

**Análisis de la productividad asociada a la bioestimulación de dos parcelas de aguacate Hass  
(*Persea americana mill*) en el municipio de Jardín Antioquia.**

Juan Manuel Pareja Betancur

Asesor:

Jorge Armando Fonseca Carreño  
Ing. Agrónomo. Esp, Msc, Doctor

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD  
Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA  
Maestría en Agronegocios

2024

### **Dedicatoria**

Dedico este proyecto, primero a Dios a quien todo lo que le pedimos lo concede; a mis padres, que con su apoyo moral me daban ánimos para seguir adelante y alcanzar una nueva meta en mi vida; gracias a ello logré vencer los obstáculos que se presentaron y pude cumplir con mi meta.

### **Agradecimientos**

A Dios por armonizarme con su amor, por iluminarme y estar presente en nuestra vida, porque con su fuerza me ha ayudado a culminar con éxito mi anhelada meta.

A mis padres a quienes debo todo lo que soy, por su infinito amor, paciencia y apoyo, porque con su constante lucha se convierten en ejemplo de vida para mí, gran parte de lo que soy se los debo a ellos. Mi amor y gratitud eternamente. A Valentina Álvarez Flórez, mi compañera de vida, una profesional de excelencia y, ante todo, un ser humano invaluable. Su guía constante, su apoyo incondicional y su presencia amorosa fueron pilares fundamentales a lo largo de todo este proceso. Agradezco profundamente su sabiduría, su paciencia y la inspiración que me brindó en cada etapa de este camino

A los profesores de la universidad en especial a mi asesor de grados Jorge Armando Fonseca, por trasmitirme de tan buena forma sus conocimientos y guiar este proceso tan importante para mí. También expresar mis agradecimientos a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, la cual respeto y admiro por sus avances en calidad académica e inclusión social.

Al Ingeniero Luis Fernando Vanegas, Gerente de la compañía Minerales Exclusivos S.A.S, por la vinculación en este proceso académico y su apoyo para el cumplimiento de los objetivos.

## Resumen

La bioestimulación permite mejorar el crecimiento y la salud de las plantas mediante la aplicación de sustancias naturales o inoculantes microbianos, ha surgido como un enfoque prometedor en el campo de la agricultura sostenible. A pesar de su potencial, sigue existiendo un importante vacío en la investigación específicamente relacionada con la aplicación de la bioestimulación en el cultivo del aguacate Hass. Por lo tanto, en este proyecto evaluó la eficacia de dos estrategias de bioestimulación para el cultivo de aguacate Hass en condiciones ambientales similares, comparando un método que emplea una mezcla de un regulador de crecimiento vegetal y biofertilizantes (método A) contra productos agrícolas convencionales (método B). Durante un período definido, se recopilaron datos sobre el peso, el tamaño y la frecuencia de cosecha de la fruta y se sometieron a análisis estadísticos y financieros. Los resultados demostraron diferencias significativas en la productividad, ya que el método A produjo 867,8 kg durante la fase de travesía y 2.443 kg en la cosecha principal, en comparación con los 518,7 kg y 1.368 kg del método B, respectivamente, como lo confirmó el análisis ANOVA. Financieramente, el método A generó \$ 12.581,420 en ingresos y una ganancia neta de \$ 10.667,420, mientras que el método B produjo \$ 7.169,840 en ingresos con una ganancia neta de \$ 6.759,952. En conclusión el método A conduce a prácticas agrícolas más sostenibles, reducción de productos de síntesis química y mejorar la productividad del cultivo de aguacate Hass, lo que respalda tanto la sostenibilidad ambiental como la viabilidad económica en el sector agrícola.

***Palabras claves*** Bioestimulación, Aguacate Hass, Agricultura sostenible, Agronegocio

## Abstract

Biostimulation, which improves plant growth and health through the application of natural substances or microbial inoculants, has emerged as a promising approach in the field of sustainable agriculture. Despite its potential, there remains a significant gap in research specifically related to the application of biostimulation in Hass avocado cultivation. Therefore, this project evaluated the efficacy of two biostimulation strategies for Hass avocado cultivation under similar environmental conditions, comparing a method employing a mixture of a plant growth regulator and biofertilisers (method A) against conventional agricultural products (method B). Over a defined period, data on fruit weight, size and harvest frequency were collected and subjected to statistical and financial analysis. The results showed significant differences in productivity, with method A producing 867.8 kg during the sleeper phase and 2,443 kg at main harvest, compared to 518.7 kg and 1,368 kg for method B, respectively, as confirmed by ANOVA analysis. Financially, method A generated \$12,581,420 in revenue and a net profit of \$10,667,420, while method B produced \$7,169,840 in revenue with a net profit of \$6,759,952. In conclusion method A leads to more sustainable farming practices, reduction of chemical synthesis products and improved productivity of the Hass avocado crop, which supports both environmental sustainability and economic viability in the agricultural sector.

**Keywords:** Bio-stimulation, Hass avocado, Sustainable agriculture, Agribusiness

## Tabla de Contenido

|   |    |
|---|----|
| Introducción .....  | 11 |
| Marco Teórico y Conceptual .....  | 14 |
| Orígenes del Aguacate Hass .....  | 14 |
| Generalidades del Aguacate Hass .....   | 14 |
| Contexto Colombiano en el Negocio del Aguacate Hass .....   | 15 |
| Limitantes en el Agronegocio de Aguacate Hass .....   | 16 |
| Bioestimulación .....   | 16 |
| Contribución al Mejoramiento de las Dificultades Identificadas .....                              | 18 |
| Objetivos .....   | 19 |
| Objetivo general.....   | 19 |
| Objetivos específicos .....   | 19 |
| Metodología .....   | 20 |
| Diseño de la Evaluación en Campo .....  | 20 |
| Parcelas de Campo .....   | 20 |
| Método A: Bioestimulación Propuesta. ....   | 21 |
| Método B. Bioestimulación Convencional. ....  | 22 |
| Caracterización del Rendimiento en Fruta como Respuesta a Dos Métodos de<br>Bioestimulación. .... | 23 |
| Manejo Agronómico de las Parcelas de Investigación. ....  | 23 |
| Corrección de pH y Aluminio.....  | 24 |
| Manejo Nutricional. ....  | 24 |
| Control de Plagas y Enfermedades. ....  | 24 |
| Control de Arvenses.....  | 24 |
| Recolección de los Frutos. ....   | 25 |
| Índice de Madurez.....  | 25 |

|   |    |
|---|----|
| Proceso de Cosecha.....   | 26 |
| Evaluación de Calibre. ....   | 26 |
| Cuantificación. ....  | 26 |
| Análisis de la Productividad de los Dos Métodos de Bioestimulación .....                              | 27 |
| Análisis Financiero de las Variables Costo-Beneficio Asociadas a los Métodos de Bioestimulación. .... | 29 |
| Resultados. ....  | 31 |
| Rendimiento en Fruta para los Dos Métodos.....  | 31 |
| Travesía.....   | 31 |
| Cosecha .....   | 31 |
| Calibre.....  | 32 |
| Análisis Estadístico de la Productividad de los Métodos de Bioestimulación .....                      | 33 |
| Travesía.....   | 33 |
| Supuestos del Modelo ANOVA.....   | 34 |
| Normalidad. ....  | 35 |
| Varianza Constante. ....  | 35 |
| Independencia. ....   | 36 |
| Cosecha. ....   | 37 |
| Supuestos del Modelo ANOVA.....   | 38 |
| Normalidad. ....  | 38 |
| Varianza Constante: .....   | 39 |
| Independencia. ....   | 40 |
| Análisis Financieros del Rendimiento de los Métodos de Bioestimulación.....                           | 41 |
| Relación Costo-Beneficio .....  | 45 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| Ganancia Neta.....            | 45 |
| Discusión.....                | 47 |
| Conclusiones.....             | 50 |
| Referencia Bibliografica..... | 51 |

## Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Lote 4 Área de Estudio.....  | 21 |
| <b>Figura 2</b> Diagrama de Barras con la Determinación de Calibre de la Fruta en la Travesía y Cosecha Principal..... | 34 |
| <b>Figura 3</b> Supuesto de Normalidad para los Datos de la Travesía .....   | 35 |
| <b>Figura 4</b> Supuesto de Varianza Constante para los Datos de la Travesía.....                                      | 36 |
| <b>Figura 5</b> Supuesto de Independencia para los Datos de la Travesía .....  | 37 |
| <b>Figura 6</b> Supuesto de Normalidad para los Datos de la Cosecha .....  | 40 |
| <b>Figura 7</b> Supuesto de Varianza Constante para los Datos de Cosecha.....  | 41 |
| <b>Figura 8</b> Supuesto de Independencia para los Datos de la Cosecha .....   | 42 |

**Lista de Tablas**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> Cantidad de Kg por Tratamiento para Travesía y Cosecha .....   | 33 |
| <b>Tabla 2</b> Análisis de Varianza para la Travesía.....                     | 35 |
| <b>Tabla 3</b> Análisis de Varianza para la Cosecha.....                      | 38 |
| <b>Tabla 4</b> Valor de los Productos por Método y Costo de Aplicación.....   | 44 |
| <b>Tabla 5</b> Costos Operacionales para cada Método de Bioestimulación ..... | 45 |
| <b>Tabla 6</b> Ingreso Total en Relación a la Cantidad de Fruta.....          | 46 |

## Introducción

El mercado mundial del aguacate Hass ha experimentado un periodo de notable crecimiento en los últimos años, convirtiéndose en un elemento destacado del sector alimentario mundial. Esta tendencia del mercado refleja la creciente demanda internacional por aguacate, impulsada por su popularidad como un alimento saludable y su implementación en diversas dietas y productos alimenticios (Guerra Correa et al., 2021). El elevado valor del aguacate Hass no sólo subraya su importancia en el comercio mundial, sino que también significa su considerable influencia económica en los países productores, que ven un aumento en sus ingresos por sus exportaciones (Díaz Castellanos, 2021).

Se prevé que el valor del mercado mundial del aguacate alcance los 19,20 millones de dólares en 2024, lo que representa una tasa de crecimiento del 5,30% hasta 2029. México sigue siendo el mayor productor y exportador de aguacates, con 2,77 millones de toneladas métricas de la producción mundial, mientras que la República Dominicana y Colombia también han experimentado una notable expansión en la producción y las exportaciones (Mordor Intelligence, 2024).

En la última década, el mercado del aguacate Hass en Colombia ha experimentado una importante expansión, consolidándose como un sector fundamental dentro de la economía agrícola del país y como la variedad de aguacate más comercializada (A. Gómez Sepúlveda & Pinzón Basto, 2019). Importantes empresas agroindustriales están presentes en los diferentes departamentos productores, facilitando la relación directa con los productores y la participación en las fases de producción, logística, transformación industrial y comercialización, que representan pasos fundamentales en la cadena de suministro. Algunos ejemplos destacados son

Cartama, Westfalia Fruit Colombia, Hass Colombia, Fruty Green, GreenWest y Jardín Exotics (Cristancho-Pinilla et al., 2021).

En Colombia, un número considerable de departamentos se dedican a la producción de aguacate Hass. El departamento de Antioquia es el principal contribuyente, representando el 49,1% de la producción nacional. Caldas ocupa la segunda posición, aportando el 22,1% del total, mientras que los demás departamentos representan menos del 5% de la producción nacional de esta agroindustria (DANE, 2018a). Esta industria abarca aproximadamente 4.000 productores en todo el país, generando 16.200 oportunidades de empleo directo y más de 48.000 oportunidades de empleo indirecto (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022a).

En Colombia se han introducido diversos cultivares de aguacate, siendo el cultivar Hass el de mayor prevalencia, ocupando 40.000 hectáreas del territorio nacional. Sin embargo, sólo aproximadamente el 55% de ellas están registradas ante el ICA para su comercialización internacional (Instituto C. A. ICA, 2022). Dado el considerable valor económico de la variedad Hass, existe una creciente demanda de investigación sobre este cultivo en rápida expansión, especialmente en lo que respecta a las posibles aplicaciones de técnicas de bioestimulación para mejorar el crecimiento y el rendimiento.

Un bioestimulante se define como un compuesto que puede estar formado por microorganismos y extractos vegetales, y que tiene la capacidad de fortalecer las condiciones fisiológicas y naturales de una planta (Rouphael & Colla, 2020a). La bioestimulación puede promover el crecimiento de los cultivos, potenciar su desarrollo y contribuir a mejorar los rendimientos en general, siempre y cuando se apliquen de manera adecuada y en el momento oportuno (García-Mina & Hadavi, 2016). Es importante destacar que los bioestimulantes se diferencian significativamente de los fertilizantes, ya que su función no es la de aportar

nutrientes. En cambio, favorecen una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes por parte de la planta, así como la mejora de su resistencia ante situaciones de estrés biótico y abiótico (Roy, 2024). La bioestimulación se ha consolidado como una estrategia en el cultivo del aguacate Hass debido a su capacidad para mejorar la calidad y la cantidad de la producción.

Al emplear bioestimulantes, los productores pueden mejorar la resistencia de las plantas a plagas y enfermedades, optimizar el uso de recursos y mantener una oferta constante en un mercado competitivo. Esta tecnología no solo apoya la sostenibilidad del cultivo, sino que también ofrece una ventaja competitiva en un mercado global cada vez más exigente (Rojas-Rodríguez et al., 2023). Por lo anterior en este trabajo un proyecto de investigación analizando la productividad asociada a dos métodos de bioestimulación en aguacate Hass (*Persea americana* Mill) en municipio de Jardín, Antioquia.

## **Marco Teórico y Conceptual**

### **Orígenes del Aguacate Hass**

El aguacate tiene una larga historia que se remonta a sus orígenes en los países centroamericanos, especialmente en México, donde se cree que cuenta con más de 500 variedades. Se ha llevado a cabo un proceso de selección para identificar las variedades más productivas y con mayor demanda comercial por los consumidores, teniendo en cuenta el sabor, el valor nutritivo y las propiedades químicas del fruto. En estas circunstancias, el aguacate Hass surgió como una de las variedades más superiores. Se convirtió en un cultivo comercial destacado durante la década de 1970 en los Estados Unidos de América. Posteriormente, el cultivo del aguacate Hass se extendió rápidamente a otros países, entre ellos México, que en la actualidad representa el 38,6% de la producción mundial de aguacate Hass y destaca como el principal productor del cultivar de aguacate más comercializado a nivel mundial (Chaparro, n.d.).

### **Generalidades del Aguacate Hass**

El aguacate Hass posee atributos físicos que lo distinguen de otras variedades, como su tamaño de la semilla, su forma única, la facilidad para separar la piel de la pulpa, su delicioso sabor y el llamativo oscurecimiento de su color al madurar (*Ficha Técnica Aguacate Hass*, n.d.). Por su valor nutritivo, sus diversas opciones de consumo y su uso en la agricultura, el aguacate es una fruta tropical cada vez más popular en todo el mundo. En los últimos 40 años, la producción mundial se ha cuadruplicado hasta alcanzar los 2,7 millones de toneladas en 2002. En 2004, sólo 5 países fueron responsables de más de la mitad de las exportaciones de aguacate, mientras que sólo se exportó el 0,01% de la producción mundial (Bernal, 2005).

## **Contexto Colombiano en el Negocio del Aguacate Hass**

Dadas las oportunidades de exportación que ofrece y el hecho de que se ha convertido en la variedad más comercializada, el aguacate representa una excelente oportunidad para el sector agrícola colombiano. Como lo demuestra el crecimiento del consumo y del área sembrada, el cultivo del aguacate ha adquirido recientemente una importancia significativa en la nación (A. C. ; P. B. L. M. Gómez Sepúlveda, 2019). Sin embargo, debido a las diferencias del producto cosechado, provocada en parte por la baja estandarización de los procesos en el eslabón productivo y los pocos estándares de calidad, la comercialización del aguacate colombiano en mercados internacionales se ve limitada en la actualidad (Abello & Esmeral, 2018).

En Colombia, numerosos departamentos producen aguacate Hass, siendo Antioquia el que más aporta, con el 49,1% de la producción nacional. Le sigue el departamento de Caldas con el 22,1%, mientras que otros departamentos no superan individualmente el 5% de participación en esta agroindustria (DANE, 2018b). En todo el territorio nacional existen cerca de 4.000 productores dedicados a esta industria, lo que favorece la generación de 16.200 empleos directos y más de 48.000 indirectos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022b). Colombia ha introducido varios tipos de aguacate en su territorio, predominando la variedad Hass, que cubre 40.000 hectáreas; sin embargo, sólo aproximadamente el 55% está registrado ante el ICA para el modelo de comercialización internacional (I. C. A. ICA, 2022).

Existen importantes empresas agroindustriales en los distintos departamentos productores, encargadas de crear una conexión directa con los productores y de participar en las fases de producción, logística, transformación industrial y comercialización; lo que representa pasos cruciales en la cadena de suministro. Algunas de estas empresas son Cartama, Westfalia

Fruit Colombia, Hass Colombia, Fruty Green, GreenWest y Jardín Exotics (Cristancho-Pinilla, 2021).

### **Limitantes en el Agronegocio de Aguacate Hass**

A lo largo de la cadena productiva, varios aspectos regulan la competitividad en la dinámica del negocio agroindustrial, siendo uno de ellos la productividad de las plantaciones establecidas. Colombia para el 2021 reportó una producción de 155.310 toneladas de aguacate Hass lo cual lo posiciona como gran contribuyente en la producción de esta fruta (MinAgricultura, 2022). Sin embargo, en términos de rendimiento, Colombia ocupa el puesto 29 entre 69 países dedicados a la industria, alcanzando un rendimiento de 7,86t/ha, el cual es notablemente inferior al de países como República Dominicana, que reporta rendimientos de hasta 46,27 t/ha (Cristancho-Pinilla, 2021). La situación anterior muestra una brecha significativa, que presenta tareas desafiantes para mejorar los rendimientos y mejorar la competitividad del país frente a otros actores del negocio. Algunas insuficiencias asociadas a este escenario están estrechamente relacionadas con el eslabón inicial de la cadena de suministro, cuestiones agronómicas y biológicas, y la inadecuada investigación frena el avance del sector.

### **Bioestimulación**

La bioestimulación es una práctica agrícola cuyo objetivo es promover cambios fisiológicos y morfológicos para mejorar diversos aspectos del crecimiento de las plantas. Estos cambios implican la reducción del estrés provocado por factores bióticos y abióticos, la mejora de la adaptabilidad a la variabilidad climática, el aumento de la productividad y el refuerzo de la agroindustria (Manghwar et al., 2022; Valero et al., 2021). En el proceso de bioestimulación se pueden emplear varias técnicas. Los dos métodos principales son las aplicaciones foliares sobre la planta y los medios edáficos mediante productos sólidos o líquidos. La bioestimulación es una

técnica innovadora que actualmente ofrece importantes beneficios al sector agrícola al mitigar los problemas de los cultivos y mejorar su producción desde el punto de vista financiero (CIBOCHEM, 2023).

El Consejo Europeo de la Industria de Bioestimulantes (EBIC) define los bioestimulantes como "*sustancias o microorganismos que, cuando se aplican a semillas, plantas o en la rizosfera, estimulan procesos naturales para mejorar o beneficiar la absorción de nutrientes, la eficiencia en el uso de nutrientes y la tolerancia al estrés abiótico, o la calidad y el rendimiento de los cultivos*" (EBIC, 2019). Estas sustancias desempeñan un papel fundamental en la mejora de la productividad y la calidad de los cultivos. Los bioestimulantes comunes incluyen extractos de algas, bacterias y hongos beneficiosos, ácidos húmicos y compost de estiércol líquido. A diferencia de los fertilizantes, los bioestimulantes no nutren directamente a las plantas, sino que regulan su metabolismo para inducir respuestas favorables.

El mercado de los bioestimulantes se ha expandido a gran velocidad, con una tasa media de crecimiento anual del 10,2% (Mandal et al., 2023). La aplicación de bioestimulantes en la agricultura ha suscitado una gran atención recientemente, y se estima que habrá un aumento del mercado mundial de bioestimulantes vegetales. En la última década (2009-2019), se han publicado más de 700 artículos científicos sobre "bioestimulantes vegetales" ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)) (Rouphael & Colla, 2020b). Estos artículos demuestran que los bioestimulantes microbianos y no microbianos pueden inducir diversas respuestas morfoanatómicas, bioquímicas, fisiológicas y moleculares en las plantas. Entre ellas figuran el aumento de la productividad de los cultivos, y una mayor tolerancia a las tensiones abióticas (Rouphael & Colla, 2020b).

El boro es un elemento móvil por el floema y puede trasladarse de las hojas a los tejidos en desarrollo, como flores y frutos (Minchin et al., 2015). De tal forma, la aplicación de boro en

el caso de la bioestimulación alterna, es con Boronit-N un producto con una concentración de 111,87 g/L. De forma completaría con la aplicación del Biomex DI-31 formulado a base de brasinoesteroides ((25 R) – 3 $\beta$ . 5 $\alpha$  – dihidroxi – espirostan-6-ona), se clasifican como fitohormonas de bajo peso molecular, actúan en concentraciones micromolares (o incluso menores) y regulan esencialmente todos los procesos fisiológicos y de desarrollo en el ciclo de vida de la planta.(Piotrowska & Bajguz, 2011). Finalmente, la aplicación de los hongos micorrizógenos del género *Glomus* sp. (Biofert-Mex) que propicia relaciones simbióticas con las raíces en el cultivo, mejorando el crecimiento y el rendimiento de las plantas hospedantes al mejorar su capacidad para absorber agua y nutrientes y resistir enfermedades.

### **Contribución al Mejoramiento de las Dificultades Identificadas**

Acelerar el progreso en la reducción de la brecha de productividad de Colombia en comparación con otros países productores es una tarea difícil. Muchos países llevan más tiempo produciendo comercialmente. Dado que el sector colombiano aún está en desarrollo, es lógico que existan ciertas limitaciones. Sin embargo, facilitar y potenciar la investigación académica es el requisito fundamental para mejorar el rendimiento de los cultivos y aumentar su calidad. De lo contrario, lograr un desarrollo integral en este sector puede resultar complicado. Aunque los países con mayor experiencia pueden aportar ideas, conocimientos y servir de marco comparativo, los factores agroambientales de cada territorio nacional son bastante disímiles, por lo que es necesaria la investigación científica para adaptar el apoyo técnico a las realidades del país.

## Objetivos

### Objetivo General

Analizar la productividad asociada a dos métodos de bioestimulación en aguacate Hass (*Persea americana Mill*) en municipio de Jardín, Antioquia.

### Objetivos Específicos

Evaluar los rendimientos en fruta obtenidos mediante la bioestimulación tradicional y la bioestimulación basada en la aplicación de Boro, reguladores fisiológicos y micorrizas, considerando su efecto sobre la productividad.

Comparar la productividad obtenida de la bioestimulación tradicional y propuesta.

Contrastar los rendimientos financieros de los dos métodos de bioestimulación.

## **Metodología**

En este proyecto el objetivo fue evaluar la respuesta en términos de la productividad del cultivo de aguacate variedad Hass sometidos a proceso de bioestimulación. Para lo cual se valoró la respuesta productiva para dos métodos propuestos.

### **Diseño de la Evaluación en Campo**

El trabajo de campo se realizó en el municipio de Jardín, vereda El Cuchillón en Jardín, Antioquia, en una altura de 2.250 metros promedio sobre el nivel del mar.

La finca Media Luna de la empresa Agro Industrias Las Violetas S.A.S. tiene aproximadamente de 10 hectáreas sembradas en aguacate hass en monocultivo, está dividida en varios lotes con diferentes edades de siembra. Los suelos de esta zona cuentan con alto contenido de materia orgánica y con una textura franco arenosa. Para la realización de este proyecto se tomó el lote 4 (Imagen 1) y allí se estableció el ensayo de campo que consistió en un diseño experimental que compara dos métodos de bioestimulación de la siguiente forma:

### **Parcelas de Campo**

Para la evaluación de los dos métodos de bioestimulación se evaluaron dos parcelas de campo cada una de ellas compuesta por 208 árboles de aguacate variedad Hass, cuyo arreglo o trazado de campo está alineado con la pendiente del terreno y con distancia de siembra de 5 m entre plantas y 5 metros entre filas, con una superficie total de 1.01 hectárea (ver Figura 1).

Se empleó un diseño completamente aleatorizado, siendo la variable de respuesta el número de kilogramos de frutos cosechados en cada parcela, en función de los métodos de bioestimulación. Para asegurar la validez de los resultados, cada método se aplicó en dos parcelas diferentes de aguacate en condiciones ambientales similares. El estudio incluyó el seguimiento de los parámetros de fertilización, control de arvenses, plagas y enfermedades y

prácticas culturales que es similar en ambas parcelas para poder evaluar únicamente el impacto de cada método de bioestimulación. Además, la investigación conllevó la recolección de la fruta en cada parcela con la variable respuesta del proyecto (kilogramos). Posteriormente, estos datos se analizaron estadística y económicamente.

### Figura 1

*Lote 4 área de estudio*



*Fuente. Autoría propia*

**Método A: Bioestimulación Propuesta.** Consiste en la utilización de un complejo de hongos micorrizógenos del género *Glomus* sp. (Biofert-mex ®), un regulador del crecimiento vegetal cuyo principio activo es un brasinoesteroide (Biomex-D1-31®) y un fertilizante foliar con una elevada concentración de boro y nitrógeno (Boronit-N®). En la parcela se realizaron aplicaciones con productos de la empresa Minerales Exclusivos S.A.S según la dosificación del fabricante. Para cada aplicación se prepararon dos canecas de 200 litros de agua para un total de 400 litros de agua para cubrir los 208 árboles de la parcela. Por cada 200 litros de agua se añadieron a la mezcla los siguientes productos y cantidades: Biofert-Mex ® (500 cc), Boronit-N ® (500 cc) y Biomex D1-31 ® (50 cc).

Los productos se aplicaron por vía foliar en los árboles. De la mezcla de los productos preparados en agua, se descargó aproximadamente 1,92 litros de solución por árbol. Esta aplicación se realizó en el campo con un equipo de pulverización tipo estacionaria, compuesto por un motor accionado por electricidad, 500 metros de mangueras para distribución en el lote y 2 lanzas tipo cuello de ganso con boquillas de baja descarga. Las doce aplicaciones se realizaron cada 30 días hasta el período de cosecha, con el objetivo de completar una aplicación completa dentro del ciclo anual del cultivo.

**Método B. Bioestimulación Convencional.** Consistió en la aplicación de un bioestimulante compuesto por hormonas vegetales (Selecto ®), junto con fertilizantes foliares altamente concentrados en nutrientes como zinc, magnesio y boro (Zintrac MgB ®), boro (Cosmo ion Boro ®), molibdeno y boro (Molibor ®), y calcio, boro, zinc y nitrógeno (CaBtrac ®), además elementos menores y trazas de hormonas vegetales de extractos de plantas, incluidas giberelinas, auxinas y citoquininas (Biozyme ®).

Se aplicaron mediante pulverización foliar con la misma cantidad de agua, maquinaria y descarga por planta que en el método A. La aplicación se realizó en la parte superior de los árboles. Se distribuyeron aproximadamente 1,92 litros de solución a cada uno de los 208 árboles de la parcela. Para cubrir esta cantidad de árboles, se prepararon 400 litros de solución para cada una de las cuatro aplicaciones realizadas durante el año de estudio.

En la primera aplicación realizada en marzo, se emplearon los siguientes productos: Selecto ®, Zintrac ®, Cosmo ion Boro ® y Molibor ®. Éstos se combinaron en un recipiente de 200 litros de agua, con una proporción de Selecto ® (200 cc) + Zintrac ® (300 cc) + Cosmo ion Boro ® (200 g) + Molibor ® (100 g). La segunda aplicación, estimada para el mes de junio, comprendió los siguientes productos: Biozyme ®, Cosmo ion Boro® , Zintrac ® y Cabtrac ®.

Éstos se añadieron en una caneca de agua de 200 litros con una proporción de Biozyme<sup>®</sup> (200 cc) + Cosmo ion Boro<sup>®</sup> (100 g) + Zintrac<sup>®</sup> (300 cc) + Cabtrac<sup>®</sup> (200 cc). En la tercera aplicación, correspondiente al mes de septiembre, se repitió la segunda aplicación, es decir, los mismos productos en la misma proporción en una caneca de agua de 200 litros. La proporción es la siguiente Biozyme<sup>®</sup> (200 cc) + Cosmo ion Boro<sup>®</sup> (100 g) + Zintrac<sup>®</sup> (300 cc). En la cuarta aplicación, prevista para diciembre, se repitió la aplicación correspondiente al primer mes de marzo con los productos Selecto<sup>®</sup> , Zintrac<sup>®</sup>, Cosmo ion Boro<sup>®</sup> y Molibor<sup>®</sup> en la misma proporción en la mezcla del tanque de 200 litros.

### **Caracterización del Rendimiento en Fruta como Respuesta a Dos Métodos de Bioestimulación**

El rendimiento de frutos de aguacate se define como la cantidad o volumen total de materia seca cosechada en un año natural determinado. La caracterización de los rendimientos en kilogramos de aguacate en respuesta a los dos métodos de bioestimulación requiere un análisis detallado de los efectos de estos métodos sobre la cantidad y la calidad de la producción de aguacate. El objetivo de este estudio fue caracterizar los rendimientos en kilogramos de aguacate con el fin de determinar el método de bioestimulación más eficaz para mejorar la producción de aguacate, lo que es crucial para la sostenibilidad y la productividad de la industria del cultivo.

**Manejo Agronómico de las Parcelas de Investigación.** El manejo agronómico de las parcelas de investigación desempeña un papel fundamental en la evaluación de la eficacia de los dos métodos de bioestimulación. En este estudio, ambas parcelas se sometieron a condiciones idénticas de corrección del pH y el aluminio, manejo nutricional, control de plagas, enfermedades y arvenses. La única fuente de variabilidad entre las parcelas fue el método de bioestimulación.

***Corrección de pH y Aluminio.*** En las parcelas 1 y 2 se realizaron dos aplicaciones de correctores de pH y aluminio de origen inorgánico a base de yeso agrícola, hidróxido, carbonatos cálcicos y silicato magnésico, una en el primer semestre de 2023 y otra en el segundo semestre del mismo año. La dosis de aplicación fue de 5.000 gramos por árbol.

***Manejo Nutricional.*** Tanto la parcela 1 como la parcela 2 fueron fertilizadas edáficamente en base a los resultados de los análisis de suelo realizados para la gestión nutricional de la finca Media Luna. Los ciclos de fertilización edáfica de origen químico se realizaron con carácter bimestral, con seis aplicaciones programadas para el año 2023. En cada una de las seis aplicaciones se utilizó una combinación de fuentes de nitrógeno, fósforo, potasio y elementos menores, aplicándose 1.000 gramos de abono por árbol en cada una de las fertilizaciones. Además, durante el mismo periodo se realizó una aplicación de un acondicionador orgánico derivado de la fuente gallinaza en dosis de 5.000 gramos por árbol.

***Control de Plagas y Enfermedades.*** En las parcelas de investigación se aplicó un plan de manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE), con la orientación del agrónomo a cargo de la finca y su equipo de trabajo. El plan abarca la fase cultural, durante la cual se llevó a cabo el seguimiento del campo, la instalación de trampas y algunos trabajos sanitarios puntuales en las parcelas. Además, el plan abarca las fases de control biológico y químico, que se aplicaron teniendo en cuenta variables como la fase del cultivo, las condiciones climáticas y los resultados del seguimiento de campo, en el que se obtuvieron datos sobre los niveles de infestación e infección de plagas y enfermedades.

***Control de Arvenses.*** El control de arvenses se basó en un plan de manejo integrado (MIA), que consistió en la identificación de arvenses presentes en las parcelas mediante inspección visual. Posteriormente, se establecieron una serie de ciclos de control mecánico a

intervalos de dos a tres meses. El objetivo era garantizar el mantenimiento de una cubierta vegetal media de 5 cm. Esto se consideró necesario para proteger el suelo de la erosión y mantener hospedadores para los enemigos naturales. Además, se empleó el control manual de arvenses en los platos de los árboles para evitar la competencia por los recursos, incluidos el agua, la luz solar y los nutrientes, con el objetivo de mejorar la aireación del suelo. Durante el transcurso de la investigación, se aplicaron herbicidas químicos en dos ocasiones, exclusivamente a las malas hierbas con características agresivas.

### **Recolección de los Frutos**

La recolección de los frutos es un proceso que implica una serie de aspectos clave. Los frutos se cosechan cuando presentan un color verde brillante, sin daños mecánicos y con sus respectivos pedúnculos. Para garantizar la mejor calidad, es fundamental determinar el índice de madurez de la fruta antes de la cosecha. Una vez determinado el índice de madurez, se puede iniciar el proceso de recolección. Durante este proceso, sólo se seleccionan los frutos adecuados, teniendo en cuenta su apariencia y estado. Por último, se cuantifica el rendimiento de los frutos recolectados para cada una de las dos cosechas realizadas en el marco del proyecto de investigación (la travesía y la cosecha principal). A continuación se detalla la metodología empleada en cada una de estas etapas.

### **Índice de Madurez**

Es de suma importancia conocer el índice de madurez del fruto de aguacate para facilitar la recolección del fruto en el momento óptimo. La madurez del fruto se determinó para cada uno de los dos periodos de cosecha (travesía y cosecha principal) mediante la toma de muestras en campo. Esto se hizo con el fin de verificar el estado fenológico de la fruta y corroborar que el

porcentaje de materia seca se encontraba entre el 19% y el 25%. Este rango se consideró adecuado para iniciar la recolección.

### **Proceso de Cosecha**

Para iniciar el proceso de cosecha, se proporcionó al personal de recolección capacitado un par de tijeras de podar, un aro y una bolsa de tela para depositar la fruta. Antes de la recolección, cada operario examinó cada árbol y seleccionó los frutos óptimos para la cosecha. Los recolectores procedían a cortar meticulosamente la fruta de la rama, asegurándose de que quedaba un trozo de tallo unido a la fruta. En el caso de los frutos más altos, se utilizaron aros para evitar la aplicación de una fuerza excesiva, que podría dañar el fruto o el árbol. Por último, los frutos recolectados se colocaban en una bolsa de tela para evitar dañar la fruta. Para desarrollar este proceso de cosecha tanto para la travesía como para la cosecha principal, a cada operario se le asignó un área específica de árboles a recolectar. Esta zona estaba compuesta por 26 árboles en cada parcela de cada método.

### **Evaluación de Calibre**

La evaluación del calibre se realizó para la cosecha principal. Se seleccionaron al azar un total de 30 árboles de cada método de bioestimulación, y se tomaron al azar cinco frutos de cada árbol. Los frutos se pesaron y clasificaron según su peso utilizando los parámetros establecidos por Importacol (s. f.) para determinar el calibre por método de bioestimulación.

### **Cuantificación**

Tras el proceso de recolección, se cuantificó la cantidad de fruta recolectada en kilogramos con el fin de evaluar el rendimiento y la eficacia de cada método de bioestimulación en cada una de las dos recolecciones (travesía y cosecha principal). Los frutos cosechados por cada operario se pesaron en una balanza digital para determinar la cantidad de frutos obtenidos.

Los datos se registraron para su posterior análisis. La fruta fue empacada en canastillas plásticas y se transportó a la planta de procesado, para su proceso de exportación.

### **Análisis de la Productividad de los Dos Métodos de Bioestimulación**

El proyecto evaluó la eficacia de los métodos de bioestimulación que se expresan como producción y calidad de frutos del cultivo de aguacate tanto para el método propuesto (A) y el convencional de la región (B). Para lo anterior se empleó un modelo estadístico de análisis de la varianza (ANOVA), específico para un diseño completamente al azar (DCA). El modelo estadístico lineal, dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}.$$

Donde :

$\mu$  es el parámetro de escala común a todos los tratamientos, llamado media global

$\tau_i$ ; es un parámetro que mide el efecto del tratamiento  $i$

$\varepsilon_{ij}$  es el error atribuible a la medición  $Y_{ij}$ .

En este modelo implícito que en el diseño completamente al azar actuaron dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio. Para esto, se realizó un ANOVA con el objetivo probar la hipótesis de igualdad de los métodos de bioestimulación entre las parcelas 1 y 2 con respecto su media de la correspondiente, la variable respuesta en este caso es la cantidad de kilogramos de frutos recolectados). Esto equivale que las hipótesis del modelo son las siguientes:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2$$

$$H_A = \mu_1 \neq \mu_2$$

Así, desde el punto de vista estadístico, la hipótesis fundamental sometida a prueba consistía en comparar los dos métodos de bioestimulación aplicados en la parcela 1 y 2 en función del número de kilogramos de frutos cosechados. Si no se rechazaba la hipótesis nula

( $H_0$ ), se concluía que los métodos de bioestimulación eran estadísticamente equivalentes en cuanto a sus medias. Sin embargo, si se rechazaba la hipótesis nula, se concluía que los métodos de bioestimulación diferían estadísticamente, aceptándose la hipótesis alternativa ( $H_A$ ).

Se realizó el análisis de varianza utilizando el programa Excel para comparar los métodos de bioestimulación. A partir de la información obtenida, se aplicó el criterio de comprobación de hipótesis, teniendo en cuenta el criterio de rechazo que  $H_0$  si *valor* -  $p = P(F > F_0)$ . En caso de rechazo, se concluyó que al menos una de las medias era diferente.

En caso de que se rechace la hipótesis nula  $H_0$  mediante el ANOVA y se determine que no hay igualdad entre las medias poblacionales de las parcelas, fue necesario determinar cuáles son diferentes. Para ello, se utilizó el método de Tukey para comparar los pares de medias de los tratamientos. Este método consiste en comparar las diferencias entre las medias muestrales con el valor crítico, que viene dado por:

$$T_\alpha = q_\alpha(k, N - k) \sqrt{CM_E/n_i}$$

Donde  $CM_E$  es el cuadrado medio del error,  $n$  es el número de observaciones por tratamiento,  $k$  es el número de tratamientos,  $N - k$  es igual a los grados de libertad para el error,  $\alpha$  es el nivel de significancia prefijado y el estadístico  $q_\alpha(k, N - k)$  son puntos porcentuales de la distribución del rango. Se declaran significativamente diferentes los pares de medias cuya diferencia muestral en valor absoluto sea mayor que  $T_\alpha$ .

Por último, en el análisis estadístico se incluyeron la verificación de los supuestos del modelo que son: normalidad, varianza constante (igual varianza de los tratamientos) e independencia mediante paquetes estadísticos.

## **Análisis Financiero de las Variables Costo-Beneficio Asociadas a los Métodos de Bioestimulación**

Para cada método de bioestimulación, se llevó un registro que cuantificaba el costo de los productos aplicados durante un periodo de 12 meses, así como los costos de mano de obra (incluidos los fumigadores y supervisores). Para realizar el análisis financiero, se determinaron los costos asociados al proceso de bioestimulación tanto para el método A como para el método B.

Para analizar el ingreso total en relación a la cantidad de fruta generada por cada método de bioestimulación, se multiplicó la cantidad total de fruta cosechada en cada método por el valor comercial del kilogramo de aguacate Hass.

$$\text{Ingreso total} * \text{método} = \text{kg de fruta cosechada} * \text{valor del kg}$$

Posteriormente, se determinó la relación costo-beneficio para cada método de bioestimulación, tomando el ingreso total en relación a la fruta cosechada dividiéndolo por los egresos totales generados en cada proceso de bioestimulación.

$$\text{Costo} - \text{Beneficio} \left( \frac{C}{B} \right) = \text{Beneficios (ingresos)} / \text{Costos (egresos)}$$

Donde, en caso de que  $C/B > 1$ , esto significa que los ingresos superan a los egresos, indicando así que el método de bioestimulación es una opción rentable. Por el contrario, si  $C/B < 1$ , esto implica que los egresos superan a los ingresos, sugiriendo que el método de bioestimulación no es una opción deseable. Por último, si  $C/B = 1$ , esto denota que las egresos e

ingresos están en equilibrio, lo que indica que el método de bioestimulación aplicado es indiferente.

Finalmente, se calculó la ganancia neta en relación con cada proceso de bioestimulación restando el valor de los ingresos totales de los egresos totales de cada método de bioestimulación.

$$\textit{Ganancia neta} = \textit{ingresos totales} - \textit{egresos totales}$$

## **Resultados**

En este proyecto se evaluó la eficacia de dos métodos de bioestimulación cuantificando el rendimiento total en kilogramos de fruta obtenido mediante cada método. Los datos posteriores ilustran las diferencias cuantitativas observadas, proporcionando información sobre la influencia de cada método en el rendimiento de cada parcela de investigación en cada uno de los dos periodos de recolección la travesía y la cosecha principal.

### **Rendimiento en Fruta para los Dos Métodos**

#### ***Travesía***

La recolección de frutos para el periodo de travesía de ambos métodos de bioestimulación se realizó el 28 de junio de 2023. El método A produjo un total de 867,8 kg en 208 árboles de aguacate, con un rendimiento medio de 4.172 kg por árbol. El método B produjo un total de 518,7 kg del mismo número de árboles, con un rendimiento medio de 2.424 kg por árbol (véase Tabla 1). Los resultados demuestran que el método A produjo un aumento significativo de 349,1 kg de fruta, con una diferencia notable de 1.631 kg por árbol en comparación con el método B.

#### ***Cosecha***

La cosecha principal de las dos parcelas se realizó el 19 de octubre de 2023. Los resultados de esta fase de recolección se presentan en la Tabla 1 para los dos métodos. El método A produjo un total de 2.443 kg, con una media de 11.745 kg por árbol. El método B registró un total de 1.368 kg, con una media de 6.576 kg por árbol. Los datos demuestran que el método A produjo un aumento de 1.075 kg en el rendimiento de fruta, con una diferencia de 5.169 kg\*árbol en comparación con el método B.

**Tabla 1***Cantidad de Kg por tratamiento para travesía y cosecha*

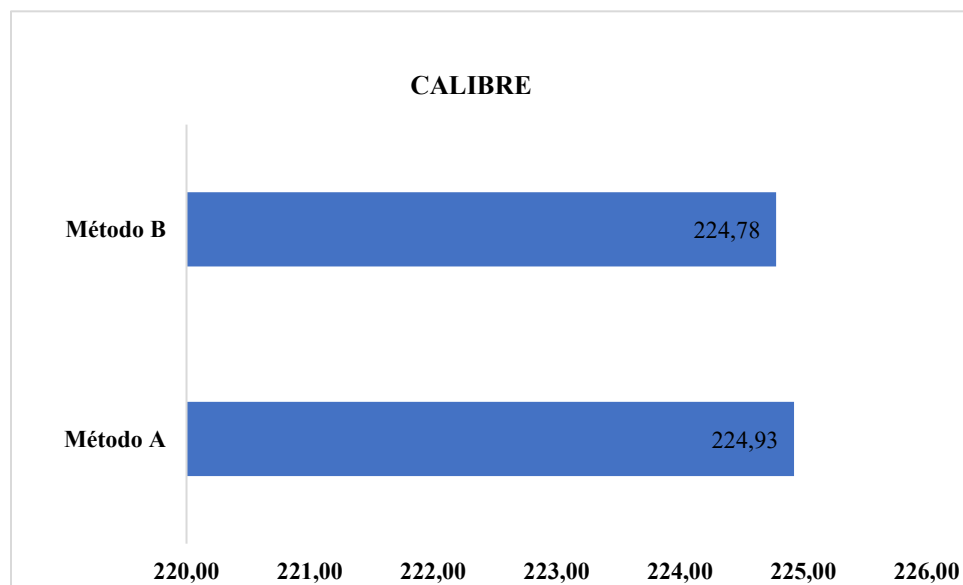
| Surco | TRAVIESA      |               | COSECHA       |               |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|       | Método A (Kg) | Método B (Kg) | Método A (Kg) | Método B (Kg) |
| 1     | 135,9         | 45,6          | 334,8         | 221,8         |
| 2     | 98,9          | 77,6          | 329,8         | 154           |
| 3     | 108,5         | 79,4          | 265,6         | 171,1         |
| 4     | 95,5          | 53,2          | 242,3         | 134,4         |
| 5     | 110,1         | 59,5          | 251,7         | 188,5         |
| 6     | 119,5         | 59,9          | 345,7         | 191,8         |
| 7     | 98,2          | 62,5          | 375,9         | 171,9         |
| 8     | 101,2         | 81            | 297,3         | 134,6         |
| Total | <b>867,8</b>  | <b>518,7</b>  | <b>2443,1</b> | <b>1368,1</b> |

*Fuente. Autoría propia***Calibre**

Los resultados de la determinación del tamaño del fruto para los métodos de bioestimulación A y B se ilustran en la Gráfica 1. El peso medio del fruto para el método A fue de 224,93 kg, lo que corresponde a una clasificación por calibre de 18 para los frutos cosechados. Del mismo modo, el método B arrojó un peso medio de 224,78 kg, lo que corresponde a una clasificación por calibre de 18. Los resultados demuestran que no hay diferencias significativas en el tamaño de la fruta entre los dos métodos, ya que ambos produjeron pesos medios y clasificaciones de tamaño casi idénticos. Esto indica que se puede confiar en cualquiera de los dos métodos para producir frutos de un tamaño consistente, disipando así las preocupaciones sobre las variaciones en las dimensiones de los frutos.

**Figura 2**

*Diagrama de barras con la determinación de calibre de la fruta en la travesía y cosecha principal*



*Fuente.* Autoría propia

### **Análisis Estadístico de la Productividad de los Métodos de Bioestimulación**

El análisis estadístico de la productividad de los métodos de bioestimulación identifica cualquier diferencia estadísticamente significativa entre los dos métodos de bioestimulación. Los resultados siguientes demuestran las diferencias estadísticas entre los dos métodos en relación con la mejora de los procesos de bioestimulación en los dos periodos de recolección de los frutos.

### **Travesía**

Los datos obtenidos durante la recolección de frutos durante la travesía revelan hallazgos interesantes a través del análisis de varianza, tal como se presenta en la Tabla 2. La variación total para este período de recolección asciende a 10.111,79. Es importante señalar que 7.616,9 de este total se atribuyen a las diferencias entre los métodos de bioestimulación, mientras que 2.494

reflejan la variación dentro de cada método en sí. Por lo tanto, se puede asumir que las diferencias entre los métodos es de 7616,9, y el error es de 178,2. Además, el análisis indica que el valor F calculado (42,7) supera el valor F crítico (4,60), lo que lleva a rechazar la hipótesis nula. Esto implica, inferir que existe una diferencia significativa en los dos métodos de bioestimulación sobre la cantidad de frutos cosechados medidos en kilogramos.

## Tabla 2

### *Análisis de varianza para la travesía*

ANÁLISIS DE VARIANZA

| <i>Origen de las variaciones</i> | <i>Grados</i>            |                    | <i>Promedio de los</i> | <i>F</i>   | <i>Probabilidad</i> | <i>Valor crítico para F</i> |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|------------|---------------------|-----------------------------|
|                                  | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>de libertad</i> |                        |            |                     |                             |
| Entre grupos                     | 7616,92563               | 1                  | 7616,92563             | 42,7424268 | 1,3172E-05          | 4,60010994                  |
| Dentro de los grupos             | 2494,87375               | 14                 | 178,205268             |            |                     |                             |
| Total                            | 10111,7994               | 15                 |                        |            |                     |                             |

*Fuente.* Autoría propia

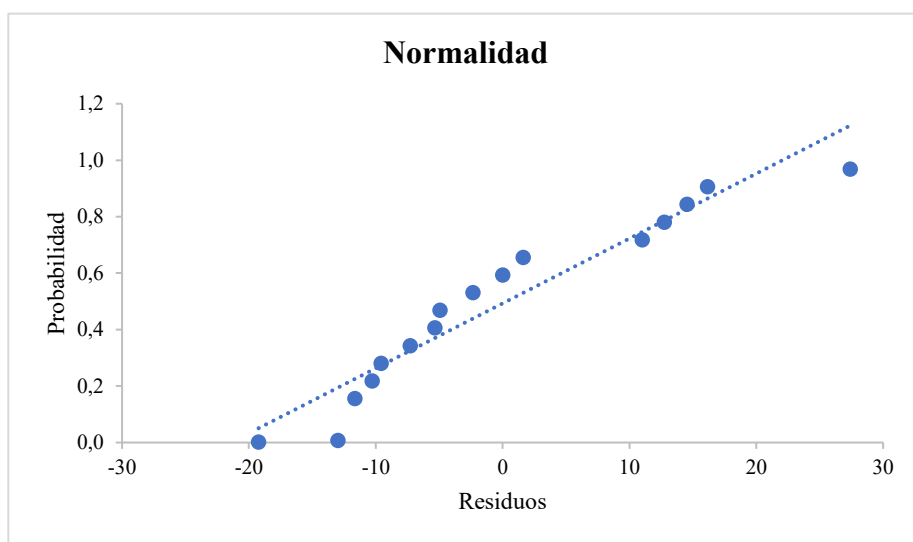
Tras el rechazo de la hipótesis nula en el análisis de varianza (ANOVA), se realizó la prueba de Tukey sobre los datos de la travesía para determinar la significancia entre las medias. De acuerdo con el método de Tukey, el valor crítico para la travesía fue 32,11. Al comparar con la diferencia de las medias de la muestra, la diferencia entre los métodos A y B fue significativa, ya que la diferencia de la muestra ( 43,637 ) es mayor que el valor crítico.

**Supuestos del Modelo ANOVA.** Para comprobar la veracidad de los datos utilizados en el análisis de varianza en la travesía, se evaluaron los supuestos subyacentes del modelo. Estos supuestos incluyen:

**Normalidad.** Este supuesto evalúa si los residuos, o las discrepancias entre los valores observados y los previstos, se ajustan a una distribución normal. La Figura 3 ilustra el supuesto de normalidad en relación con la distribución de probabilidad normal de los residuos. El gráfico muestra una tendencia lineal, lo que confirma que se cumple el supuesto de normalidad. Verificar este supuesto es crucial para garantizar la validez y la precisión de los resultados.

### Figura 3

*Supuesto de normalidad para los datos de la traviesa*

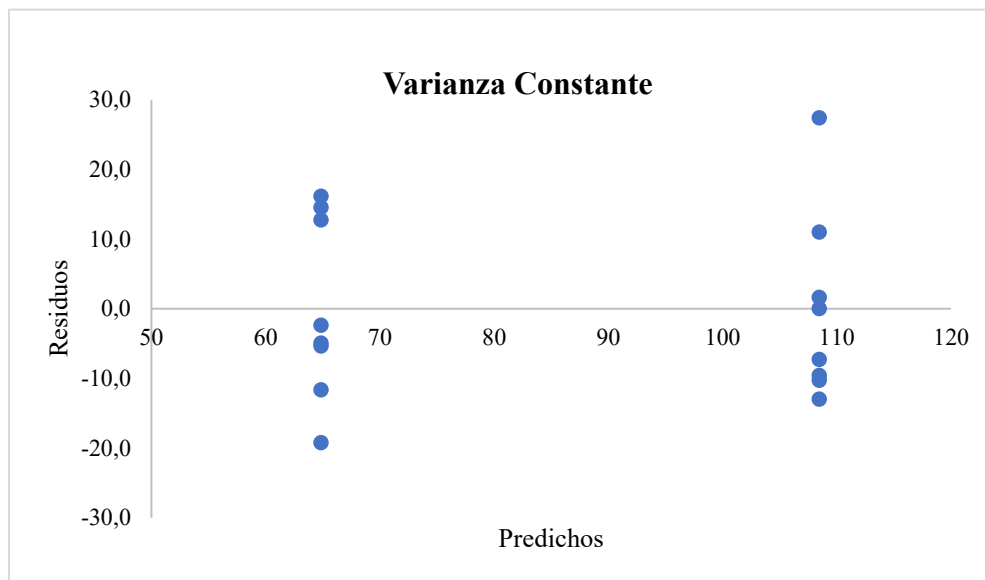


*Fuente.* Autoría propia

**Varianza Constante.** Este supuesto se ilustra en la Figura 4, que muestra la gráfica de los valores predichos frente los residuos de la traviesa. Los puntos se sitúan aleatoriamente, lo que indica una varianza constante, ya que no se sigue un patrón específico. Además, los residuos de cada método tienen una dispersión similar alrededor de una línea horizontal.

**Figura 4**

*Supuesto de varianza constante para los datos de la travesía*



*Fuente.* Autoría propia

**Independencia.** El supuesto de independencia asegura que las observaciones dentro de cada método sean independientes entre sí, y que las observaciones entre métodos también sean independientes. Este supuesto traza los residuos en el orden temporal de recogida de datos es útil para detectar correlaciones entre los residuos. La figura 5 demuestra este supuesto de independencia para la travesía, mostrando un comportamiento aleatorio de los puntos dentro de la banda horizontal, que cumple con este supuesto.

**Figura 5**

Supuesto de independencia para los datos de la travesía



*Fuente.* Autoría propia

El análisis confirmó que se cumplieron los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia, lo que respalda la fiabilidad de los resultados del ANOVA. La diferencia significativa entre los métodos A y B, como lo indica la prueba de Tukey, valida aún más los hallazgos.

### **Cosecha**

El análisis de la varianza (ANOVA) para la cosecha principal de las parcelas experimentales indica diferencias significativas entre las medias de los métodos de bioestimulación A y B, como se evidencia en la Tabla 3. El cuadrado medio entre tratamientos es de 72226, que es considerablemente mayor que el cuadrado medio dentro de los tratamientos (o error), que es de 1631. Esta discrepancia indica que las medias de los distintos métodos de bioestimulación investigados no son iguales. El valor F calculado de 44,266 supera el valor

crítico de 4,60, lo que lleva al rechazo de la hipótesis nula. Este resultado implica que el método de bioestimulación tiene un efecto significativo en la cantidad de kilogramos de aguacate Hass.

**Tabla 3**

*Análisis de varianza para la cosecha*

| <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> |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------|---------------------|-----------------------------|
| Entre grupos                     | 72226,563                | 1                         | 72226,5625                       | 44,2663966 | 1,0903E-05          | 4,60010994                  |
| Dentro de los grupos             | 22842,878                | 14                        | 1631,63411                       |            |                     |                             |
| Total                            | 95069,44                 | 15                        |                                  |            |                     |                             |

*Fuente.* Autoría propia

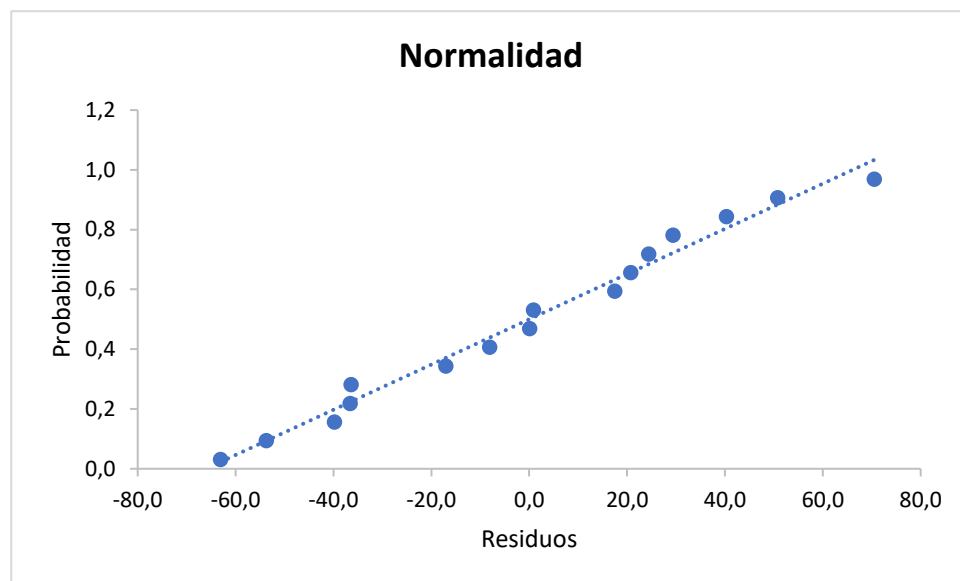
Tras el rechazo de la hipótesis nula, se realizaron comparaciones de medias por pares mediante la prueba de Tukey. El valor absoluto obtenido de esta prueba fue 43,272 para los datos de cosecha. Este valor es notablemente inferior a la diferencia entre las medias de los métodos, que es 134,375, lo que indica que las diferencias son, en efecto, estadísticamente significativas.

**Supuestos del Modelo ANOVA.** Para garantizar la fiabilidad de los resultados del ANOVA, se evaluaron los tres supuestos de normalidad, varianza constante e independencia utilizando criterios idénticos a los empleados para el periodo de recolección de traviesa:

**Normalidad.** El supuesto de normalidad se ilustra en la figura 6, que representa los datos de la cosecha principal. La grafica demuestra que los datos cumplen el supuesto de normalidad, ya que los puntos se alinean estrechamente a lo largo de una línea recta. Esto indica que la distribución de los datos es aproximadamente normal, lo que es esencial para la validez de los resultados del ANOVA.

**Figura 6**

*Supuesto de normalidad para los datos de la cosecha*

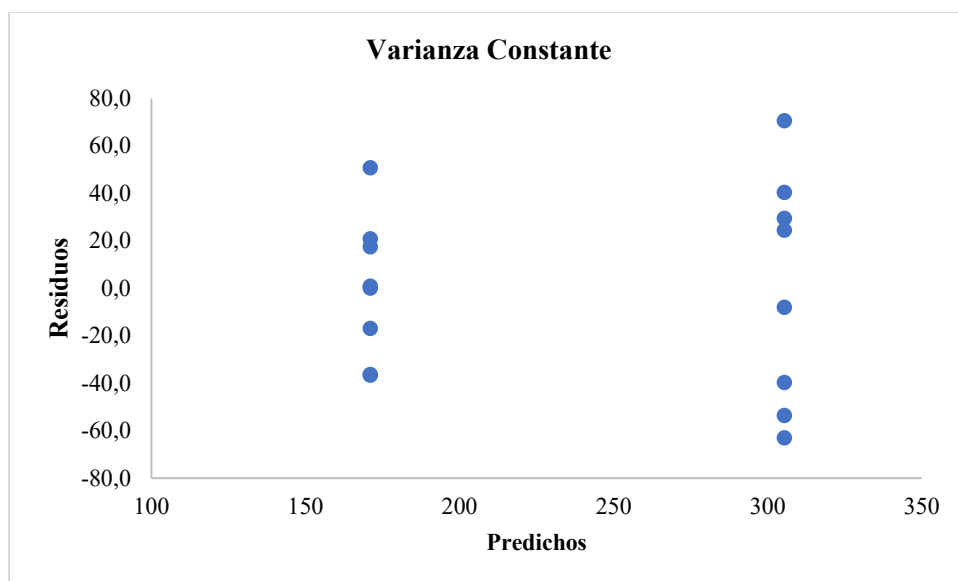


*Fuente. Autoría propia*

**Varianza Constante:** El supuesto de varianza constante, se representa en la Figura 7 que compara los residuos con los valores ajustados para los datos de recolección de fruta durante la cosecha. La gráfica indica que los valores están correlacionados únicamente con la respuesta prevista, y no se observa ningún patrón. Por lo tanto, se cumple el supuesto de varianza constante, y la amplitud de la dispersión de los puntos en cada nivel de factor tiende a ser similar.

**Figura 7**

*Supuesto de varianza constante para los datos de cosecha*

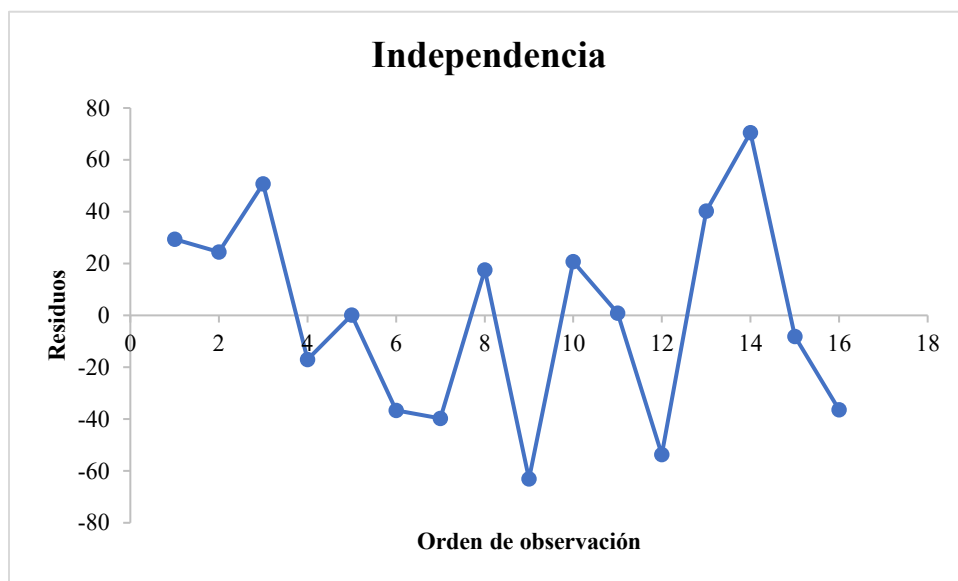


*Fuente.* Autoría propia

**Independencia.** El supuesto de independencia se ilustra en la figura 8, que representa los residuos en función de la secuencia temporal de recogida de datos. La grafica confirma el supuesto de independencia, ya que los puntos no parecen estar correlacionados entre sí. Es de vital importancia asegurarse de que no se viola el supuesto antes mencionado, ya que cualquier violación de este tipo podría invalidar los resultados del ANOVA.

**Figura 8**

*Supuesto de independencia para los datos de la cosecha*



*Fuente.* Autoría propia

Los resultados del análisis ANOVA indicaron que existían diferencias estadísticamente significativas entre los dos métodos de bioestimulación en los dos periodos de recolección. La validación satisfactoria de los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia garantizó la fiabilidad de los resultados del ANOVA y permitió interpretarlos con confianza. Por lo tanto, la selección del método de bioestimulación apropiado es de suma importancia para la productividad del aguacate Hass.

### **Análisis Financieros del Rendimiento de los Métodos de Bioestimulación**

Los resultados del análisis estadístico de ambos métodos de bioestimulación indicaron diferencias estadísticamente significativas entre las parcelas experimentales, que tiene el potencial de influir directamente en la rentabilidad del cultivo. Por lo tanto, es crucial comprender las implicaciones financieras de ambas parcelas, ya que el análisis financiero evalúa

las variables de costo-beneficio asociadas a cada método de bioestimulación, valorando su impacto sobre el rendimiento, los costos de los insumos y la rentabilidad global. Al examinar estos factores, el análisis proporciona información valiosa sobre la viabilidad económica y el rendimiento potencial de la inversión.

En el desarrollo del proyecto se requirió la utilización de diversos recursos físicos, específicamente insumos agrícolas y mano de obra operativa. La Tabla 4 ilustra los productos utilizados, sus cantidades para cada método (A y B), el valor comercial por centímetro, el valor total de cada producto, el costo total de los productos utilizados en cada método y el valor final de la mano de obra implementada durante el período de 12 meses.

En el método A, se emplearon tres productos distintos, cada uno en presentación de litro, con precios comerciales respectivos de \$30.625, \$30.625 y \$622.500. Los gastos financieros de los productos durante el período de investigación se detallan en la Tabla 4. Los costos de los productos individuales fueron los siguientes: Biofert-mex ® a \$367.500, Boronit-N ® a \$367.500 y Biomex D1-31 ® a \$747.000. Por lo tanto, el costo total de los productos utilizados en el método A fue de \$1.482.000. Además, el costo total de mano de obra asociado a este método fue de \$432.000.

En cambio, el método B utilizó seis productos en presentaciones de litro y kilogramo, con precios comerciales que oscilaban entre \$32,000 y \$149,500. Los costos totales de cada producto aplicado durante la investigación fueron los siguientes: Selecto a \$59.800, Zintrac ® a \$82.800, Cosmo Ion Boro ® a \$25.600, Molibor ® a \$24.000, Biozyme ® a \$55.680 y Cabtrac ® a \$18.000, como se detalla en la Tabla 4. Por lo tanto, el costo total de los productos utilizados en el método B fue de \$265,880. Además, el costo total de la mano de obra para este método fue de \$144,000.

**Tabla 4**

*Valor de los productos por método y costo de aplicación*

| Método          | Producto         | Presentación | Valor comercial | Valor por cc de producto | Valor total de cada producto | Costo total de los productos para cada método | Valor mano de obra total * método |
|-----------------|------------------|--------------|-----------------|--------------------------|------------------------------|---|-----------------------------------|
| <b>Método A</b> | Biofert-mex ®    | Litro        | \$ 30.625       | \$ 31                    | \$ 367.500                   |   |                                   |
|                 | Boronit- N®      | Litro        | \$ 30.625       | \$ 31                    | \$ 367.500                   | \$ 1.482.000                                  | \$ 432.000                        |
|                 | Biomex- D1-31®   | Litro        | \$ 622.500      | \$ 623                   | \$ 747.000                   |   |                                   |
| <b>Método B</b> | Selecto ®        | Litro        | \$ 149.500      | \$ 150                   | \$ 59.800                    |   |                                   |
|                 | Zintrac ®        | Litro        | \$ 69.000       | \$ 69                    | \$ 82.800                    |   |                                   |
|                 | Cosmo Ion Boro ® | Kilogramo    | \$ 32.000       | \$ 32                    | \$ 25.600                    | \$ 265.880                                    | \$ 144.000                        |
|                 | Molibor ®        | Kilogramo    | \$ 120.000      | \$ 120                   | \$ 24.000                    |   |                                   |
|                 | Biozyme ®        | Litro        | \$ 139.200      | \$ 139                   | \$ 55.680                    |   |                                   |
|                 | Cabtrac ®        | Litro        | \$ 45.000       | \$ 45                    | \$ 18.000                    |   |                                   |

*Fuente.* Autoría propia

El análisis comparativo del gasto global entre los dos métodos reveló que el método A dio lugar a un costo total de \$1.914.000 (incluidos los costos de producto y mano de obra), en contraste con el método B, que arrojó un costo total de \$409.888. Específicamente, el método A empleó 24 canecas de la mezcla de productos, lo que supuso un costo de \$79.750 por caneca (véase Tabla 5). El método B, en cambio, empleó 16 canecas a un costo de \$25.618 cada una, como se detalla en la Tabla 5. La diferencia entre los dos métodos en cuanto al valor de las canecas de mezcla de los productos utilizados se determinó en \$1.504.112. En total, para ambos métodos se necesitaron 8.000 litros de agua, lo que equivale a 40 canecas de 200 litros.

**Tabla 5**

*Costos operacionales para cada método de bioestimulación*

| <b>Método</b>   | <b>Numero de canecas de 200L de<br/>agua * método</b> | <b>Valor total por caneca</b> | <b>Costo total de canecas por método</b> |
|-----------------|---|-------------------------------|--|
| <b>Método A</b> | 24  | \$ 79.750                     | \$ 1.914.000                             |
| <b>Método B</b> | 16  | \$ 25.618                     | \$ 409.888                               |

*Fuente.* Autoría propia

Luego de cuantificar los egresos por cada método de bioestimulación, se estimó el ingreso generado multiplicando la cantidad total de fruta cosechada durante los dos períodos de cosecha por el precio de venta de referencia por kilogramo para el año 2023. El método A generó un ingreso total de \$12.581.420, mientras que el método B arrojó \$7.169.840 (ver Tabla 6). La diferencia en el ingreso total entre los dos métodos es de \$5.411.580, lo que indica que el método A superó significativamente al método B en términos de ingresos generados por la fruta cosechada.

**Tabla 6***Ingreso total en relación a la cantidad de fruta*

| Método          | Periodo  | Kilogramos de frutos recolectados | Total de Kg recolectados * método | Precio de kilogramo de fruta cosechada | Valor total de la fruta cosechada |
|-----------------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|
| <b>Método A</b> | Traviesa | 867,8                             | 3310,9                            | \$ 3.800                               | \$ 12.581.420                     |
|                 | Cosecha  | 2443,1                            |                                   |  |                                   |
| <b>Método B</b> | Traviesa | 518,7                             | 1886,8                            | \$ 3.800                               | \$ 7.169.840                      |
|                 | Cosecha  | 1368,1                            |                                   |  |                                   |

*Fuente. Autoría propia***Relación Costo-Beneficio**

El análisis costo-beneficio de los métodos de bioestimulación A y B muestra que ambos son estrategias rentables. El método A mostró una relación costo-beneficio de 6,57, lo que indica que los ingresos generados por este método son notablemente superiores a los gastos incurridos. Esto sugiere que la aplicación del método A es una estrategia rentable. El método B, por el contrario, presenta una relación costo-beneficio de 17,5, lo que indica igualmente que los ingresos generados superan a los gastos incurridos. Por lo tanto, se puede inferir que el método B también es rentable desde el punto de vista financiero. El análisis demuestra claramente que ambos métodos arrojan una relación costo-beneficio positiva superior a 1. Sin embargo, el método B demuestra una mayor eficacia en términos de rendimiento de la inversión. No obstante, el método A genera mayores ingresos totales.

**Ganancia Neta.** La ganancia neta es un indicador financiero que refleja el rendimiento económico del proyecto, al comparar los ingresos con los egresos. En el método de

bioestimulación A los ingresos totales generados son de \$12.581.420, mientras que los egresos ascienden a \$1.914.000. Al restar los egresos de los ingresos se obtiene una ganancia neta de \$10.667.420. Este resultado positivo demuestra que el método A ha alcanzado un rendimiento financiero favorable, porque los ingresos superan significativamente los egresos.

Por el contrario, el método de bioestimulación B arrojó unos ingresos totales de \$7.169.840 procedentes de la venta de aguacates Hass, con unos gastos asociados que ascendieron a \$409.888. La ganancia neta resultante de \$6.759.952 también refleja una rentabilidad significativa después de cubrir los costos asociados con este método de bioestimulación. Los resultados demuestran que ambos métodos son rentables. No obstante, la ganancia neta del método A es superior al del método B en términos absolutos.

## Discusión

El mercado mundial de bioestimulantes está experimentando un crecimiento significativo, impulsado en gran medida por la creciente demanda de prácticas agrícolas sostenibles y una mejor resiliencia de los cultivos (Barbás et al., 2024). Esta tendencia refleja un cambio más amplio hacia métodos agrícolas respetuosos con el medio ambiente que apuntan a mejorar la productividad y minimizar los impactos ecológicos negativos. En este proyecto el método A, integra un bioestimulante derivado de plantas en conjunto con hongos micorrízicos arbusculares y una fuente de boro. Esta combinación sinérgica está alineada con los principios de la agricultura sostenible al fomentar el establecimiento de ecosistemas del suelo saludables y reducir la dependencia de insumos químicos en la producción agrícola (Brodt et al., 2011; Tahat et al., 2020).

En cambio, el método B emplea predominantemente productos de síntesis química, que suelen asociarse a las prácticas agrícolas convencionales. Aunque los insumos químicos pueden generar aumentos inmediatos en el rendimiento de los cultivos, suelen ir asociados a importantes costos medioambientales. La dependencia de la aplicación de moléculas químicas en los cultivos puede provocar la degradación del suelo, la contaminación y la reducción de la biodiversidad (Lykogianni et al., 2021; Tudi et al., 2021). Las consecuencias a largo plazo de los residuos químicos plantean riesgos para la salud humana y los ecosistemas, lo que resalta la necesidad de fomentar prácticas agrícolas sostenibles (Brunelle et al., 2024).

Rodríguez Aristizabal & Lugo Ramírez, (2023) destacan la importancia de reducir los insumos químicos y, al mismo tiempo, aumentar la utilización de bioinsumos para mejorar la salud del suelo a largo plazo y restaurar el microbioma del suelo, que es vital para la sostenibilidad. Esta perspectiva es respaldada además por Terry et al., (2001), quienes destacan

que los insumos orgánicos, en particular los inóculos biológicos como los hongos micorrízicos, pueden mejorar significativamente la actividad microbiana, facilitando la disponibilidad y absorción de minerales esenciales en el suelo. El mantenimiento de una mayor diversidad microbiana es crucial para mantener la salud del suelo, contribuyendo de diversas maneras, como la solubilización y fijación de nutrientes, así como la degradación de compuestos químicos (Khatoon et al., 2020).

Del mismo modo, es de gran importancia evaluar las implicaciones financieras de los métodos A y B. Aunque el método B pueda parecer inicialmente más rentable debido a los menores costos de insumos y mano de obra, las consecuencias a largo plazo de la dependencia química podrían traducirse en mayores costos asociados a la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad (Zhou et al., 2025). Por el contrario, aunque el método A requiere una mayor inversión inicial, es probable que con el tiempo produzca ventajas financieras a través de la mejora de los servicios ecosistémicos y la reducción de los costos de la remediación ambiental.

También cabe destacar que el método A mejora el rendimiento de la cosecha de aguacate Hass en términos de kilogramos cosechados, un factor crucial dado que la fruta producida de forma sostenible podría alcanzar un precio de mercado más elevado. Smoluk-Sikorska et al., (2024) informan de que aproximadamente el 14% de los consumidores encuestados están dispuestos a pagar una prima por bienes producidos de forma sostenible u orgánica, lo que podría beneficiar a los productores que adopten el Método A.

Sin embargo, la mayor eficiencia del método B en términos de retorno de la inversión a corto plazo puede ser una propuesta atractiva para los productores que buscan resultados inmediatos, lo que constituye un factor clave en sus procesos de toma de decisiones. Aunque ambos métodos tienen potencial para generar rentabilidad, el Método A ofrece ventajas

cuantitativas más allá de los beneficios financieros inmediatos. A largo plazo, la creciente demanda de productos sostenibles ofrece un mercado prometedor para los productores que adopten este método. Como observan Andrade & Ayaviri, (2018), el mercado de productos orgánicos está en expansión, lo que podría conferir importantes beneficios a los productores que adopten el método A. Esta transición a la producción orgánica no solo mejora el acceso a mercados de alto valor, sino que también genera mayores márgenes de beneficio (Soto, 2020).

A pesar de la larga historia del cultivo de aguacate Hass en Colombia, el cultivo sigue estando en una fase de desarrollo. Existen vacíos de investigación en esta área y se requieren métodos alternativos para promover prácticas agrícolas sostenibles dentro de este cultivo. Este estudio demuestra que los procesos de bioestimulación aún no han sido plenamente reconocidos como estrategias viables para mejorar la rentabilidad del cultivo de aguacate Hass, y que aún se encuentran en etapas tempranas de desarrollo. Futuras investigaciones deberían centrarse en la comparación de la eficacia de igualdad de frecuencias de aplicación de los métodos mencionados, en el análisis de la microbiología del suelo y en el desarrollo de estrategias de marketing en la búsqueda de un mercado del aguacate más limpio. Además, es esencial evaluar el impacto a largo plazo de estos dos métodos sobre el rendimiento del cultivo y la salud del suelo. Este enfoque global de la rentabilidad es especialmente pertinente en el contexto actual de esta agroindustria, en el que cada vez se da más prioridad a las preocupaciones medioambientales.

## Conclusiones

La elección entre el método A (bioestimulación propuesta) y el método B (bioestimulación convencional) depende de los objetivos específicos del mercado. El método A es un enfoque sostenible que aborda los problemas medioambientales y mejora la productividad agrícola. Promueve la resiliencia y es adecuado para los desafíos globales. Por otro lado, el método B prioriza los beneficios financieros inmediatos sobre los costos de producción. Aunque puede ofrecer ganancias a corto plazo, podría dar lugar a menores ingresos por cantidad de fruta recolectada, lo que podría no ser beneficioso a largo plazo. Por lo tanto, la decisión debe considerar tanto las implicaciones financieras inmediatas como la sostenibilidad a largo plazo de las prácticas agrícolas.

Los métodos A y B pone de relieve la importancia de considerar no solo los costos inmediatos, sino también los impactos a largo plazo en la salud del suelo y la sostenibilidad agrícola. El método A, a pesar de su mayor costo, en comparación al método B representa una inversión en la calidad y sostenibilidad que podría ofrecer beneficios significativos en el futuro.

Las investigaciones futuras deben seguir explorando los impactos a largo plazo de ambos métodos, centrándose en optimizar las prácticas sostenibles que pueden mejorar la productividad sin comprometer la integridad ecológica

### Referencias bibliográficas

- Abello, M. J., & Esmeral, A. (2018). Estudio de mercado para mejorar las exportaciones de aguacate Hass colombiano hacia Estados Unidos. In *Energies* (Issue 1).  
<https://repository.cesa.edu.co/handle/10726/2076>
- Andrade, C. M., & Ayaviri, D. (2018). Demanda y Consumo de Productos Orgánicos en el Cantón Riobamba, Ecuador. *Información Tecnológica*, 29(4), 217–226.  
<https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v29n4/0718-0764-infotec-29-04-00217.pdf>
- Barbás, P., Sawicka, B., Pszczółkowski, P., Hameed, T. S., & Farhan, A. K. (2024). Optimization of Potato Cultivation Through the Use of Biostimulator Supporter. *Agronomy*, 14(10), 2430. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY14102430>
- Bernal, J. A. ; D. C. A. (2005). Manual técnico No. 5: Tecnología para el cultivo del Aguacate. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA*, 5, 241.  
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13459>
- Brodthorn, S., Six, J., Feenstra, G., Ingels, C., & Campbell, D. (2011). Sustainable Agriculture. *Education Knowledge*, 3(10), 1.  
<https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/sustainable-agriculture-23562787/>
- Brunelle, T., Chakir, R., Carpentier, A., Dorin, B., Goll, D., Guilpart, N., Maggi, F., Makowski, D., Nesme, T., Roosen, J., & Tang, F. H. M. (2024). Reducing chemical inputs in agriculture requires a system change. *Communications Earth & Environment* 2024 5:1, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01533-1>
- Chaparro, M. C. (n.d.). Aguacate . *Cenicafe*, 163–175. Retrieved September 9, 2023, from <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/828/19/Aguacate.pdf>

CIBOCHEM. (2023). *Bioestimulación: una alternativa eficiente y sostenible para mejorar el rendimiento de los cultivos*. Expoagrofuturo. <https://expoagrofuturo.com/en/blog-articulo/1209/Bioestimulacin-una-alternativa-eficiente-y-sostenible-para-mejorar-el-rendimiento-de-cultivos#:~:text=Bioestimulaci%C3%B3n%3A%20una%20alternativa%20eficiente%20y,%20desarrollo%20de%20las%20plantas>

Cristancho-Pinilla, E. L. L. M. A. P. E. y V. A. (2021). *Proyecto ColombiaMide (2021). Informe ejecutivo: Estudio sobre las necesidades y brechas de calidad en la cadena productiva de aguacate Hass y plan de acción. Antioquia y su zona de influencia*. [https://colombiamide.inm.gov.co/wp-content/uploads/2021/05/Informe-Aguacate-Hass\\_VFinal\\_20210506.pdf](https://colombiamide.inm.gov.co/wp-content/uploads/2021/05/Informe-Aguacate-Hass_VFinal_20210506.pdf)

Cristancho-Pinilla, Edwin; López, Laura; Mojica, Andrea; Pedraza, Erika, Valqui, & Alexis. (2021). Informe ejecutivo: Estudio sobre las necesidades y brechas de calidad en la cadena productiva de aguacate Hass y plan de acción. Antioquia y su zona de influencia. *Proyecto ColombiaMide*. [https://colombiamide.inm.gov.co/wp-content/uploads/2021/05/Informe-Aguacate-Hass\\_VFinal\\_20210506.pdf](https://colombiamide.inm.gov.co/wp-content/uploads/2021/05/Informe-Aguacate-Hass_VFinal_20210506.pdf)

DANE. (2018a). *Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*. [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos\\_ago\\_2018.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_ago_2018.pdf)

DANE. (2018b). *Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*. [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos\\_ago\\_2018.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_ago_2018.pdf)

Díaz Castellanos, R. (2021). El mercado mundial de aguacate: 60 años del liderazgo de México y su impacto en la próxima década. *The Anáhuac Journal*, 21(2).

<https://doi.org/10.36105/theanahuacjour.2021v21n2.01>

EBIC, E. B. I. C. (2019). *Plant biostimulants contribute to climate-smart agriculture*.

<https://biostimulants.eu/issue/plant-biostimulants-contribute-to-climate-smart-agriculture/>

*Ficha técnica aguacate hass*. (n.d.). Litus. Retrieved August 29, 2023, from

[https://connectamericas.com/sites/default/files/company\\_files/FICHA%20T%C3%89CNICA%20AGUACATE%20HASS\\_0.pdf](https://connectamericas.com/sites/default/files/company_files/FICHA%20T%C3%89CNICA%20AGUACATE%20HASS_0.pdf)

García-Mina, J. M., & Hadavi, E. (2016). Editorial: Organic-based foliar biostimulation and nutrition in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6(JAN2016).

<https://doi.org/10.3389/FPLS.2015.01131>

Gómez Sepúlveda, A. C. ; P. B. L. M. (2019). *Análisis de oportunidades para la exportación de aguacate Hass de Colombia a Estados Unidos* [Universidad Santo Tomás].

<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/18459?show=full>

Gómez Sepúlveda, A., & Pinzón Basto, L. (2019). *Análisis de oportunidades para la exportación de aguacate Hass de Colombia a Estados Unidos* [ Universidad Santo Tomás].

<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/18459?show=full>

Guerra Correa, M. C., Chacón Molina, M. del M., & Jaramillo Jaramillo, S. (2021). El mercado del aguacate Hass en Japón: Retos para los exportadores colombianos. *Revista Mundo Asia Pacífico* , 10(18), 86–99.

<https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/map/article/view/7038/5209>

ICA, instituto C. A. (2022). *Aguacate Hass colombiano a un paso de conquistar el mercado chileno*. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-aguacate-hass-colombiano-cerca-chile>

- ICA, I. C. A. (2022, June 6). *Aguacate Hass colombiano a un paso de conquistar el mercado chileno*. ICA, Instituto Colombiano Agropecuario . <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-aguacate-hass-colombiano-cerca-chile>
- Importacol. (n.d.). *Ficha técnica aguacate hass*. Retrieved September 9, 2023, from <https://b2bmarketplace.procolombia.co/sites/default/files/products/ft-aguacate-hass.pdf>
- Khatoon, Z., Huang, S., Rafique, M., Fakhar, A., Kamran, M. A., & Santoyo, G. (2020). Unlocking the potential of plant growth-promoting rhizobacteria on soil health and the sustainability of agricultural systems. *Journal of Environmental Management*, 273, 111118. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.111118>
- Lykogianni, M., Bempelou, E., Karamaouna, F., & Aliferis, K. A. (2021). Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. In *Science of the Total Environment* (Vol. 795, p. 148625). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148625>
- Mandal, S., Anand, U., López-Bucio, J., Radha, Kumar, M., Lal, M. K., Tiwari, R. K., & Dey, A. (2023). Biostimulants and environmental stress mitigation in crops: A novel and emerging approach for agricultural sustainability under climate change. *Environmental Research*, 233, 116357. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116357>
- Manghwar, H., Hussain, A., Ali, Q., & Liu, F. (2022). Brassinosteroids (BRs) Role in Plant Development and Coping with Different Stresses. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 23, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/ijms23031012>
- MinAgricultura. (2022, February 12). *El aguacate Hass colombiano se mantiene como protagonista en el Súper Bowl, el más grande evento deportivo de Estados Unidos* . Colombia Potencia de La Vida . <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El->

aguacate-Hass-colombiano-se-mantiene-como-protagonista-en-el-S%C3%BAper-Bowl,-el-m%C3%A1s-grande-evento-deportivo-de-Estados-Unido.aspx

Minchin, P. E. H., Thorp, T. G., Bolding, H. L., Gould, N., Cooney, J. M., Negm, F. B., Focht, E., Arpaia, M. L., Hu, H., & Brown, P. (2015). A possible mechanism for phloem transport of boron in ‘Hass’ avocado (*Persea americana* Mill.) trees.

*Http://Dx.Doi.Org/10.1080/14620316.2012.11512825*, 87(1), 23–28.

<https://doi.org/10.1080/14620316.2012.11512825>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022a, February 12). *El aguacate Hass colombiano se mantiene como protagonista en el Súper Bowl, el más grande evento deportivo de Estados Unidos - #EsConHechos*.

<https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-aguacate-Hass-colombiano-se-mantiene-como-protagonista-en-el-S%C3%BAper-Bowl,-el-m%C3%A1s-grande-evento-deportivo-de-Estados-Unido.aspx>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022b, February 12). *El aguacate Hass colombiano se mantiene como protagonista en el Súper Bowl, el más grande evento deportivo de Estados Unidos - #EsConHechos*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-aguacate-Hass-colombiano-se-mantiene-como-protagonista-en-el-S%C3%BAper-Bowl,-el-m%C3%A1s-grande-evento-deportivo-de-Estados-Unido.aspx>

Mordor Intelligence. (2024). *Hass Avocado Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029)* Source: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-hass-avocado-market>. Mordor Intelligence.

<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-hass-avocado-market>

- Piotrowska, A., & Bajguz, A. (2011). Conjugates of abscisic acid, brassinosteroids, ethylene, gibberellins, and jasmonates. *Phytochemistry*, *72*(17), 2097–2112.  
<https://doi.org/10.1016/J.PHYTOCHEM.2011.08.012>
- Rodríguez Aristizabal, M. A., & Lugo Ramírez, M. C. (2023). Estado actual del uso de bioinsumos microbianos en Colombia. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, *39*(3), 444–456. <https://doi.org/10.29393/chjaa39-39eamm20039>
- Rojas-Rodríguez, M. L., Ramírez-Gil, J. G., González-Concha, L. F., & Balaguera-López, H. E. (2023). Biostimulants Improve Yield and Quality in Preharvest without Impinging on the Postharvest Quality of Hass Avocado and Mango Fruit: Evaluation under Organic and Traditional Systems. *Agronomy*, *13*(7), 1917.  
<https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13071917/S1>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020a). Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 511937. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.00040/BIBTEX>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020b). Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 511937. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.00040/BIBTEX>
- Roy, D. (2024). Role of Biostimulants towards Sustainable Agriculture: A Review. *Food and Scientific Reports*, *5*(1), 47–52.  
[https://www.researchgate.net/publication/378070858\\_Role\\_of\\_Biostimulants\\_towards\\_Sustainable\\_Agriculture\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/378070858_Role_of_Biostimulants_towards_Sustainable_Agriculture_A_Review)
- Smoluk-Sikorska, J., Śmiglak-Krajewska, M., Rojík, S., & Fulnečková, P. R. (2024). Prices of Organic Food—The Gap between Willingness to Pay and Price Premiums in the Organic Food Market in Poland. *Agriculture*, *14*(1), 17. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010017>

- Soto, G. (2020). El continuo crecimiento de la agricultura orgánica: Orgánico 3.0. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 215–226. <https://doi.org/10.15359/rca.54-1.13>
- Tahat, M. M., Alananbeh, K. M., Othman, Y. A., & Leskovar, D. I. (2020). Soil Health and Sustainable Agriculture. *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 4859, 12(12), 4859. <https://doi.org/10.3390/SU12124859>
- Terry, E., Núñez, M., Pino, M. D. L. A., & Medina, N. (2001). Efectividad de la combinación biofertilizantes-análogo de brasinoesteroides en la nutrición del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Cultivos Tropicales*, 22(2), 59–65. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215009010.pdf>
- Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Issue 3, p. 1112). <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- Valero Valero, N. O., Vergel Castro, C. M., Ustate Morales, Y. E., & Gómez Gómez, L. C. (2021). Bioestimulación de frijol guajiro y su simbiosis con *Rhizobium* por ácidos húmicos y *Bacillus mycoides*. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(2). <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1608>
- Zhou, W., Li, M., & Achal, V. (2025). A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerging Contaminants*, 11(1), 100410. <https://doi.org/10.1016/J.EMCON.2024.100410>