece la polinización cruzada y condiciona el éxito reproductivo del cultivo (MinAgricultura, 2012).

Fruto

El fruto del aguacate Hass corresponde a una drupa de forma ovalada o piriforme, altamente apreciada en los mercados nacionales e internacionales. Su peso promedio oscila entre 120 y 300 g, aunque en condiciones excepcionales puede superar los 2 kg. El exocarpio o piel es grueso y rugoso, y experimenta un cambio de coloración de verde oscuro a negro violáceo al alcanzar la madurez fisiológica. El mesocarpio o pulpa es de color amarillo con matices verdes, de textura cremosa y sabor suave, con notas características a frutos secos. En el centro se encuentra una semilla de tamaño medio, generalmente redondeada, recubierta por una delgada capa de color marrón (MinAgricultura, 2012).

Sistema Radicular

El sistema radicular del aguacate Hass es superficial y se caracteriza por la ausencia de pelos radicales, lo que limita su capacidad de absorción directa y lo hace altamente dependiente de la estructura y aireación del suelo. La distribución de las raíces es proporcional al volumen aéreo del árbol y se concentra principalmente en los primeros horizontes del suelo. Esta condición confiere una alta sensibilidad al encharcamiento y a la asfixia radical, por lo que el drenaje adecuado es un factor crítico para la sostenibilidad del cultivo (MinAgricultura, 2012).

Fases Fenológicas Principales

Brotación Vegetativa

La brotación vegetativa ocurre varias veces a lo largo del año, con mayor intensidad en períodos de condiciones climáticas favorables, especialmente durante el invierno. Este proceso está estrechamente relacionado con la disponibilidad hídrica y la temperatura, influyendo directamente en la formación de hojas, ramas y yemas que sostendrán la futura producción (Vásquez et al., 2022).

Inducción Floral

La inducción floral corresponde a la transformación de yemas vegetativas en reproductivas. Este proceso puede ser estimulado por factores fisiológicos y prácticas de manejo como la defoliación parcial o el anillado, las cuales modifican el balance hormonal y la distribución de carbohidratos en la planta (Vásquez et al., 2022).

Floración

La floración del aguacate Hass puede presentarse en hasta cuatro flujos: loca, aventajada, normal y marceña. Cada flor abre dos veces, primero en fase femenina y luego en fase masculina, en un fenómeno conocido como dicogamia sincronizada. Esta característica condiciona la eficiencia de la polinización y explica, en parte, la baja proporción de flores que logran convertirse en frutos (Vásquez et al., 2022).

Cuajado de Fruto

El cuajado corresponde a la fijación del fruto luego de la polinización y fecundación. En el aguacate Hass, este proceso es altamente restrictivo, ya que solo entre el 0,1 % y el 0,5 % de las flores llegan a desarrollarse como frutos, debido a factores fisiológicos, ambientales y nutricionales (Vásquez et al., 2022).

Desarrollo del Fruto

El desarrollo del fruto tiene una duración aproximada de 8 a 10 meses, dependiendo del flujo floral del cual provenga. Durante esta etapa, el crecimiento del fruto está influenciado principalmente por la temperatura, la disponibilidad de agua y nutrientes, y el estado fisiológico del árbol (Vásquez et al., 2022).

Maduración y Cosecha

La maduración y cosecha se determinan con base en indicadores fisiológicos, siendo la

materia seca uno de los más utilizados. Se recomienda cosechar cuando el fruto alcanza un contenido de materia seca igual o superior al 21 %. La época de cosecha varía según el flujo floral, siendo común el flujo normal entre diciembre y febrero, y el marceño entre marzo y abril (Vásquez et al., 2022).

Requerimientos Agroecológicos

Clima

El aguacate Hass requiere temperaturas óptimas entre 16 °C y 24 °C para un adecuado desarrollo vegetativo y reproductivo. Las temperaturas extremas pueden afectar negativamente la floración y el cuajado de frutos. La precipitación anual ideal se sitúa entre 1.000 y 1.800 mm, con una distribución homogénea; en zonas con déficit hídrico es indispensable la implementación de riego tecnificado. La altitud recomendada oscila entre 1.600 y 2.500 msnm, evitando áreas con exceso de humedad. Los vientos deben ser moderados, y se aconseja el establecimiento de barreras vivas para reducir daños mecánicos y estrés en el cultivo (Vásquez, A et al., 2022).

Suelo

Los suelos más adecuados para el cultivo son de textura franco a franco-arenosa, con excelente drenaje. El pH óptimo se encuentra entre 5,5 y 6,5, y la profundidad efectiva debe ser superior a 1 m, libre de capas compactadas. Una alta disponibilidad de materia orgánica mejora la estructura del suelo, la retención de humedad y la actividad biológica, por lo que se recomienda el uso de compost y bioinsumos (Vásquez, A et al., 2022).

Manejo Agroecológico

El manejo agroecológico del aguacate Hass incluye la conservación de coberturas vegetales vivas o muertas, que contribuyen a la regulación hídrica, reducción de la erosión y

fortalecimiento de la biodiversidad funcional. El cultivo puede integrarse en sistemas agroforestales mediante la asociación con café, plátano o leguminosas. Asimismo, se promueve el control biológico de plagas mediante la conservación de enemigos naturales como *Zelus luridus* y *Chrysoperla* spp., y la fertilización orgánica basada en lombricomposta, té de compost y biofertilizantes líquidos (Vásquez et al., 2022).

Huella Hídrica y Sostenibilidad

La huella hídrica total del cultivo de aguacate Hass puede alcanzar valores cercanos a 4.945 m³ por tonelada producida, lo que hace indispensable la adopción de estrategias de eficiencia hídrica. Entre estas se destacan el riego por goteo, la captación y almacenamiento de aguas lluvias y el uso de prácticas que mejoren la retención de humedad en el suelo (Naranjo & Reyes, 2022).

Consideraciones Socioambientales

En regiones productoras como el Cauca y el Quindío se han identificado conflictos socioambientales asociados al uso intensivo del suelo y del recurso hídrico. Frente a este escenario, se recomienda la implementación de planes de manejo participativos, diagnósticos ambientales previos y estrategias de gobernanza territorial que garanticen la sostenibilidad social y ambiental del cultivo (Bolívar, 2025).

Principales Enfermedades del Cultivo de Aguacate Hass

Tabla 2

Principales enfermedades del cultivo de Aguacate Hass

Enfermedad	Agente causal	Síntomas principales	Condiciones predisponentes	Estrategias de manejo
Pudrición radical	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	Marchitez, raíces blandas, defoliación	Suelos encharcables, alta humedad	Fosfitos, drenaje, desinfección de suelo
Antracnosis	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Manchas negras en hojas y frutos, caída floral	Alta humedad, poca ventilación	Podas, fungicidas cúpricos, control de microclima
Marchitamiento vascular	<i>Fusarium spp.</i> , <i>Verticillium spp.</i>	Muerte regresiva, defoliación unilateral	Suelos contaminados, estrés hídrico	Portainjertos resistentes, solarización
Roña	<i>Sphaceloma perseae</i>	Lesiones negras en brotes y frutos	Alta humedad, brotes tiernos	Podas sanitarias, fungicidas preventivos
Fumagina	Hongos saprófitos sobre melaza	Capa negra sobre hojas, reducción fotosíntesis	Presencia de insectos chupadores	Control biológico, lavado foliar
Oídio	<i>Oidium spp.</i>	Polvillo blanco en hojas, deformaciones leves	Climas secos, poca ventilación	Azufre, distanciamiento, ventilación

Fuente. (Agrosavia, 2025)

Principales Plagas del Cultivo de Aguacate Hass

Tabla 3

Principales plagas del cultivo de Aguacate Hass

Plaga	Nombre científico	Órgano afectado	Síntomas visibles	Impacto agronómico	Estrategias de manejo
Polilla del aguacate	<i>Stenoma catenifer</i>	Fruto	Orificios, galerías internas, pudrición	Pérdida comercial, cuarentenaria	Trampas de feromonas, monitoreo, eliminación de frutos afectados
Picudo del aguacate	<i>Heilipus lauri</i>	Fruto	Perforaciones externas, daño interno	Reducción de calidad exportable	Trampas cebadas, control biológico, manejo ICA
Trips	<i>Frankliniella spp.</i> , <i>Scirtothrips spp.</i>	Hojas y flores	Necrosis, deformaciones, caída floral	Afecta floración y cuajado	Trampas adhesivas, control biológico con <i>Orius spp.</i>
Ácaros	<i>Oligonychus perseae</i>	Hojas	Clorosis, manchas, defoliación	Reducción fotosíntesis, estrés vegetal	Aplicaciones dirigidas, control biológico con ácaros depredadores
Mosca de la fruta	<i>Anastrepha spp.</i> , <i>Ceratitis capitata</i>	Fruto	Oviposición, pudrición interna, caída prematura	Rechazo en exportación	Trampas McPhail, monitoreo ICA, eliminación de frutos caídos

Fuente. (Agrosavia, 2025)

Producción Agrícola Sostenible

La producción agrícola sostenible ha llevado a la búsqueda de alternativas que reduzcan el impacto ambiental de los fertilizantes químicos, destacándose el uso de biofertilizantes. Estos insumos biológicos están compuestos por microorganismos benéficos, como bacterias fijadoras

de nitrógeno y hongos micorrícicos, que mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo, fortalecen el sistema radicular y promueven el desarrollo vegetal. En el cultivo de aguacate Hass (*Persea americana*), la incorporación de biofertilizantes se ha convertido en una estrategia clave para optimizar la productividad y calidad del fruto (Pedraza, 2021).

Desde el punto de vista teórico, la aplicación de biofertilizantes se sustenta en principios agroecológicos que favorecen la fertilidad del suelo y el equilibrio microbiológico. Estos insumos contribuyen a la fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo y producción de fitohormonas, lo que mejora la absorción de nutrientes esenciales en los cultivos. Asimismo, el uso de biofertilizantes está alineado con los enfoques de la agricultura regenerativa, que buscan reducir la dependencia de agroquímicos y mejorar la resiliencia de los agroecosistemas (Pedraza, 2021).

El cultivo de aguacate Hass en la vereda El Silencio, ubicada en Palestina, Huila, enfrenta desafíos relacionados con la degradación del suelo y la disminución de la productividad, en este contexto, el uso de biofertilizantes se plantea como una alternativa viable para mejorar la calidad del suelo y obtener frutos con mejores características organolépticas y nutricionales. (García-Martínez et al., 2025), han evidenciado que la aplicación de fuentes organizadas como fertilizante puede influir en parámetros como el tamaño, peso y contenido de materia seca del fruto, además de mejorar la resistencia del árbol a enfermedades y factores abióticos.

La evaluación del uso de biofertilizantes implica analizar variables como la respuesta fisiológica del cultivo, la dinámica de nutrientes en el suelo y la interacción entre microorganismos benéficos y las raíces del aguacate. Para ello, se emplean metodologías basadas en ensayos experimentales, medición de parámetros de crecimiento y análisis de la composición del fruto. Estas evaluaciones permiten determinar la eficacia de los biofertilizantes en

comparación con los fertilizantes convencionales y establecer recomendaciones para su implementación a nivel productivo (García-Martínez et al., 2025).

El marco teórico de esta investigación se fundamenta en la importancia de los biofertilizantes como herramienta para mejorar la producción y calidad del aguacate Hass de manera sostenible, su aplicación no solo favorece el desarrollo del cultivo, sino que también contribuye a la conservación del suelo y la reducción del impacto ambiental asociado al uso excesivo de fertilizantes sintéticos (Vega, 2024). La evaluación en la vereda El Silencio permitirá generar conocimientos aplicables a otras regiones productoras y fortalecer el manejo agronómico del aguacate Hass en Colombia.

Marco Referencial

García-Martínez et al. (2025), llevaron a cabo un estudio en un huerto comercial de aguacate Hass ubicado en San Jerónimo Totoltepec, municipio de Villa de Allende, Estado de México, a una altitud de 2300 m s. n. m., con una precipitación media anual de 1129 mm y una temperatura promedio de 16 °C. El huerto presentaba una densidad de plantación de 192 árboles por hectárea, sobre un suelo Andosol con pendiente menor al 5 %, y los árboles tenían ocho años al inicio del experimento.

El problema abordado por la investigación se centró en que, aunque la nutrición mineral y orgánica del aguacate Hass es determinante para alcanzar altos rendimientos y calidad de fruta, los productores utilizan diferentes fuentes de fertilización sin información concluyente sobre su efecto comparativo en rendimiento, calidad y comportamiento poscosecha. Esta variabilidad en las prácticas de fertilización genera diferencias productivas y de calidad que afectan la competitividad del fruto en el mercado fresco, especialmente en sistemas de producción de temporal, donde el manejo nutricional debe ser altamente eficiente. Como objetivo se buscó evaluar la respuesta del rendimiento y la calidad de los frutos de aguacate Hass a diferentes fuentes de fertilización: fertilización orgánica, mineral y combinada, comparadas con un tratamiento testigo, bajo las mismas condiciones.

El experimento se estableció bajo un diseño en bloques completamente al azar, con dos bloques, cada uno integrado por 16 árboles de vigor y estado nutricional similar. Se evaluaron cuatro tratamientos: fertilización orgánica, fertilización mineral, fertilización combinada (orgánica + mineral) y un control, correspondiente a la práctica tradicional del productor (500 g de urea por árbol). Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, considerando un árbol como unidad experimental. La fertilización se fraccionó en tres aplicaciones realizadas en septiembre

de 2018, enero y mayo de 2019, coincidiendo con las fases fenológicas de brotación vegetativa, inicio de floración y crecimiento del fruto. Los fertilizantes se aplicaron al suelo en una banda circular de 50 cm de ancho y 15 cm de profundidad, a media distancia entre el tronco y la proyección de la copa.

El tratamiento mineral incluyó urea, superfosfato triple de calcio, cloruro de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de zinc, bórax y una mezcla de micronutrientes; el orgánico consistió en composta de estiércol bovino y ovino en proporción 3:1; y el combinado integró 0,6 kg de fertilizante mineral y 19 kg de fertilizante orgánico por árbol. Las dosis se definieron considerando el diagnóstico de fertilidad del suelo, el estado nutricional del árbol y un rendimiento objetivo de 20 Mg ha⁻¹. Se evaluaron variables de rendimiento (kg árbol⁻¹), número de frutos, peso individual, diámetro, longitud e índice de forma, así como variables de poscosecha, incluyendo materia seca, pérdida de peso, firmeza y color, durante un periodo de maduración de nueve días a 22 °C y 90 % de humedad relativa. El análisis estadístico incluyó pruebas de normalidad, ANOVA y comparación de medias mediante Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando el software R.

Los resultados mostraron diferencias significativas entre fuentes de fertilización. La fertilización orgánica presentó el mayor rendimiento, con 30,7 kg por árbol, superando 4,2 veces al control (7,2 kg árbol⁻¹), 2,2 veces a la fertilización mineral (13,9 kg árbol⁻¹) y 2,8 veces a la fertilización combinada (10,9 kg árbol⁻¹). Asimismo, el número de frutos fue significativamente mayor con fertilización orgánica (217 frutos por árbol) frente al control (57 frutos). El peso promedio del fruto no mostró diferencias relevantes entre tratamientos, con valores cercanos a 137–139 g, salvo en el tratamiento combinado, que presentó frutos más pequeños (117 g). A

escala de hectárea, los rendimientos estimados fueron de 5,9 Mg ha⁻¹ para fertilización orgánica, 2,7 Mg ha⁻¹ para mineral, 2,6 Mg ha⁻¹ para combinada y 1,4 Mg ha⁻¹ para el control.

En cuanto a la poscosecha, el contenido de materia seca no fue afectado por la fuente de fertilización, con un promedio general de 23,3 %, valor adecuado para cosecha comercial. La pérdida de peso durante el almacenamiento tampoco presentó diferencias significativas, con un promedio de 9 % tras nueve días. Sin embargo, la firmeza del fruto a madurez de consumo fue superior en la fertilización mineral, lo que se asocia a un mejor contenido de calcio en el mesocarpio y a una mayor vida de anaquel. En términos de color externo, los frutos provenientes de fertilización mineral y orgánica desarrollaron una coloración externa más intensa, mientras que el control y la fertilización combinada mantuvieron tonalidades más verdes, indicativas de mayor contenido de clorofila.

En conclusión, el estudio demuestra que la fuente de fertilización condiciona de manera significativa el rendimiento y la calidad del aguacate Hass. La fertilización orgánica se destaca por incrementar notablemente el número de frutos y el rendimiento por árbol, atribuible a la mejora de la fertilidad del suelo y la disponibilidad gradual de nutrientes. En contraste, la fertilización mineral favorece atributos de calidad poscosecha, especialmente la firmeza del fruto y su comportamiento durante la maduración, lo que resulta clave para mercados de fruta fresca. En términos generales, los resultados evidencian que la elección de la fuente de fertilización debe responder al objetivo productivo, ya sea maximizar el rendimiento (orgánica) o mejorar la calidad y vida útil del fruto (mineral), aportando información técnica sólida para la toma de decisiones en sistemas de producción de aguacate Hass en regiones de temporal.

Por su parte Vega (2024), desarrolló la investigación en la finca El Triunfo, ubicada en la vereda La Florida del municipio de El Pital, departamento del Huila (Colombia), una zona con

condiciones agroecológicas favorables para el cultivo de aguacate Hass, como suelos de origen volcánico, clima templado y adecuada disponibilidad hídrica. La investigación se ejecutó durante un periodo de cuatro años (2020–2023) en un lote productivo conformado por 350 árboles de aguacate Hass, sembrados a una distancia de 8×8 m, lo que permitió evaluar el comportamiento del cultivo en condiciones reales de producción y en diferentes ciclos productivos

El problema atendido por la investigación se relacionó con la baja productividad y los altos costos de producción del aguacate Hass en el sur del Huila, asociados principalmente al uso intensivo de fertilizantes químicos y a la degradación progresiva del suelo. Esta situación limita la rentabilidad del cultivo, afecta la sostenibilidad ambiental y dificulta el cumplimiento de estándares de calidad exigidos por los mercados nacionales e internacionales. En este contexto, el estudio planteó la necesidad de evaluar alternativas nutricionales orgánicas, capaces de mejorar el rendimiento del cultivo, reducir costos y contribuir a la recuperación de la fertilidad del suelo. Como objetivo se buscó mejorar la productividad y la calidad del cultivo de aguacate Hass (*Persea americana*) mediante la implementación del biofertilizante líquido Supermagro en la finca El Triunfo, evaluando su efecto sobre el rendimiento del cultivo y comparándolo con un tratamiento testigo sin aplicación del bioinsumo.

La metodología llevada a cabo se desarrolló bajo un diseño completamente al azar (DCA), con dos tratamientos: T1, correspondiente a la aplicación de biofertilizante Supermagro, y un testigo, sin aplicación. El biofertilizante fue elaborado mediante fermentación anaeróbica en tanques de 200 litros, utilizando estiércol fresco de bovino, melaza, leche, humus de lombriz, minerales (sulfato de cobre, sulfato de hierro, fosfato diamónico y sulfato de amonio) y suplementos orgánicos, ajustados con base en un análisis fisicoquímico previo del suelo, el cual evidenció deficiencias de fósforo, hierro, cobre y azufre, así como un pH ácido de 5,24.

La aplicación del biofertilizante se realizó cada dos meses, con una dosis de 1 litro por árbol, aplicado al suelo alrededor del tallo. La variable de evaluación fue la producción, expresada en kilogramos y clasificada por calibres comerciales, de acuerdo con la norma NTC 094 (2018). Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva e inferencial, utilizando pruebas de normalidad y la prueba U de Mann-Whitney, con un nivel de significancia del 5 %

Los resultados evidenciaron un incremento sostenido del rendimiento del cultivo en el tratamiento con Supermagro frente al testigo durante los cuatro años evaluados. En 2020, la producción total del tratamiento alcanzó 22.280 kg, concentrándose principalmente en calibres 30 y 32 (frutos entre 90 y 115 g). Para 2021, la producción aumentó a 29.354 kg, con una mayor participación de calibres 24, 26, 28, 30 y 32. En 2022, el rendimiento se incrementó a 36.914 kg, evidenciando una mejora tanto en volumen total como en la distribución de calibres intermedios y comerciales. Finalmente, en 2023 se registró el mayor desempeño productivo, con un incremento notable en calibres de mayor peso (18, 20 y 22), lo que indica una mejora en la calidad comercial del fruto. En todos los periodos, el tratamiento con Supermagro superó al testigo, y las pruebas estadísticas confirmaron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

En conclusión, el estudio demostró que la aplicación del biofertilizante líquido Supermagro tiene un efecto positivo y significativo sobre el rendimiento del cultivo de aguacate Hass, tanto en términos de producción total como en la distribución de calibres comerciales. Además, el uso de este bioinsumo contribuyó a mejorar la nutrición del suelo, reducir la dependencia de fertilizantes químicos y promover prácticas agrícolas más sostenibles. No obstante, se identificaron desafíos asociados a su elaboración, como la demanda de mano de obra y la necesidad de un manejo técnico adecuado para evitar riesgos ambientales. En conjunto, los

resultados posicionan al Supermagro como una alternativa viable, económica y ambientalmente sostenible para fortalecer la competitividad del aguacate Hass en el Huila y mejorar las condiciones productivas de los pequeños y medianos agricultores.

Marco Conceptual

Agricultura Tropical. “Es un modelo productivo ambientalmente sostenible que promueve las prácticas agrícolas que respetan la naturaleza y la cultura campesina”. (Asohofrucol, 2026).

Agricultura Convencional. “Implica el uso de productos químicos sintéticos, como fertilizantes, pesticidas, herbicidas, organismos modificados genéticamente, etc.” (Nitika et al., 2021).

Biofertilizante. Se conoce como una “alternativa biotecnológica para aumentar la fertilidad del suelo y la producción de cultivos sostenibles. La utilización de microorganismos benéficos ha adquirido importancia, debido a su papel potencial en la seguridad alimentaria y la producción sostenible de los cultivos” (FAO, 2018).

Materia Orgánica. “sustancias orgánicas variadas, de color pardo y negruzco, que resultan de la descomposición de materias orgánicas de origen exclusivamente vegetal” (Julca-Otiniano et al., 2006).

Producción agrícola sostenible. “se refiere a la capacidad del sistema para mantener su productividad a pesar de las perturbaciones económicas y naturales, externas o internas” (Castillo, 2009).

Rendimiento Agrícola. “se refieren a la cantidad de producción agrícola o animal por unidad de superficie agrícola o de insumos agrícolas, comúnmente evaluados para diversos actores agrícolas y vitales para evaluar las variedades de cultivos y las prácticas de gestión” (Camacho et al., 2020)

Marco Contextual

El presente proyecto se desarrolla en la finca Los Tres Potrillos, ubicada en la vereda El Silencio, perteneciente al municipio de Palestina, departamento de Huila. Esta zona se caracteriza por condiciones agroclimáticas favorables para el desarrollo de sistemas productivos agrícolas y de importancia económica para la región.

La finca se localiza a una altitud aproximada de 1.849m sobre el nivel del mar, con una temperatura media de 20 °C, lo que genera un ambiente térmico adecuado para el crecimiento vegetal, la actividad biológica del suelo y el desarrollo fisiológico de los cultivos. En cuanto al régimen de lluvias, la zona presenta una precipitación promedio mensual de 274 mm, lo que indica una oferta hídrica significativa, relevante para la productividad agrícola. La vereda El Silencio se encuentra dentro de una zona rural con tradición agrícola, donde predominan pequeñas y medianas unidades productivas.

En la Figura 1 se presenta el mapa de localización de la vereda El Silencio y la finca Los Tres Potrillos.

Figura 1

Localización de la vereda El Silencio y la finca Los Tres Potrillos.



Fuente: Google.Maps (2025)

Metodología

Área de Estudio y Localización de la Parcela Experimental

La investigación se desarrolló en el municipio de Palestina, vereda El Silencio, en el predio Los Tres Potrillos, departamento del Huila, Colombia. El estudio se realizó en la parcela experimental N° 005, correspondiente a un cultivo de aguacate Hass, en la cual se evaluaron dos modelos de manejo agrícola: Tratamiento 1 (T1), correspondiente a un modelo de Agricultura Convencional, y Tratamiento 2 (T2), basado en un modelo de Agricultura Tropical. Ambos tratamientos se aplicaron durante el periodo comprendido entre enero y noviembre de 2024, registrándose de manera detallada las actividades, insumos utilizados, dosis aplicadas y costos asociados.

Tratamiento 1 (T1): Modelo de Agricultura Convencional

El Tratamiento 1 se caracterizó por el uso de fertilizantes químicos minerales sólidos, complementados con aplicaciones foliares y un manejo fitosanitario de síntesis química. La dosificación fue establecida para 60 árboles y se aplicó de forma repetitiva a lo largo del ciclo productivo.

Fertilización Edáfica

La fertilización edáfica del Tratamiento 1 se realizó mediante la aplicación de una fórmula fija compuesta por los siguientes insumos:

Nitro Balance: 50,25 kg por aplicación

Nitrabor: 9 kg por aplicación

Agrimins: 6 kg por aplicación

Boro granulado: 3 kg por aplicación

Microzinc: 1,5 kg por aplicación

Esta mezcla fue aplicada en cuatro momentos del ciclo (marzo, julio, septiembre y noviembre), con el objetivo de suplir los requerimientos nutricionales del cultivo en macronutrientes y micronutrientes.

Fertilización Foliar

Como complemento a la nutrición edáfica, se realizaron aplicaciones foliares individuales a cada árbol, empleando los siguientes productos y dosis:

Cal Hard: 40 cc por bomba de 20 litros, para un total de 240 cc diluidos en 120 litros para los 60 árboles.

Selecto: 20 cc por bomba de 20 litros, equivalente a 120 cc diluidos en 120 litros para los 60 árboles.

Acetato de calcio: dosis comercial aplicada en mezcla foliar.

Citrato de cobre: dosis comercial aplicada en mezcla foliar.

Manejo Fitosanitario

El control de plagas y enfermedades en el Tratamiento 1 se efectuó mediante el uso de productos de síntesis química, destacándose las siguientes aplicaciones:

Danadim: 500 cc diluidos en 200 litros de agua para el control de monalonia.

Alisin: 1 litro por aplicación para el control de ácaros y trips.

Malatión: 500 cc por aplicación.

Mezcla correctiva: 4 litros de jabón potásico + 1 litro de sulfa potásica + 2 kg de diatomeas + 600 g de soda cáustica, utilizada para el control de escamas y monalonia.

Tratamiento 2 (T2): Modelo de Agricultura Tropical

El Tratamiento 2 se fundamentó en un enfoque de nutrición orgánica y biológica, priorizando el uso de biofertilizantes líquidos, extractos húmicos y microorganismos, aplicados principalmente vía foliar y mediante drench.

Fertilización Edáfica (drench)

Las aplicaciones al suelo se realizaron utilizando mezclas líquidas diluidas en 200 litros de agua, con las siguientes composiciones:

Supermagro: 40 litros por aplicación.

Hidrolato o extracto de leonarditas: 10 litros por aplicación.

Quelato de calcio: 5 litros por aplicación.

Microorganismos de montaña: 10 litros por aplicación.

Estas aplicaciones se repitieron en diferentes momentos del ciclo productivo con el propósito de mejorar la fertilidad del suelo y estimular la actividad biológica.

Fertilización Foliar

Las aplicaciones foliares del Tratamiento 2 se realizaron con las siguientes combinaciones:

Supermagro: 10 a 20 litros por cada 200 litros de agua, según la etapa del cultivo.

Quelato de calcio: 3 a 5 litros por cada 200 litros de agua.

Extracto de leonarditas: 500 ml por cada 200 litros de agua.

Acetato de calcio: 2 litros por cada 200 litros de agua.

Manejo Fitosanitario

El manejo fitosanitario en el Tratamiento 2 fue de carácter mixto, integrando productos de bajo impacto con algunos insumos químicos cuando fue necesario:

Alisin: 1 litro por aplicación.

Malatión: 500 cc por aplicación.

Diseño Experimental

El ensayo se estableció bajo un diseño experimental en bloques, con el fin de reducir la variabilidad asociada a las condiciones del terreno y mejorar la precisión de la comparación entre tratamientos. Se dispusieron dos bloques experimentales (Bloque 1 y Bloque 2), cada uno conformado por 10 unidades experimentales, para un total de 20 unidades experimentales en la parcela.

Cada unidad experimental estuvo representada por tres árboles, seleccionados de manera homogénea dentro de cada bloque, sobre los cuales se aplicaron los tratamientos correspondientes al modelo de Agricultura Convencional (T1) y al modelo de Agricultura Tropical (T2), previamente descritos.

Recolección de la Cosecha Traviesa

El 26 de noviembre de 2024 se realizó el acompañamiento técnico a la recolección de la cosecha traviesa en la parcela N° 005. La actividad se desarrolló conforme al diseño experimental establecido, asegurando la trazabilidad de la información por bloque y tratamiento.

Previo a la cosecha, se efectuó la marcación de cinco ramas por árbol, distribuidas de la siguiente manera: cuatro ramas ubicadas en los extremos (orientaciones cardinales) y una rama central. Esta marcación se realizó en tres de los seis árboles seleccionados por tratamiento, con el propósito de garantizar una muestra representativa de la variabilidad productiva del árbol.

En cada unidad experimental se recolectaron 15 frutos, obtenidos a partir de las ramas previamente marcadas, los cuales fueron identificados y registrados de manera individual.

Variables Evaluadas

A cada fruto cosechado se le determinaron las siguientes variables físicas:

Peso del fruto, expresado en gramos (g).

Diámetro del fruto, medido en centímetros (cm).

Altura o longitud del fruto, medida en centímetros (cm).

Estas variables permitieron evaluar la calidad física de la cosecha y su relación con el manejo agronómico aplicado en cada tratamiento.

Clasificación de Calibres del Aguacate Hass

Para el análisis de la calidad comercial de la producción, los frutos se clasificaron de acuerdo con los calibres establecidos para exportación de aguacate Hass hacia la Unión Europea, los cuales se determinan principalmente por el peso individual del fruto.

En Colombia, los calibres más aceptados por el mercado europeo corresponden a los rangos intermedios, especialmente entre los calibres 16 y 20, debido a su alta demanda en supermercados y cadenas de retail (ICA, 2021; Comisión Europea, 2019; Agrosavia, 2020).

Tabla 4

Clasificación empleada en el estudio

Calibre	Peso aproximado por fruto (g)	Observaciones para exportación UE
12	300 – 325 g	Fruto grande, menos frecuente en supermercados.
14	260 – 285 g	Muy aceptado en cadenas europeas.
16	230 – 250 g	Alta demanda en retail.
18	210 – 230 g	Considerado “ideal” para consumidores europeos.
20	190 – 210 g	Muy comercial, estándar en exportación.
22	165 – 190 g	Aceptado, aunque menos preferido.
24	125 – 150 g	Fruto pequeño, se usa en nichos o promociones.

Fuente. Coltropicos (2025)

Análisis de la Información de Cosecha

Para el análisis del peso de los frutos y su comparación entre tratamientos y bloques, se aplicó el siguiente procedimiento metodológico:

Se consideraron las columnas peso_f1, peso_f2, peso_f3, peso_f4 y peso_f5 que contienen registros individuales del peso.

En cada fila, se calculó el promedio simple de estos cinco valores.

Posteriormente, se agrupó la base de datos por las variables categóricas "bloque" y "trt".

Se calculó el promedio del peso promedio de cada grupo resultante, obteniendo así un valor representativo para cada combinación bloque-tratamiento.

Esta metodología permite evaluar cómo varía el peso entre tratamientos y bloques, facilitando la comparación con un indicador consolidado. Este procedimiento permitió evaluar de manera comparativa el efecto de los tratamientos sobre el peso del fruto, minimizando la variabilidad interna y facilitando la interpretación de los resultados en función del diseño experimental.

Resultados

Influencia del Biofertilizante en la Producción del Cultivo

Con el fin de evaluar la influencia del Modelo de Agricultura Tropical (T2) basado en el uso de biofertilizante el Supermagro, extractos húmicos de leonarditas, microorganismos de montaña y fuentes de calcio en forma de quelatos y acetato, aplicados vía edáfica y foliar en la producción del cultivo, comparado con el Modelo de Agricultura Convencional (T1), se analizaron diferentes parámetros productivos, entre ellos el rendimiento por árbol teniendo en cuenta las características físicas del fruto, específicamente su tamaño y peso. Estos indicadores permiten determinar si la aplicación de biofertilizantes genera efectos significativos sobre la productividad y la calidad del fruto en comparación con el manejo convencional, aportando información relevante para la toma de decisiones agronómicas sostenibles.

Tamaño del Fruto

El tamaño del fruto es un parámetro clave para la evaluación de la calidad y aceptación comercial del cultivo. Para su determinación, se consideró el promedio del diámetro ecuatorial y del diámetro longitudinal del fruto, medidos en centímetros, a partir de los cinco cuadrantes evaluados para cada tratamiento y bloque experimental.

Diámetro Ecuatorial

La siguiente tabla presenta los valores promedio del diámetro ecuatorial del fruto para los tratamientos T1 y T2 en los diferentes bloques evaluados. Estos resultados descriptivos permiten comparar el comportamiento del tamaño del fruto en función del tratamiento aplicado, evidenciando posibles variaciones atribuibles al uso de biofertilizantes.

Tabla 5*Resultados Descriptivos del Diámetro Ecuatorial promedio del Fruto T1 y T2*

Bloque	Tratamiento (trt)	Diámetro Promedio (cm)
B1	T1	22,92
B1	T2	22,54
B2	T1	22,73
B2	T2	22,98

Fuente. Autores

Los resultados presentados en la tabla evidencian que el diámetro ecuatorial promedio del fruto fue similar entre los tratamientos T1 y T2 en ambos bloques evaluados. En el bloque B1, el tratamiento T1 registró un diámetro promedio ligeramente mayor (22,92 cm) en comparación con T2 (22,54 cm), lo que indica una leve ventaja del tratamiento convencional en este bloque. Sin embargo, en el bloque B2 se observó un comportamiento inverso, donde el tratamiento T2 alcanzó un mayor diámetro promedio del fruto (22,98 cm) frente a T1 (22,73 cm).

Estas variaciones entre bloques sugieren que el efecto del tratamiento sobre el diámetro ecuatorial del fruto no fue consistente en todas las unidades experimentales. Las diferencias observadas entre tratamientos son de baja magnitud, lo que indica que, de manera general, ambos sistemas de fertilización presentaron un comportamiento similar en cuanto al tamaño del fruto.

Con el propósito de establecer la existencia de diferencias estadísticamente significativas en el diámetro ecuatorial del fruto, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño de bloques completos al azar. En la siguiente tabla se presentan los resultados correspondientes a la fuente de variación, suma de cuadrados, grados de libertad, valores de F y probabilidades asociadas. Este análisis permite evaluar el efecto del tratamiento, los bloques y su interacción sobre el tamaño del fruto, aportando rigor estadístico a la interpretación de los resultados obtenidos.

Tabla 6*Análisis de Varianza del Diámetro Ecuatorial del fruto en T1 y T2*

Análisis De Varianza Diámetro Ecuatorial del Fruto						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	5,046	9	0,5606667	0,95243 4881	0,49234 966	2,12402926
Columnas	0,24066666 7	1	0,2406667	0,40883 3522	0,52620 729	4,08474573
Interacción	3,366	9	0,374	0,63533 4088	0,76004 345	2,12402926
Dentro del grupo	23,5466666 7	40	0,5886667			
Total	32,1993333 3	59				

Fuente. Autores

Los resultados indican que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p = 0,492$) ni entre bloques ($p = 0,526$). Esto sugiere que la aplicación del biofertilizante no tuvo un efecto significativo sobre el diámetro del fruto bajo las condiciones evaluadas.

No obstante, los valores promedio del diámetro del fruto mostraron ligeras variaciones entre bloques y tratamientos, las cuales se atribuyen a la variabilidad natural del cultivo y a las condiciones ambientales propias de cada bloque.

Efectivamente, se observan variaciones descriptivas; sin embargo, el análisis de varianza indica que estas diferencias no son estadísticamente significativas, por lo que no pueden atribuirse directamente al efecto del tratamiento

Longitud

La siguiente tabla presenta los valores promedio de la longitud del fruto para los tratamientos T1 y T2 en los diferentes bloques evaluados. Estos resultados descriptivos permiten

comparar el comportamiento del tamaño del fruto en función del tratamiento aplicado, evidenciando posibles variaciones atribuibles al uso de biofertilizantes.

Tabla 7

Resultados Descriptivos del Longitud Promedio del Fruto T1 y T2

Bloque	Tratamiento (trt)	Longitud Promedio (cm)
B1	T1	13,94
B1	T2	14,29
B2	T1	14,30
B2	T2	14,21

Fuente. Autores

Los resultados presentados en la tabla evidencian que la longitud promedio del fruto mostró valores similares entre los tratamientos T1 y T2 en los dos bloques evaluados. En el bloque B1, el tratamiento T2 registró una longitud promedio ligeramente mayor (14,29 cm) en comparación con T1 (13,94 cm). Por su parte, en el bloque B2, el tratamiento T1 presentó el mayor valor de longitud promedio (14,30 cm), seguido muy de cerca por T2 (14,21 cm).

En términos generales, las diferencias observadas entre tratamientos y bloques fueron de baja magnitud, lo que indica un comportamiento homogéneo de la longitud del fruto bajo las condiciones experimentales evaluadas.

En la siguiente tabla se presentan los resultados correspondientes al análisis de varianza ANOVA bajo el diseño en bloques completos al azar.

Tabla 8*Análisis de Varianza del Longitud del fruto en T1 y T2*

Análisis De Varianza Longitud del Fruto						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	2,3073333	9	0,25637037	1,73223223	0,11333613	2,12402926
Columnas	0,294	1	0,294	1,98648649	0,16643641	4,08474573
Interacción	2,3926667	9	0,26585185	1,7962963	0,09929978	2,12402926
Dentro del grupo	5,92	40	0,148			
Total	10,914	59				

Fuente. Autores

Los resultados indicaron que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p = 0,113$) ni entre bloques ($p = 0,166$).

Sin embargo, el valor de probabilidad asociado al factor tratamiento sugiere una tendencia a diferencias en la longitud del fruto, lo cual podría estar relacionado con la respuesta del cultivo al biofertilizante bajo condiciones específicas. Estas variaciones, al no ser estadísticamente significativas, se atribuyen a la variabilidad natural del cultivo y a las condiciones ambientales presentes durante el desarrollo del experimento.

Peso del fruto

Los resultados del promedio de peso para cada combinación bloque-tratamiento fueron los siguientes:

Tabla 9*Resultados Descriptivos del Peso Promedio del Fruto T1 y T2*

Bloque	Tratamiento (trt)	Promedio de Peso (g)
B1	T1	247,52
B1	T2	249,49
B2	T1	249,93
B2	T2	253,06

Fuente. Autores

De manera descriptiva, el mayor peso promedio del fruto se registró en el bloque B2 bajo el tratamiento T2 (253,06 g), mientras que el menor valor se presentó en el bloque B1 con el tratamiento T1 (247,52 g). Estos resultados sugieren una tendencia a mayores valores de peso del fruto en el tratamiento con biofertilizante, particularmente en el bloque B2.

No obstante, el análisis de varianza realizado bajo un diseño en bloques completos al azar indicó que dichas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p > 0,05$) para el factor tratamiento ni para el factor bloque. Esto sugiere que, aunque se observaron variaciones en los promedios, estas no fueron suficientes para atribuir un efecto significativo del biofertilizante sobre el peso del fruto bajo las condiciones del estudio.

Tabla 10*Análisis De Varianza Peso del Fruto*

Análisis De Varianza Peso del Fruto						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	2051,206	9	227,9117778	0,96018106	0,48629629	2,12402926
Columnas	134,4006667	1	134,4006667	0,56622337	0,45616921	4,08474573
Interacción	1778,059333	9	197,5621481	0,83231957	0,59080353	2,12402926
Dentro del grupo	9494,533333	40	237,3633333			
Total	13458,19933	59				

*Fuente. Autores***Efectos del Biofertilizante en la Calidad del Fruto, por Medio de Calibres de Exportación**

Con el fin de evaluar los efectos del biofertilizante en la calidad del fruto, se analizó la distribución porcentual de los calibres de exportación, clasificados según rangos de peso, en los tratamientos T1 y T2. Este análisis se realizó de manera independiente para cada bloque experimental (B1 y B2), permitiendo identificar posibles diferencias en la proporción de frutos comercialmente aceptables y en la uniformidad del tamaño del fruto como respuesta al manejo nutricional aplicado.

Tabla 11*Distribución Porcentual de Calibres de Exportación del Fruto, Tratamiento 1 y 2 Bloque 1*

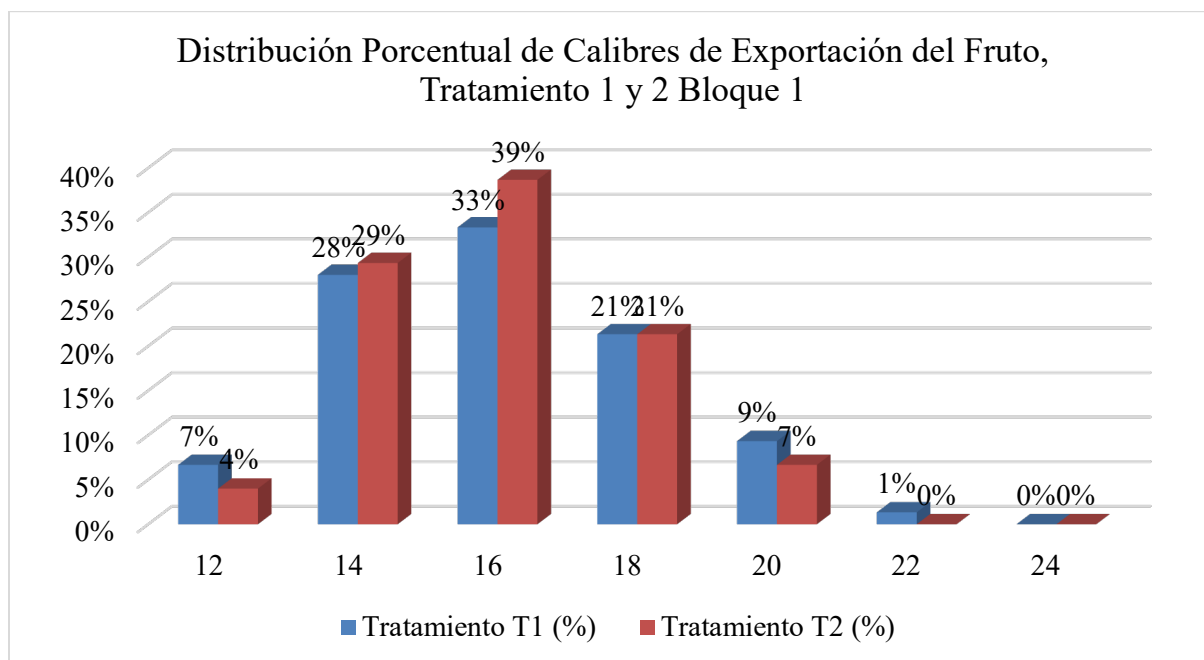
B1			
Calibre (UE)	Rango de peso (g)	Tratamiento T1 (%)	Tratamiento T2 (%)
12	300 – 325	7%	4%
14	260 – 285	28%	29%
16	230 – 250	33%	39%
18	210 – 230	21%	21%
20	190 – 210	9%	7%
22	165 – 190	1%	0%
24	125 – 150	0%	0%
Total	—	100%	100%

Fuente. Autores

De la anterior tabla se puede evidenciar que en el bloque 1, ambos tratamientos presentaron una mayor concentración de frutos en los calibres intermedios, especialmente en los calibres 14, 16 y 18, los cuales son considerados adecuados para exportación.

Figura 2

Distribución Porcentual de Calibres de Exportación del Fruto, Tratamiento 1 y 2 Bloque 1



Fuente. Autores

De acuerdo con la anterior figura, el tratamiento T1 mostró su mayor porcentaje en el calibre 16 (33%), seguido del calibre 14 (28%) y 18 (21%). Por su parte, el tratamiento T2 también concentró la mayor proporción en el calibre 16 (39%), evidenciando una ligera superioridad respecto a T1 en este rango de peso.

Los calibres de mayor tamaño (12) y los calibres más pequeños (22 y 24) presentaron una baja o nula representación en ambos tratamientos, lo que indica una distribución relativamente homogénea del peso del fruto y una limitada producción de frutos fuera de los rangos comerciales óptimos. En general, los resultados del Bloque 1 sugieren que el uso del biofertilizante en el tratamiento T2 favoreció una mayor proporción de frutos en calibres intermedios de interés comercial.

Tabla 12*Distribución Porcentual de Calibres de Exportación del Fruto, Tratamiento 1 y 2 Bloque 2*

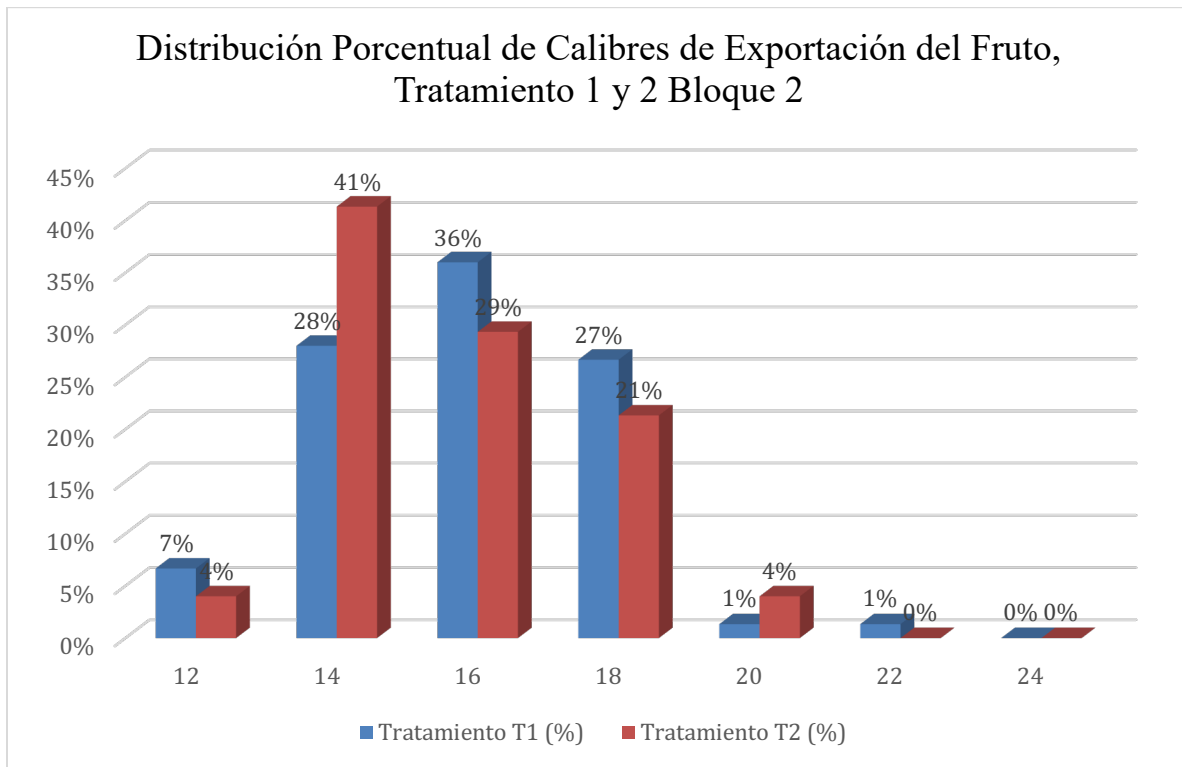
B2			
Calibre (UE)	Rango de peso (g)	Tratamiento T1 (%)	Tratamiento T2 (%)
12	300 – 325	7%	4%
14	260 – 285	28%	41%
16	230 – 250	36%	29%
18	210 – 230	27%	21%
20	190 – 210	1%	4%
22	165 – 190	1%	0%
24	125 – 150	0%	0%
Total	—	100%	100%

Fuente. Autores

Como se puede evidenciar en el Bloque 2 de la tabla anterior, se observa una tendencia similar a la registrada en el Bloque 1, con predominio de los calibres 14, 16 y 18 en ambos tratamientos.

Figura 3

Distribución Porcentual de Calibres de Exportación del Fruto, Tratamiento 1 y 2 Bloque 1



Fuente. Autores

No obstante, el tratamiento T2 presentó una mayor concentración de frutos en el calibre 14 (41%), superando al tratamiento T1 (28%), lo que indica un desplazamiento hacia calibres ligeramente superiores en este bloque.

El tratamiento T1, en cambio, mostró su mayor porcentaje en el calibre 16 (36%), seguido del calibre 18 (27%). Los calibres extremos nuevamente presentaron valores bajos o nulos, lo que refuerza la estabilidad en la calidad del fruto obtenida en ambos tratamientos. En conjunto, los resultados del Bloque 2 evidencian que el tratamiento T2 promovió una mayor proporción de frutos dentro de los calibres más demandados para exportación, particularmente en el calibre 14.

De manera general, los resultados obtenidos en ambos bloques experimentales evidencian que la aplicación del biofertilizante (tratamiento T2) influyó positivamente en la calidad del fruto, reflejada en una mayor proporción de calibres de exportación ubicados en los rangos intermedios de peso. Tanto en el Bloque 1 como en el Bloque 2, los calibres 14, 16 y 18 concentraron el mayor porcentaje de frutos en ambos tratamientos, lo que indica que las condiciones de manejo favorecieron la obtención de frutos comercialmente aceptables y con una distribución de tamaño relativamente homogénea.

Sin embargo, al comparar los tratamientos, se observa que el tratamiento T2 presentó una tendencia consistente a incrementar la proporción de frutos en calibres de mayor interés comercial. En el Bloque 1, este tratamiento mostró una mayor participación en el calibre 16, mientras que en el Bloque 2 se evidenció un desplazamiento hacia el calibre 14, considerado uno de los más demandados en mercados de exportación.

Rentabilidad del Uso del Biofertilizante Frente a Fertilizantes Convencionales

El análisis de la rentabilidad del sistema de fertilización se realizó comparando dos modelos productivos implementados en la Parcela de Investigación 005 (Departamento del Huila), ambos con una dosificación equivalente para 60 árboles:

T1: modelo de Agricultura Convencional

T2: modelo de Agricultura Tropical basado en biofertilizantes

El análisis consideró los costos directos de insumos, costos de aplicación y la frecuencia de intervenciones y, mano de obra como base para evaluar el rendimiento económico y la sostenibilidad del sistema.

Análisis de Costos de Producción

Tabla 13

Análisis de costos de producción

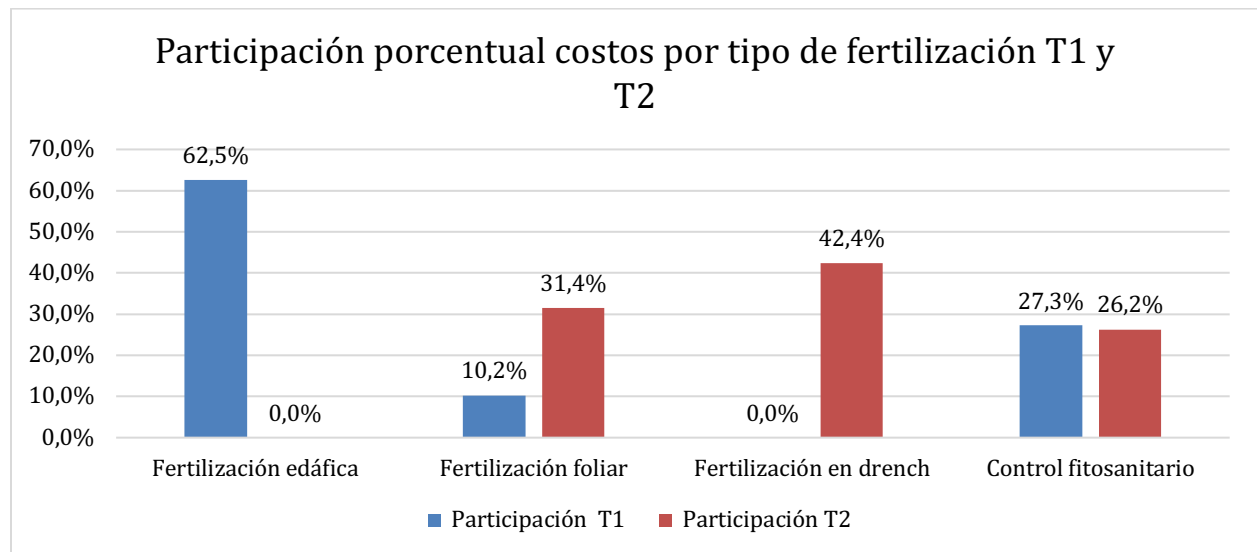
Tipo de fertilización / actividad	T1 Insumos (\$)	T1 Mano de obra (\$)	T1 Total (\$)	T2 Insumos (\$)	T2 Mano de obra (\$)	T2 Total (\$)
Fertilización edáfica	1.288.480	250.000	1.538.480	0	0	0
Fertilización foliar	121.100	130.000	251.100	128.146	300.000	428.146
Fertilización en drench	0	0	0	277.000	300.000	577.000
Control fitosanitario	470.860	200.000	670.860	124.826	232.030	356.856
TOTAL, GENERAL	1.880.440	580.000	2.460.440	529.972	832.030	1.362.002

Fuente: Autores

La tabla anterior muestra la distribución de los costos de insumos y mano de obra asociados a los distintos tipos de fertilización y actividades productivas en los dos sistemas evaluados: T1 (Agricultura Convencional) y T2 (Agricultura Tropical basada en biofertilizantes).

Tabla 14*Participación porcentual de los costos por tipo de fertilización y actividad en los tratamientos**T1 y T2*

Tipo de fertilización / actividad	T1 Total (\$)	% Participación	T2 Total (\$)	% Participación
Fertilización edáfica	1.538.480	62,5%	0	0,0%
Fertilización foliar	251.100	10,2%	428.146	31,4%
Fertilización en drench	0	0,0%	577.000	42,4%
Control fitosanitario	670.860	27,3%	356.856	26,2%
Total	2.460.440	100%	1.362.002	100%

*Fuente. Autores***Figura 4***Participación porcentual de los costos por tipo de fertilización T1 y T2**Fuente. Autor*

En el tratamiento convencional (T1), el mayor componente del costo total corresponde a la fertilización edáfica, con un valor de \$1.538.480, lo que representa aproximadamente el 62,5 % del costo total del tratamiento. Este rubro está dominado por el uso reiterado de fertilizantes químicos sintéticos de alto costo, complementados con una inversión significativa en mano de obra para su aplicación, lo que evidencia una fuerte dependencia de insumos externos y una estructura de costos concentrada en pocas actividades.

La fertilización foliar en T1 presenta un costo considerablemente menor (\$251.100), representando cerca del 10,2 % del total, lo que indica un uso complementario de esta práctica dentro del manejo nutricional convencional. Por su parte, el control fitosanitario alcanza \$670.860, equivalente al 27,3 % del costo total, reflejando la necesidad de intervenciones químicas frecuentes para el manejo de plagas y enfermedades en este sistema productivo.

En contraste, el tratamiento con biofertilizantes (T2) presenta una estructura de costos más diversificada y equilibrada. En este sistema no se registran costos asociados a fertilización edáfica, lo que representa una diferencia estructural frente al T1 y explica en gran medida la reducción del costo total. La nutrición del cultivo en T2 se sustenta principalmente en fertilización foliar y fertilización en drench, con costos de \$428.146 y \$577.000, respectivamente. Estos valores, aunque incluyen una mayor participación de la mano de obra, corresponden a insumos de menor costo unitario, lo que permite mantener un gasto total controlado.

La fertilización en drench constituye el principal rubro económico del T2 (42,4 % del costo total), evidenciando la importancia de los biofertilizantes líquidos y de la estimulación biológica del suelo como eje del manejo nutricional. Asimismo, la fertilización foliar representa

un 31,4 % del total, consolidándose como una práctica clave para el suministro de nutrientes de rápida absorción.

En cuanto al control fitosanitario, el T2 presenta un costo total de \$356.856, equivalente al 26,2 % del costo total, inferior al registrado en el sistema convencional. Esta reducción sugiere que el manejo basado en insumos biológicos y prácticas integradas podría contribuir a disminuir la presión de plagas y la necesidad de productos sintéticos.

Tabla 15

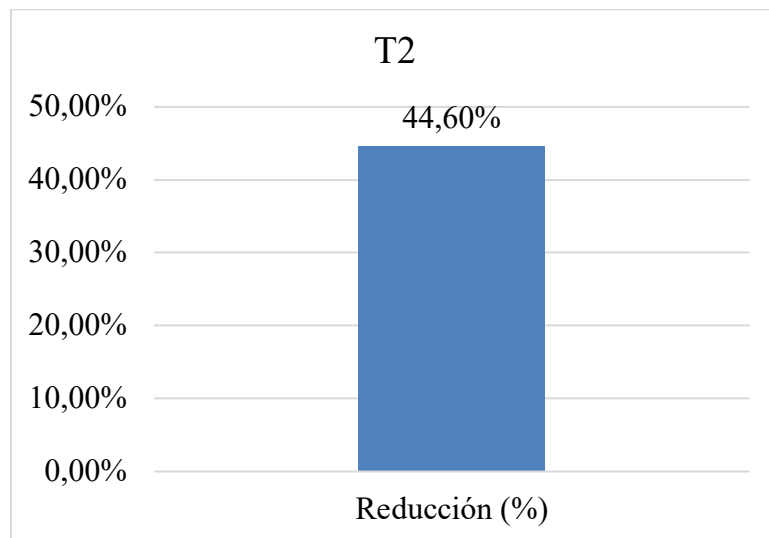
Costos totales de producción por tratamiento

Tratamiento	Sistema de fertilización	Costo total (\$)	Diferencia frente a T1 (\$)	Reducción (%)
T1	Agricultura Convencional	2.460.440	–	–
T2	Agricultura Tropical (biofertilizantes)	1.362.002	1.098.438	44,60%

Fuente. Autores

Figura 5

Porcentaje de Reducción en Tratamiento 2



Fuente. Autores

De manera global, el costo total del T2 (\$1.362.002) es 44,6 % menor que el del T1 (\$2.460.440), a pesar de que el primero presenta una mayor participación relativa de la mano de obra. Esto indica que la mayor rentabilidad del sistema basado en biofertilizantes no depende de una reducción del trabajo, sino de una reconfiguración del sistema de insumos, privilegiando alternativas biológicas de menor costo económico y menor impacto ambiental. De manera global, representa una reducción absoluta de \$1.098.438 en los costos de producción para la unidad experimental evaluada.

Comparación del Rendimiento Económico

Con el propósito de comparar el rendimiento económico de los tratamientos evaluados, se analizaron los costos totales de producción y el costo promedio por árbol asociados a los esquemas de manejo nutricional T1 y T2. Esta comparación permitió identificar diferencias en la eficiencia del uso del capital invertido por tratamiento, considerando el mismo número de árboles evaluados, y establecer el impacto económico del uso de biofertilizantes frente al manejo convencional.

Desde el punto de vista económico, el tratamiento T2 mostró una mayor eficiencia en el uso del capital invertido, al lograr un manejo nutricional continuo con una inversión significativamente menor por árbol.

Tabla 16

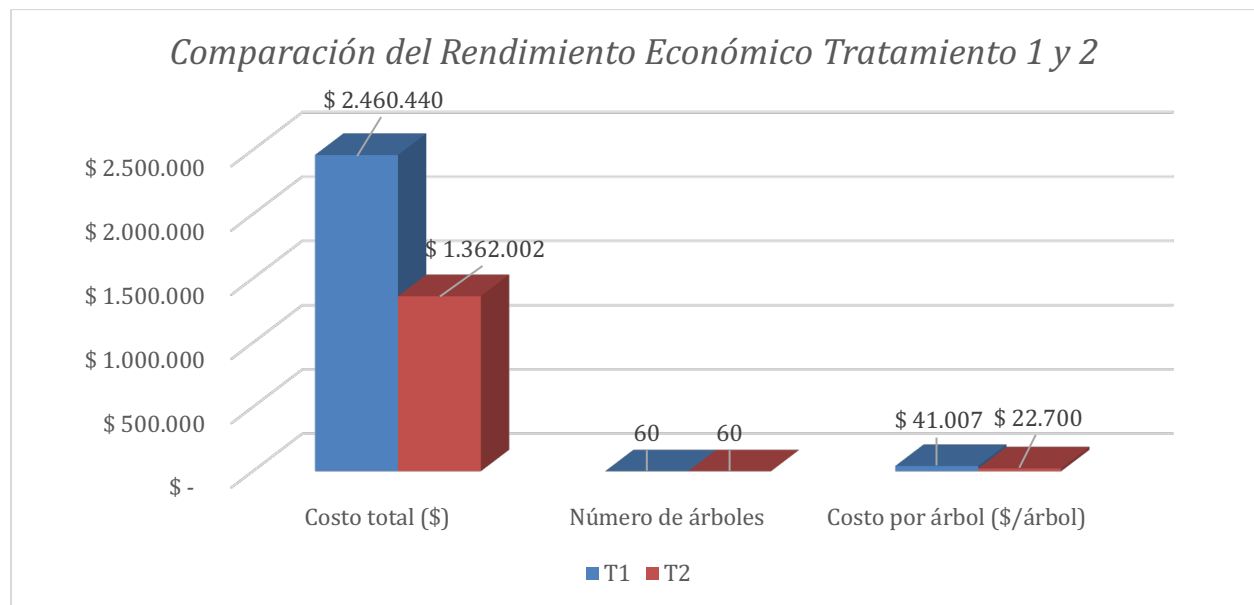
Comparación del Rendimiento Económico

Tratamiento	Costo total (\$)	Número de árboles	Costo por árbol (\$/árbol)
T1	2.460.440	60	41.007
T2	1.362.002	60	22.700

Fuente. Autores

Figura 6

Comparación del Rendimiento Económico Tratamiento 1 y 2



Fuente. Autores

Los resultados presentados en la anterior tabla evidencian diferencias marcadas en los costos de producción entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T1 registró un costo total de \$2.460.440 para 60 árboles, lo que equivale a un costo promedio de \$41.007 por árbol. En contraste, el tratamiento T2 presentó un costo total de \$1.362.002 para el mismo número de árboles, con un costo promedio de \$22.700 por árbol.

Estos resultados indican que el tratamiento T2 permitió una reducción sustancial del costo por árbol en comparación con el tratamiento T1, reflejando una mayor eficiencia

económica del manejo nutricional basado en el uso de biofertilizantes. La diferencia observada en el costo total y en el costo unitario por árbol sugiere que el tratamiento T2 optimizó el uso de insumos, manteniendo el manejo productivo del cultivo con una inversión significativamente menor.

Esto indica que el sistema basado en biofertilizantes permite liberar recursos económicos que pueden destinarse a otras labores del cultivo o a ampliar el área productiva, sin incrementar el riesgo financiero del productor.

Aunque este análisis se centra en costos, la reducción del gasto productivo es un indicador directo de mayor rentabilidad potencial, especialmente en contextos de agricultura familiar o de pequeña escala, donde el acceso a insumos químicos representa una de las principales limitantes.

Sostenibilidad del Sistema de Fertilización

Con el fin de complementar la evaluación productiva y económica de los tratamientos, se analizó la sostenibilidad del sistema de fertilización implementado en cada uno. Esta evaluación consideró aspectos clave relacionados con el uso de insumos, el impacto ambiental, el manejo del suelo y la sostenibilidad económica, permitiendo comparar el enfoque de la agricultura convencional (T1) frente al sistema de agricultura tropical basado en el uso de biofertilizantes (T2). El análisis proporciona una visión integral del desempeño de cada tratamiento, más allá del rendimiento productivo, incorporando criterios fundamentales para la sostenibilidad a mediano y largo plazo.

Tabla 17*Comparación de la sostenibilidad del sistema de fertilización entre tratamientos*

Aspectos Clave de Sostenibilidad	T1 Agricultura Convencional	T2 Agricultura Tropical
Dependencia de insumos externos	Alta	Baja
Uso de fertilizantes sintéticos	Alto	Bajo
Uso de biofertilizantes	Nulo	Alto
Impacto potencial en el suelo	Medio–Alto	Bajo
Aporte a la biología del suelo	Bajo	Alto
Sostenibilidad económica	Media	Alta
Sostenibilidad ambiental	Media	Alta

Fuente. Autores

La evaluación cualitativa de la sostenibilidad de los sistemas productivos evidencia diferencias claras entre los tratamientos evaluados. El sistema convencional (T1) presenta una alta dependencia de insumos externos y un uso intensivo de fertilizantes sintéticos, lo que se asocia con un impacto potencial medio–alto sobre el suelo y un bajo aporte a su biología. En contraste, el sistema de Agricultura Tropical (T2) muestra una baja dependencia de insumos externos y un uso predominante de biofertilizantes, lo que favorece la actividad biológica del suelo y reduce el impacto ambiental. Estas características se reflejan en una mayor sostenibilidad económica y ambiental del T2, consolidándolo como un sistema productivo más resiliente y acorde con principios de agricultura sostenible.

En la siguiente tabla se presenta la matriz de valoración ordinal utilizada como base para la representación gráfica comparativa de la sostenibilidad de los tratamientos evaluados. Con el fin de facilitar el análisis visual, los criterios cualitativos fueron transformados en una escala

numérica donde; 1 = bajo, 2 = Medio, 3 = Alto. Esta conversión permite comparar de manera integrada los sistemas de Agricultura Convencional (T1) y Agricultura Tropical (T2) en términos de dependencia de insumos, tipo de fertilización, impacto sobre el suelo y sostenibilidad económica y ambiental, sin perder el enfoque cualitativo del análisis original

Tabla 18

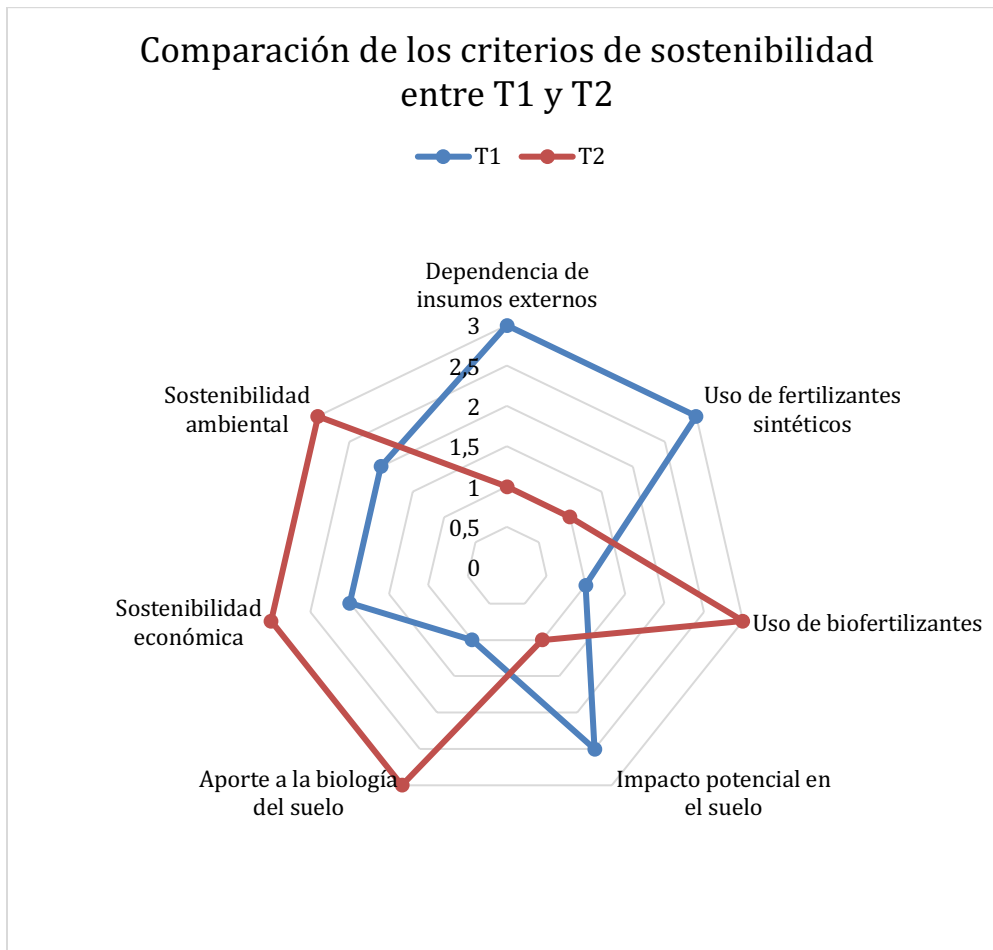
Escala Numérica de Valoración de Criterios de Sostenibilidad

Criterio	T1	T2
Dependencia de insumos externos	3	1
Uso de fertilizantes sintéticos	3	1
Uso de biofertilizantes	1	3
Impacto potencial en el suelo	2,5	1
Aporte a la biología del suelo	1	3
Sostenibilidad económica	2	3
Sostenibilidad ambiental	2	3

Fuente. Autores

Figura 7

Comparación de los Criterios de Sostenibilidad entre T1 y T2



Fuente. Autor

La figura anterior muestra el perfil comparativo de sostenibilidad de los tratamientos evaluados. El sistema convencional (T1) presenta una mayor expansión en los criterios asociados a la dependencia de insumos externos y al uso de fertilizantes sintéticos, mientras que el sistema de Agricultura Tropical (T2) se destaca por valores superiores en el uso de biofertilizantes, el aporte a la biología del suelo y la sostenibilidad económica y ambiental. En conjunto, la mayor área y el equilibrio del polígono correspondiente al T2 evidencian un desempeño global más sostenible, respaldando su viabilidad como alternativa productiva frente al manejo convencional.

Discusión

En el presente estudio, las variables físicas del fruto, específicamente el diámetro ecuatorial, la longitud y el peso promedio, no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T1 y T2 ($p > 0,05$). Estos resultados indican que, bajo las condiciones evaluadas, la aplicación del biofertilizante no modificó de manera significativa el tamaño individual del fruto en comparación con el manejo convencional.

Este comportamiento coincide con lo reportado por García-Martínez et al. (2025), quienes encontraron que el peso promedio del fruto no presentó diferencias relevantes entre tratamientos orgánicos, minerales y el testigo, manteniéndose en rangos similares. Dichos autores señalan que el tamaño individual del fruto en aguacate Hass tiende a estar más influenciado por factores fisiológicos, carga frutal y condiciones ambientales que por la fuente específica de fertilización, siempre que los requerimientos nutricionales básicos del cultivo estén cubiertos.

Asimismo, Vega (2024) reportó que la aplicación del biofertilizante Supermagro no generó cambios abruptos en el peso individual del fruto en los primeros ciclos productivos, aunque sí favoreció incrementos progresivos en la producción total y una mejora gradual en la distribución de calibres comerciales a lo largo del tiempo. Esto respalda la tendencia observada en el presente estudio, donde el tratamiento T2 mostró valores descriptivos ligeramente superiores en peso promedio, pero sin alcanzar significancia estadística.

En conjunto, estos resultados sugieren que el efecto del biofertilizante no se manifiesta necesariamente en un aumento inmediato del tamaño del fruto, sino en procesos más complejos relacionados con la eficiencia productiva y la calidad comercial global del cultivo.

Aunque no se detectaron diferencias significativas en las variables físicas individuales del fruto, el análisis de la distribución porcentual de calibres de exportación evidenció tendencias favorables al tratamiento T2. En ambos bloques experimentales, el uso del biofertilizante promovió una mayor proporción de frutos concentrados en calibres intermedios (14, 16 y 18), los cuales corresponden a los rangos de mayor aceptación en los mercados de exportación.

Este comportamiento es consistente con los resultados reportados por Vega (2024), quien observó que la aplicación continua de Supermagro no solo incrementó la producción total, sino que desplazó progresivamente la distribución hacia calibres de mayor peso y valor comercial. En el presente estudio, el tratamiento T2 mostró una mayor participación del calibre 16 en el Bloque 1 y un incremento notable del calibre 14 en el Bloque 2, lo que indica una mejora en la uniformidad y calidad comercial del fruto.

Desde una perspectiva fisiológica, este efecto puede explicarse por la acción combinada de los biofertilizantes sobre la disponibilidad gradual de nutrientes, la estimulación de la biología del suelo y la mejora en la absorción nutrimental. García-Martínez et al. (2025) destacan que la fertilización orgánica favorece una mayor eficiencia en la asimilación de nutrientes y una mejor regulación del crecimiento del fruto, lo cual se traduce en una mayor proporción de frutos dentro de calibres comerciales, aun cuando el tamaño promedio individual no varíe de forma significativa.

Por lo tanto, los resultados obtenidos sugieren que el principal aporte del biofertilizante no radica en aumentar el tamaño máximo del fruto, sino en mejorar la distribución del peso hacia rangos comercialmente más rentables y homogéneos.

Desde el punto de vista económico, los resultados muestran diferencias claras a favor del tratamiento T2. El sistema basado en biofertilizantes presentó una reducción del 44,6 % en los

costos totales de producción en comparación con el sistema convencional, así como un menor costo promedio por árbol. Este hallazgo es coherente con lo reportado por Vega (2024), quien destaca que el uso de biofertilizantes permite reducir significativamente la dependencia de fertilizantes químicos, uno de los principales componentes del costo de producción en el cultivo de aguacate Hass.

A diferencia del sistema convencional, donde la fertilización edáfica con insumos sintéticos representó más del 60 % del costo total, el tratamiento T2 mostró una estructura de costos más diversificada, basada en fertilización foliar y aplicaciones en drench con insumos de menor costo unitario. Aunque este sistema requiere una mayor inversión en mano de obra, el balance económico final resulta favorable, evidenciando una mayor eficiencia en el uso del capital invertido.

Estos resultados refuerzan la idea planteada por García-Martínez et al. (2025), quienes señalan que los sistemas de fertilización orgánica o biológica pueden mejorar la rentabilidad del cultivo cuando se evalúan de manera integral, considerando no solo el rendimiento, sino también los costos asociados y la sostenibilidad del sistema productivo.

El análisis de sostenibilidad evidenció diferencias sustanciales entre los tratamientos evaluados. El sistema de Agricultura Tropical (T2) presentó una menor dependencia de insumos externos, un mayor aporte a la biología del suelo y un menor impacto ambiental potencial, en comparación con el sistema convencional (T1). Estos resultados coinciden con los planteamientos de Vega (2024), quien resalta que el uso de biofertilizantes contribuye a la recuperación de la fertilidad del suelo y a la construcción de sistemas productivos más resilientes.

García-Martínez et al. (2025) también señalan que la fertilización orgánica mejora la estructura y actividad biológica del suelo, lo que favorece la disponibilidad de nutrientes a largo plazo y reduce la degradación del sistema productivo. En este sentido, aunque el presente estudio no evidenció incrementos significativos en el tamaño individual del fruto, sí mostró beneficios claros en términos de calidad comercial, reducción de costos y sostenibilidad ambiental.

La representación gráfica de los criterios de sostenibilidad confirma que el tratamiento T2 presenta un desempeño global más equilibrado, consolidándose como una alternativa viable frente al manejo convencional, especialmente en contextos de agricultura familiar y de pequeña escala, donde la reducción de costos y la estabilidad del sistema productivo son factores clave.

Conclusiones

La implementación del Modelo de Agricultura Tropical (T2), basado en el uso de biofertilizantes como Supermagro, extractos húmicos de leonarditas, microorganismos de montaña y fuentes de calcio aplicadas vía edáfica y foliar, no generó diferencias estadísticamente significativas en las variables físicas individuales del fruto (diámetro ecuatorial, longitud y peso promedio) en comparación con el Modelo de Agricultura Convencional (T1). Esto indica que ambos sistemas de fertilización permiten obtener frutos con características físicas similares bajo las condiciones evaluadas.

A pesar de la ausencia de diferencias significativas en el tamaño y peso individual del fruto, el tratamiento con biofertilizantes (T2) mostró una tendencia consistente a mejorar la calidad comercial del aguacate Hass, reflejada en una mayor proporción de frutos ubicados en calibres intermedios de exportación (14, 16 y 18), considerados los más demandados en los mercados nacionales e internacionales.

El uso de biofertilizantes favoreció una distribución más homogénea del peso del fruto, reduciendo la presencia de calibres extremos y contribuyendo a una mayor estabilidad en la calidad del producto final, lo cual representa una ventaja comercial frente al manejo convencional.

Desde el punto de vista económico, el sistema basado en biofertilizantes (T2) presentó una reducción significativa de los costos de producción, equivalente al 44,6 % en comparación con el sistema convencional (T1), lo que se tradujo en un menor costo promedio por árbol. Este resultado evidencia una mayor eficiencia en el uso del capital invertido y una mejora en la rentabilidad potencial del sistema productivo.

El análisis de la estructura de costos permitió identificar que la disminución del gasto en fertilización edáfica y en el uso de insumos químicos sintéticos es un factor determinante en la mayor rentabilidad del tratamiento T2, aun cuando este sistema implique una mayor participación relativa de la mano de obra.

En términos de sostenibilidad, el Modelo de Agricultura Tropical (T2) mostró un desempeño superior al sistema convencional, caracterizado por una menor dependencia de insumos externos, un mayor aporte a la biología del suelo y un menor impacto ambiental potencial. Estos atributos fortalecen la resiliencia del sistema productivo y su viabilidad a mediano y largo plazo.

Los resultados obtenidos confirman que el uso de biofertilizantes constituye una alternativa técnica y económicamente viable para la producción de aguacate Hass, especialmente en sistemas de pequeña y mediana escala, donde la reducción de costos, la sostenibilidad ambiental y la estabilidad productiva son factores determinantes.

Finalmente, se concluye que la adopción de sistemas de fertilización basados en bioinsumos no debe evaluarse únicamente en función del incremento del tamaño del fruto, sino desde una perspectiva integral que considere la calidad comercial, la rentabilidad económica y la sostenibilidad del sistema productivo, aspectos en los cuales el tratamiento T2 demostró claras ventajas frente al manejo convencional

Recomendaciones

Se recomienda promover el uso del Modelo de Agricultura Tropical basado en biofertilizantes como una alternativa viable al manejo convencional en el cultivo de aguacate Hass, especialmente en sistemas de pequeña y mediana escala, debido a su capacidad para reducir costos de producción sin afectar negativamente la calidad física del fruto.

Se sugiere mantener la aplicación continua y planificada de biofertilizantes, dado que sus principales beneficios se manifiestan de forma gradual, particularmente en la mejora de la distribución de calibres comerciales y en el fortalecimiento de la biología del suelo, más que en incrementos inmediatos del tamaño individual del fruto.

Es recomendable complementar el uso de biofertilizantes con análisis periódicos de suelo y tejido foliar, con el fin de ajustar las dosis y combinaciones de insumos biológicos de acuerdo con las necesidades nutricionales reales del cultivo y las condiciones específicas del lote.

Para futuros estudios, se recomienda ampliar el periodo de evaluación a varios ciclos productivos consecutivos, de manera que se puedan evidenciar con mayor claridad los efectos acumulativos de los biofertilizantes sobre el rendimiento total, la calidad del fruto y la fertilidad del suelo a largo plazo. Se recomienda fortalecer los procesos de capacitación técnica dirigidos a productores sobre la correcta elaboración, manejo y aplicación de biofertilizantes, con el propósito de garantizar su eficacia, minimizar riesgos ambientales y optimizar los beneficios agronómicos y económicos del sistema. Desde una perspectiva económica, se aconseja realizar análisis de rentabilidad que incluyan no solo los costos de producción, sino también los ingresos asociados a la comercialización por calibres, lo que permitiría cuantificar con mayor precisión el impacto económico del uso de biofertilizantes en mercados de exportación.

Referencias

- Asohofrucol, (2026). *Somos Agricultura tropical*. <https://www.asohofrucol.com.co/somos-agricultura-tropical>
- Ángel, R. (2022, 5 de julio). *Cómo funciona el biofertilizante Super Magro - TvAgro* por Juan Gonzalo Angel Restrepo [Video]. YouTube.
https://www.youtube.com/watch?v=H3L_2MC8pQw
- Agrosavia. (2020). *Guía técnica de producción y poscosecha de aguacate Hass*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://www.agrosavia.co>
- Agrosavia, (2025). *Importancia del cultivo de aguacate: Capitulo I*.
<https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/524ec70d-c5a8-4cd1-bb5c-3560e004dadd/content>
- Bernal, E., (2024). *Modelo productivo para el cultivo de aguacate Hassen el departamento de Antioquia*. Agrosavia. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7407525>
- Bolivar, R (2025). *La fiebre del 'oro verde'. El conflicto socioambiental múltiple alrededor del aguacate Hass (Persea americana) colombiano. Un estudio comparativo entre Cajamarca, Tolima y Génova, Quindío*. [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional de Colombia] Repositorio Institucional UNAL.
<https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/2e663834-4980-4244-8515-96064c6877a7/content>
- Camacho, V., Barros, V (2020) Medición de la productividad en la actividad agrícola. *Journal Of Science And Research*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4725768>
- Castillo, M (2009). Sistemas de producción agrícola Sostenible. *Tecnología en Marcha*, 22 (2), pp. 23-39. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835851.pdf>

Coltropicos (2025). *Aguacate Hass*. <https://coltropicos.com/es/products/>

FAO, (2018). *Plataforma de conocimientos sobre agricultura familiar*.

<https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1673603/>

García-Martínez, R., Cortés-Flores, J.I., López-Jiménez, A., Etchevers-Barra, J.D., & Carrillo-Salazar, J.A (2025). La fuente fertilizante condiciona el rendimiento y calidad del fruto de aguacate ‘Hass’. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 16(5) 1-12.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v16i5.3780>

Julca-Otiniano, Alberto, Meneses-Florián, Liliana, Blas-Sevillano, Raúl, & Bello-Amez, Segundo. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. [https://dx.doi.org/10.4067/S0718-](https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009)

[34292006000100009](https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009)

MinAgricultura, (2012). *Manejo Fitosanitario del Cultivo del Aguacate Hass (Persea americana Mill); Medidas Para la Temporada Invernal*.

<https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Normatividad/Manejo%20Fitosanitario%20del%20Cultivo%20del%20Aguacate%20Hass.pdf>

Mora, Q et al., (2019). Combinación de dos biofertilizantes y fertilización química en la producción de *Solanum tuberosum* cv. Superchola en Andisoles ecuatorianos. *Centro. Agrícola*. 46 (4).

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000400044

Nitika, T., Chandresh, K & Vanshika A.K (2021). Manejo microbiano del estrés vegetal.

Woodhead Publishing, 73-83. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85193-0.00015-2>

Naranjo, J.F & Reyes, H (2022). Huella hídrica del cultivo de aguacate cv. Hass (*Persea americana* Mill.), en el Distrito de Conservación de Suelos Barbas - Bremen, Quindío,

Colombia. *Entre Ciencia e Ingeniería* 15 (29).

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672021000100063

Pedraza, O (2021). *Los biofertilizantes y su relación con la sostenibilidad agrícola*. Agrosavia.

<https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/41e3f062-578b-4bda-a72e-4fd283c00fee/content>

Uribe, G (2025). *Agricultura De Precisión En Cultivos DE Aguacate Hass (Persea americana):*

Una Vigilancia Tecnológica Sebastián Uribe Gaviria. [Tesis de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. Repositorio Institucional UDISTRITAL.

<https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/476e43b3-179d-4f01-b9e0-1db9b2dc6708/content>

Vega, L (2024). *Implementación del biofertilizante líquido (súper magro) en el cultivo de aguacate Hass (Persea americana) en la finca el triunfo vereda la florida en el municipio de El Pital Huila*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia].

Repositorio Institucional UNAD.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/63759/hyvegal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vásquez, A., Saavedra, R., Marín, B., Guerrero, C., & Sánchez, C (2022). *Cartilla de estados*

fenológicos-tipo en aguacate Hass para la localidad de Roldanillo, Valle del Cauca.

Universidad Nacional de Colombia.

https://ladera.palmira.unal.edu.co/downloads/5.%20Fenologico_Hass_Web.pdf

Vargas G, (2025). *Evaluación comparativa de fertilizantes sintéticos, orgánicos y biofertilizantes en cultivos agrícolas: implicaciones para la sostenibilidad y productividad en el contexto colombiano 2020 a 2025*. [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional Abierta y a

Distancia]. Repositorio Institucional UNAD.

<https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/74526/3/advargasguz.pdf>

Salazar, G (2002). *Requerimientos Nutrimientales Del Aguacate*. INPOFOS, INFAP. Querétaro,

México. <https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/ce9b047b-40fb-4178->

[b1e9-3f808b8f3377/content](https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/ce9b047b-40fb-4178-b1e9-3f808b8f3377/content)

Apéndices

Apéndice A

Muestreo unidad experimental 1. TTO CONVENCIONAL B1



Fuente. Autores

Apéndice B

Muestreo unidad experimental 2.TTO CONVENCIONAL B1



Fuente. Autores

Apéndice C

Muestreo unidad experimental 3. TTO AGRICULTURA TROPICAL B1



Fuente. Autores

Apéndice D

Muestreo unidad experimental 4. TTO AGRICULTURA TROPICAL B1



Fuente. Autores

Apéndice E

Muestreo unidad experimental 5. TTO AGRICULTURA TROPICAL B1



Fuente. Autores

Apéndice F

Muestreo unidad experimental 6. TTO CONVENCIONAL B1



Fuente. Autores

Apéndice G

Muestreo unidad experimental 7. TTO CONVENCIONAL B1



Fuente. Autores

Apéndice H

Muestreo unidad experimental 8. TTO AGRICULTURA TROPICAL B1



Fuente. Autores

Apéndice I

Unidad experimental 9. TTO AGRICULTURA TROPICAL B1



Fuente. Autores

Apéndice J

Unidad experimental 10. TTO CONVENCIONAL B1



Fuente. Autores

Apéndice K

Unidad experimental 11. TTO AGRICULTURA TROPICAL B2



Fuente. Autores

Apéndice L

Unidad experimental 12. TTO AGRICULTURA TROPICAL B2



Fuente. Autores

Apéndice M

Unidad experimental 13. TTO CONVENCIONAL B2



Fuente. Autores

Apéndice N

Unidad experimental 14 TTO CONVENCIONAL B2



Fuente. Autores

Apéndice O

Unidad experimental 15. TTO AGRICULTURA TROPICAL B2



Fuente. Autores

Apéndice P

Unidad experimental 16. TTO CONVENCIONAL B2



Fuente. Autores

Apéndice Q

Unidad experimental 17. TTO CONVENCIONAL B2



Fuente. Autores

Apéndice R

Unidad experimental 18. TTO AGRICULTURA TROPICAL B2



Fuente. Autores

Apéndice S

Unidad experimental 19. TTO AGRICULTURA TROPICAL B2



Fuente. Autores

Apéndice T

Unidad experimental 20. TTO CONVENCIONAL B2



Fuente. Autores

Apéndice U

Gramera



Fuente. Autores

Apéndice V

Diámetro



Fuente. Autores