



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

TESIS DE GRADO

Eficacia de los microorganismos de montaña líquidos como alternativa agroecológica frente al uso de fertilizantes sintéticos en el desarrollo del cultivo de café en la finca *El Tesoro*, comunidad *La Estrellita*, II semestre del 2025

Vallejos Montenegro José Gabriel; Blandon Mejia Jonier Aaron

Tutor

MSc. Anielka Chavarría López.

ÁREA DE CONOCIMIENTO

Departamento de ciencia tecnología y salud

¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Área de Conocimiento
Departamento de ciencia tecnología y salud

Recinto Universitario “Rubén Darío”

Nombre de tesis

Eficacia de los microorganismos de montaña líquidos como alternativa agroecológica frente al uso de fertilizantes sintéticos en el desarrollo del cultivo de café en la finca *El Tesoro*, comunidad *La Estrellita*, II semestre del 2025

Tesis para optar al grado de
Ingeniero Agrónomo

Autores

Br. José Gabriel Vallejos Montenegro
Br. Jonier Aaron Blandón Mejía

Tutora

Msc. Anielka Karina Chavarría López



¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!





DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante, por darme fuerzas en los momentos difíciles y por abrirme caminos donde parecía no haber ninguno. Sin Su luz, este logro no habría sido posible.

A mi mamá, cuyo amor, sacrificio y apoyo incondicional han sido el pilar más grande en mi vida. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudé.

A mi esposa, por su paciencia, compañía y motivación diaria. Gracias por caminar a mi lado, por animarme a seguir y por celebrar conmigo cada pequeño avance.

A mi abuelita materna, que desde su cariño y sabiduría ha sido inspiración y refugio. Sus palabras y su ejemplo me han acompañado en cada paso de este camino.

Este logro es de ustedes también.

Br. Jonier Aaron Blandón Mejía

DEDICATORIA

A Dios por permitirme culminar mis estudios, por darme inteligencia y sabiduría, por darme la fuerza de seguir siempre adelante.

A mi madre por apoyarme siempre en cada etapa, especialmente durante toda mi carrera, por darme ánimos y estar siempre pendiente durante todo este tiempo.

A mi padre y mis hermanos por enseñarme muchas cosas que hoy me han servido para mejorar cada día.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi buen padre Dios, por regalarme fortaleza, sabiduría y la oportunidad de culminar esta meta. Su guía ha iluminado cada paso de este proceso.

A nuestra tutora por estar al pendiente y apoyarnos con nuestra investigación, agradecemos profundamente su guía y dedicación.

A la UNAN-Managua y a mis docentes, quienes con su dedicación, conocimientos y orientación han sido fundamentales para mi formación académica y profesional. Gracias por compartir su experiencia y por acompañarme en este proceso educativo.

A todos los que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo, mi más sincero agradecimiento.

CARTA AVAL

En mi calidad de Tutora, por este medio me permito emitir valoración técnica metodológica del trabajo de tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo, realizado por los Egresados **Jonier Aaron Blandón Mejía y José Gabriel Vallejos Montenegro**, bajo el título “Eficacia de microorganismos de montaña líquido y fertilizantes sintéticos en el desarrollo de café en finca El Tesoro, La Estrellita, II semestre 2025”.

Considero que el trabajo desarrollado por **Blandón Mejía y Vallejos Montenegro**, cumple con lo estipulado por la UNAN Managua en el Reglamento de Régimen Académico. Existe coherencia entre su título, planteamiento del problema, sus objetivos, hipótesis, resultados, conclusiones y recomendaciones.

Me siento contenta por su dedicación y esfuerzos para el logro de su investigación. Mis mejores deseos es que continúen cosechando muchos más éxitos a nivel personal y que de esa manera aporten al desarrollo socioeconómico y ambiental de nuestro país. Qué Dios Jehová les bendiga y guíe siempre.



Anielka Karina Chavarría López

Tutora

Resumen

El documento proporciona una visión general de esta investigación la cual esta enfocada en la comparación entre el uso de bioinsumos, específicamente microorganismos de montaña líquidos (MML), y fertilizantes sintéticos en el cultivo de café, específicamente el Bayfolan Forte. La investigación, llevada a cabo en la finca El Tesoro en la comunidad La Estrellita de la ciudad de Matagalpa, tiene como objetivo principal evaluar la eficacia de los MML en la nutrición, crecimiento y productividad del cafeto, contrastándola con el manejo convencional. El estudio está estructurado como un diseño experimental (DBCA) con el propósito de determinar cambios morfológicos y fisiológicos en las plantas, además de realizar un análisis de costos para promover prácticas agrícolas más sostenibles y rentables. La justificación de la investigación se centra en la necesidad de alternativas agroecológicas que reduzcan la dependencia de insumos químicos y mitiguen sus impactos ambientales negativos, ya que estos actualmente presentan altos costos y los productores tienen altas dependencias sobre estos productos. El marco teórico aborda temas relevantes como la morfología del cafeto, el origen y la importancia económica del café, y los riesgos asociados al uso prolongado de fertilizantes químicos. Por último se muestran los resultados estadísticos de la información que fueron procesados por medio de la app Infostat.

INDICE

1. Introducción	16
2. Antecedentes	17
3. Planteamiento del problema	20
4. Justificación	22
5. Objetivos	24
Objetivo general	24
Objetivos específicos	24
6. Hipótesis	25
General	25
Alternativa	25
7. Limitaciones	26
8. Contexto de la investigación	27
9. Marco teórico	28
9.1 Origen	28
9.2 Importancia para el país	28
9.3 Variedades de café	28
9.4 Café Mara caturra	29
9.5 Características	29
9.6 Taza	29
9.7 Adaptación	29
9.8 Índice de área foliar	29
9.9 Clorofila	30
10. Biomasa	30
10.1 Proceso de producción	30
10.2 Fertilización	31
10.3 Fertilización química	32
10.4 Fertilización orgánica	32
10.5 Fertilizantes químicos más usados en café	33

10.6 Urea.....	33
10.8 Limitaciones y riesgos del uso prolongado de fertilizantes químicos (impacto ambiental, dependencia externa, costos).....	35
10.9 Microorganismos benéficos.....	37
11. Uso de plaguicidas y fertilizantes químicos.....	38
12. Diseño metodológico.....	40
12.1 Tipo de diseño mixto.....	42
12.2 Tipo de investigación	42
12.3 Población y muestra	42
12.4 Operacionalización de variables.....	44
12.4.1 Altura de plantas	46
12.4.2 Grosor del tallo.....	46
12.4.3 Numero de hojas.....	46
12.5 Confiabilidad y validez de los instrumentos.....	46
12.5.1 Confiabilidad	47
12.5.2 Validez	47
12.6 Tecnicas, instrumentos y procedimiento para el procesaminto y análisis de la información	48
12.7 Criterios de calidad	49
12.8 Ubicación geografica del estudio	50
13. Analisis y discusión de resultados	51
Análisis estadístico de la variable frutos	66
14. Conclusiones.....	80
15. Recomendaciones.....	82
16. Bibliografias consultadas.....	83
Anexos	86

Indice de tablas

TABLA 1 DATOS EDAFOCLIMATICOS DE LA FINCA	40
TABLA 2 DISEÑO DE BLOQUES COMPLETAMENTE AL AZAR (DBCA)	41
TABLA 3 VARIABLES	44
TABLA 4 ANALISIS DE VARIANZA (ALTURA)	52
TABLA 5 ANALISIS DE LA VARIANZA (SC TIPO 3)	52
TABLA 6 TEST DE TUKEY	53
TABLA 7 TEST: TUKEY ALFA	53
TABLA 8 LEVANTAMIENTO DE DATOS PARA ALTURA DE PLANTAS EN CAFÉ	55
TABLA 9 ANALISIS DE VARIANZA DE LA VARIABLE DIAMETRO	56
TABLA 10 CUADRO DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA (SC TIPO III)	56
TABLA 11 TEST: TUKEY ALFA=0.05 DMS=3.80533	57
TABLA 12 TEST: TUKEY ALFA=0.05 DMS=2.99604	57
TABLA 13 DIAMETRO DEL TALLO EN PLANTAS DE CAFÉ	59
TABLA 14 ANALISIS DE LA VARIANZA VARIABLE VIGOR	60
TABLA 15 CUADRO DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA (SC TIPO III)	60
TABLA 16 TEST: TUKEY ALFA=0.05 DMS=0.68572	61
TABLA 17 TEST: TUKEY ALFA=0.05 DMS=0.53989	61
TABLA 18 CLASIFICACIÓN VISUAL DEL VIGOR EN LAS PLANTAS DE CAFÉ	63
TABLA 19 ANALISIS DE LA VARIANZA DE LA VARIABLE FRUTOS	65
TABLA 20 CUADRO DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA (SC TIPO III)	65
TABLA 21 TEST: TUKEY ALFA=0.05 DMS=934.14304	66
TABLA 22 TEST: TUKEY ALFA=0.05 DMS=735.47657	66
TABLA 23 NUMERO DE FRUTOS CALCULADO POR PROMEDIO EN PLANTAS DE CAFÉ EVALUADAS	68
TABLA 24 ANALISIS DE LA VARIANZA DE LA VARIABLE PESO DE FRUTOS	69
TABLA 25 CUADRO DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA (SC TIPO III)	69
TABLA 26 TEST: TUKEY ALFA=0.05 DMS=1.44796	70
TABLA 27 TEST: TUKEY ALFA=0.05 DMS=1.14002	70
TABLA 28 PROMEDIO DE PESO DE FRUTOS EN PLANTAS DE CAFÉ	72
TABLA 29 ANALISIS DE LA VARIANZA DE LA VARIABLE HOJAS	73

TABLA 30 CUADRO DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA (SC TIPO III)	73
TABLA 31 TEST:TUKEY ALFA=0.05 DMS=690.32192	74
TABLA 32 TEST:TUKEY ALFA=0.05 DMS=543.50948	74
TABLA 33 NUMERO DE HOJAS EN PLANTAS DE CAFÉ	76
TABLA 34 COSTOS	77
TABLA 35 COSTOS	78

Indice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1 GRAFICO DE BARRA DE LA VARIABLE ALTURA	52
ILUSTRACIÓN 2 GRAFICO DE BARRA DE LA VARIABLE DIAMETRO	56
ILUSTRACIÓN 3 GRAFICO DE BARRA DE LA VARIABLE VIGOR	60
ILUSTRACIÓN 4 GRAFICO DE BARRA DE LA VARIABLE FRUTOS	65
ILUSTRACIÓN 5 GRAFICO DE BARRA DE VARIABLE PESO DE FRUTOS	69
ILUSTRACIÓN 6 GRAFICO DE BARRA DE LA VARIABLE HOJAS	73
ILUSTRACIÓN 7 FINCA EL TESORO	86
ILUSTRACIÓN 8 CAFÉ MARACATURRA.....	86
ILUSTRACIÓN 9 MAPA DE LA FINCA EL TESORO	87
ILUSTRACIÓN 10 HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS	87
ILUSTRACIÓN 11 DELIMITACIÓN DEL DISEÑO DBCA.....	88
ILUSTRACIÓN 12 BASCULA PARA PESO DE GRANOS.....	88
ILUSTRACIÓN 13 APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	89

1. Introducción

El documento muestra una alternativa sostenible a lo que viene siendo la fertilización sintética, los productores de café en Nicaragua enfrentan un reto en cuanto a los fertilizantes y es su alto costo y la dependencia de los mismos. Los microorganismo de montaña líquidos son una buena opción para los pequeños productores que quieran implementar en sus fincas una transición a la agroecología y hacer uso de productos mas amigables con el medio ambiente.

Esta investigación fue realizada en la finca El Tesoro del productor Angel Tito Lopez Gonzales, ubicada en la comunidad la Estrellita del departamento de Matagalpa. La investigación tiene como objetivo evaluar la eficacia de los microorganismos de montaña líquidos en la nutrición y crecimiento de las plantas de café, haciendo una comparativa con los productos convencionales en este caso el Bayfolan Forte.

El diseño usado para esta investigación es un DBCA, en donde el metodo de muestreo se realizo por conveniencia ya que se tomaron en cuenta las plantas con condiciones similares en tamaño, grosor de tallo y otras características, esto para obtener mejores resultados y observar los cambios que hay en estas.

Como tratamientos se utilizaron Bayfolan Forte en dosis de 30 cc por 20 litros de agua, microorganismos de montaña líquidos en una dosis de 1 litro por 19 de agua, ambos se aplicaron de manera foliar con intervalos de 15 días.

Esto busca responder a la problemática de como influye la aplicación de bioinsumos en la nutrición, crecimiento y productividad del cultivo de café.

En la finca El Tesoro, se ha identificado que uno de los principales retos en la producción de café es el manejo de la nutrición del cultivo. Aunque la zona cuenta con suelos fértiles y condiciones climáticas favorables, el cafeto muchas veces no recibe los nutrientes de forma balanceada, lo que provoca limitaciones en el crecimiento de la planta, baja productividad y, en algunos casos, problemas de calidad en el grano.

A esto se suma que el uso inadecuado de fertilizantes o la falta de prácticas sostenibles puede afectar la fertilidad del suelo a largo plazo.

2. Antecedentes

En Guatemala Navarro (2024) realizó la investigación para conocer aspectos básicos de microbiología, como crear un entorno ideal para mantener y multiplicar los microorganismos. Así como su forma de utilizarlos en beneficio del desarrollo y sustentabilidad de la producción cafetalera.

Los beneficios esperados de la reproducción y aplicación de los microorganismos en la unidad productiva cafetalera son los siguientes: Los microorganismos van a contribuir a la diversidad y abundancia de especies, para fomentar el equilibrio en el ecosistema y fortalecimiento natural del mismo.

Con estas aplicaciones se promueve la restauración de las condiciones físicoquímicas y microbiológicas del suelo y se aceleran los procesos de descomposición de la materia orgánica y mineralización de diferentes elementos.

Otra función de los microorganismos aplicados es la bioremediación de suelos contaminados con agroquímicos, estos microorganismos favorecen la captura de CO₂, activan el crecimiento radicular debido a la producción de ácidos orgánicos, hormonas vegetales, vitaminas, antibióticos y polisacáridos, que tienen positiva influencia directa e indirecta sobre el crecimiento de las plantas.

Algunas bacterias que se encuentran en estos ayudan al proceso de mineralización de los compuestos orgánicos, por lo que utilizado en conjunto con la fertilización ayudará a aprovechar y disminuir incluso, el empleo de fertilizantes sintéticos.

Urgiles (2023) citando a Guzmán-Guzmán et al menciona que:

Trichoderma es un género de hongos del suelo distribuido en todo el planeta y que abarca algunas especies utilizadas frecuentemente como agentes de biocontrol, Se encuentra de manera natural en diferentes zonas y hábitats, especialmente donde existe materia orgánica o desechos vegetales en descomposición y son utilizados frecuentemente como bio controlador de microorganismos fito patógenos del suelo como Pythium y Fusarium y para el control de nematodos.

Trichoderma se clasifica como un hongo promotor del crecimiento vegetal, debido a que producen la enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) desaminasa y algunas fitohormonas (Tyskiewicz et al., 2022).

Medina y Lizcano (2024) realizaron una investigación en Colombia que tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos de montaña (MM) en la producción de plántulas de café donde se utilizaron dos viveros (A y B) con aplicaciones de tratamientos semanales y quincenales. Se midió la altura de las plantas, la longitud de las hojas y raíces, así como el contenido de materia seca (MS).

Los resultados mostraron que el Vivero A, con tratamientos semanales, tuvo un mayor crecimiento en altura y longitud de hojas en comparación con el Vivero B. En la primera medición, el Vivero A acumuló más MS foliar que el Vivero B. Sin embargo, a medida que avanzaba el tiempo, ambos viveros experimentaron una disminución en el MS.

En la longitud de las raíces, se observó variabilidad en ambos viveros a lo largo de las mediciones. Los tratamientos con MM de bosque y café en el Vivero A mostraron una mayor acumulación de MS foliar en la primera medición. En conclusión, la aplicación de MM, especialmente con mayor frecuencia, promovió el crecimiento de las plántulas de café.

Laruta y Maldonado (2021) mencionan que los microorganismos de origen natural son eficientes debido a que presentan poblaciones de bacterias ácido lácticas, bacterias fototróficas, levaduras, actinomicetos y hongos de fermentación, son considerados benéficos por mejorar las fertilidad física, química y biológica de suelos, creando de esta manera un ambiente favorable para la planta.

La investigación se realizó en Bolivia para evaluar la eficiencia de un producto comercial Microorganismos Eficientes (EM•1®) y Microorganismos de Montaña (MM) preparados artesanalmente y sus respuestas a diferentes concentraciones, en el comportamiento agro morfológico de plantines de café, en el sustrato y en rentabilidad en la etapa de vivero.

El uso de MM locales presenta mayor rentabilidad que el producto comercial EM•1®, considerando las respuestas del T₅ tratándose de un producto local.

Tal como describe Cortegaza (2010) un estudio sobre la efectividad del fertilizante foliar Bayfolán Forte en la caña de azúcar, demostrando que su aplicación, combinada con un 50%

del fertilizante químico recomendado, mejora los rendimientos agrícolas y económicos sin afectar la calidad del jugo, lo que indica una mayor eficiencia en el uso de nutrientes.

Se deduce que el Bayfolán Forte puede reducir la dependencia de fertilizantes químicos, favoreciendo una producción más sostenible y rentable, y que las variaciones de resultados entre provincias pueden deberse a diferencias en las condiciones del suelo o clima.

El estudio evidencia la viabilidad del uso de bioestimulantes en la agricultura moderna, aunque carece de información detallada sobre los métodos estadísticos y las condiciones específicas de cada zona, lo que limita la generalización de los resultados; aun así, resalta la importancia de continuar investigando este tipo de alternativas que contribuyen al desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles y económicamente eficientes.

3. Planteamiento del problema

Según Anacafe (2025) es importante mantener o aumentar los contenidos de materia orgánica y nutrientes en el suelo para que las deficiencias (o excesos), debido a la naturaleza del material parental, al clima y al uso y manejo se corrijan, de acuerdo con las exigencias de los cultivos y la potencialidad de la productividad del sitio.

Uncafediferente (2023) menciona que expertos en agricultura aseguran que el mejor abono para el café es aquel que contiene una mezcla de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio.

El nitrógeno es fundamental para el crecimiento de las hojas del café, mientras que el fósforo ayuda a desarrollar las raíces y el potasio contribuye a mejorar la resistencia de la planta a enfermedades y plagas. Por ello, es importante que el abono contenga una proporción adecuada de estos elementos.

Además, algunos expertos recomiendan utilizar abonos orgánicos como el compost o el estiércol, ya que estos no solo proporcionan nutrientes esenciales, sino que también mejoran la calidad del suelo y reducen la erosión.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la cantidad de abono que se utiliza. Es necesario encontrar un equilibrio para no sobrecargar el suelo y evitar problemas como la contaminación de las aguas subterráneas.

La nutrición del cultivo de café en Matagalpa juega un papel fundamental para mantener la productividad y la calidad que caracteriza a esta región cafetalera de Nicaragua. El suelo de la zona, en su mayoría de origen volcánico y con buenas condiciones de fertilidad, ofrece una base importante de nutrientes, pero las exigencias del cafeto y la extracción constante de minerales durante las cosechas hacen necesario un manejo adecuado.

En la finca El Tesoro, ubicada en el departamento de Matagalpa, comunidad La Estrellita, se ha identificado que uno de los principales retos en la producción de café es el manejo de la nutrición del cultivo. Aunque la zona cuenta con suelos fértiles y condiciones climáticas favorables, el cafeto muchas veces no recibe los nutrientes de forma balanceada, lo que provoca limitaciones en el crecimiento de la planta, baja productividad y, en algunos casos,

problemas de calidad en el grano. A esto se suma que el uso inadecuado de fertilizantes o la falta de prácticas sostenibles puede afectar la fertilidad del suelo a largo plazo.

Los bioinsumos aportan una gran diversidad de microorganismos benéficos que activan la vida del suelo, aceleran la descomposición de materia orgánica y liberan nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, que son fundamentales para el desarrollo del cafeto. Su aplicación foliar y al suelo mejora la absorción de nutrientes, fortalece el sistema radicular.

¿De qué manera la aplicación de bioinsumos influye en la nutrición, crecimiento y productividad del cultivo de café en la finca El Tesoro, ubicada en la comunidad La Estrellita, Matagalpa?

4. Justificación

En el presente trabajo de investigación se aborda la relevancia del uso de productos orgánicos dentro del manejo agroecológico, específicamente el bio preparado a base de microorganismos de montaña líquidos (MML) combinados con leguminosas y activados con melaza. Este tipo de bioinsumo se ha consolidado como una alternativa biotecnológica sustentable para mejorar la fertilidad del suelo, incrementar la disponibilidad de nutrientes y fortalecer la fisiología de las plantas de café, contribuyendo al equilibrio ecológico del agroecosistema.

Para los futuros ingenieros agrónomos, la generación de investigaciones orientadas a la aplicación y evaluación de estos bioinsumos reviste gran importancia, ya que permite validar experimentalmente su efectividad agronómica y económica en condiciones reales de campo. Al mismo tiempo, dichas investigaciones posibilitan la transferencia de conocimientos hacia los productores locales, fomentando prácticas agrícolas sostenibles y el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles en la finca.

Los microorganismos de montaña líquidos desempeñan un papel esencial en la activación biológica del suelo, al promover el desarrollo de microorganismos benéficos, incrementar la descomposición de la materia orgánica y optimizar la absorción de nutrientes por las raíces. Diversos estudios señalan que el uso de biofermentos como el biol reduce la dependencia de insumos químicos, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y contribuye a la mitigación de impactos ambientales asociados con el uso intensivo de fertilizantes sintéticos (FAO, 2021). Además, su producción local representa una opción de bajo costo y alta viabilidad económica, especialmente en sistemas de producción familiar o de pequeña escala, donde el acceso a fertilizantes industriales suele ser limitado.

La nutrición del cafeto constituye un aspecto determinante para la productividad del cultivo, ya que una planta adecuadamente nutrida presenta mayor tolerancia a plagas, enfermedades y variaciones climáticas. Por ello, la implementación de vióles enriquecidos con microorganismos de montaña se considera una herramienta eficaz para fortalecer la sostenibilidad de los sistemas cafetaleros, mejorar la calidad del suelo y asegurar una producción más resiliente ante los retos del cambio climático.

En síntesis, esta investigación busca aportar evidencia técnica y científica que respalde el uso de bioinsumos orgánicos como estrategia para optimizar la nutrición del cafeto y reducir los costos de producción, promoviendo simultáneamente la conservación del medio ambiente y el bienestar económico de los productores rurales.

5. Objetivos

Objetivo general

- Evaluar la eficacia de los microorganismos de montaña líquidos como alternativa agroecológica frente al uso de fertilizantes sintéticos en el desarrollo del cultivo de café en la finca El Tesoro, comunidad La Estrellita, durante el II semestre del 2025.

Objetivos específicos

- Implementar el uso de microorganismos de montaña líquidos como tratamiento agroecológico en el cultivo de café.
- Determinar los cambios morfológicos y fisiológicos en las plantas de café derivados de la aplicación de microorganismos de montaña líquidos en comparación con fertilizantes sintéticos.
- Analizar el costo de producción y aplicación de los fertilizantes orgánicos a base de microorganismos de montaña líquidos en comparación con los fertilizantes sintéticos utilizados en el cultivo de café.

6. Hipótesis

General

- H₁: La implementación de microorganismos de montaña líquidos mejora de manera significativa el desarrollo del cultivo de café en comparación con los tratamientos convencionales.
- H₀: La implementación de microorganismos de montaña líquidos no presenta diferencias significativas en el desarrollo del cultivo de café respecto a los tratamientos convencionales.

Alternativa

- H₁: La aplicación de microorganismos de montaña líquidos produce cambios morfológicos y fisiológicos favorables en las plantas de café frente a los fertilizantes sintéticos.
- H₀: La aplicación de microorganismos de montaña líquidos no genera cambios morfológicos ni fisiológicos significativos en las plantas de café en comparación con los fertilizantes sintéticos.
- H₁: Los microorganismos de montaña líquidos influyen positivamente en los parámetros agronómicos del café (altura, diámetro del tallo, número de hojas y vigor) en comparación con los fertilizantes sintéticos.
- H₀: No existen diferencias significativas en los parámetros agronómicos del café entre los tratamientos con microorganismos de montaña líquidos y fertilizantes sintéticos.
- H₁: El uso de microorganismos de montaña líquidos reduce significativamente el costo de producción y aplicación en comparación con los fertilizantes sintéticos.
- H₀: No existen diferencias significativas en el costo de producción y aplicación entre los fertilizantes orgánicos con microorganismos de montaña líquidos y los fertilizantes sintéticos.

7. Limitaciones

La corta distancia entre planta y planta dificultó tanto la aplicación de los tratamientos como la toma de datos, especialmente en mediciones de altura, diámetro del tallo y conteo de hojas. Esta condición también afectó la uniformidad de la distribución de los insumos aplicados con el pulverizador de mochila.

Por otro lado, la limitada disponibilidad de insumos y recursos financieros restringió la posibilidad de mantener una frecuencia constante en las aplicaciones y redujo el acceso a herramientas de medición más exactas, lo cual pudo influir en la precisión de los datos obtenidos.

Asimismo, se evidenció una alta densidad de sombra en el área experimental (aproximadamente un 60%), lo que ocasionó menor entrada de luz solar y un crecimiento más lento de las plantas.

8. Contexto de la investigación

La investigación se desarrolló en la finca El Tesoro, ubicada en la comunidad Las Escaleras #1, municipio de Matagalpa. La unidad productiva cuenta con una extensión aproximada de 3 manzanas; de estas, 2.5 manzanas se encuentran establecidas con plantaciones de café y 0.5 manzanas están destinadas a árboles forestales, cítricos y áreas de infraestructura y fuentes hídricas. El cultivo estudiado corresponde a la variedad Caturra Estrella, con una edad promedio de cuatro años, y presenta como problema principal una baja densidad foliar y síntomas de deficiencias nutricionales evidentes en varias plantas.

Ante esta situación, y con la finalidad de mejorar la productividad y la sostenibilidad del cultivo, se plantea como alternativa la aplicación de insumos orgánicos basados en microorganismos de montaña líquidos, frente al manejo tradicional con fertilizantes sintéticos. La práctica de aplicar microorganismos ha sido implementada en forma experimental por estudiantes de agronomía en campañas previas, buscando no solo mejorar el estado nutritivo y fisiológico de las plantas, sino también evaluar la viabilidad económica de esta alternativa para el productor.

El presente estudio busca, por tanto, (1) implementar y estandarizar el uso de microorganismos de montaña líquidos como tratamiento agroecológico en el cafetal, (2) determinar los cambios morfológicos y fisiológicos en las plantas derivados de su aplicación en comparación con fertilizantes sintéticos, (3) comparar efectos en parámetros agronómicos clave (altura, diámetro del tallo, número de hojas, vigor, entre otros) y (4) analizar el costo de producción y aplicación de estos fertilizantes orgánicos respecto a los fertilizantes sintéticos actualmente utilizados. Estas acciones pretenden contribuir tanto a la sostenibilidad agronómica como a la economía del productor, optimizando recursos y reduciendo dependencias de insumos químicos costosos.

9. Marco teórico

9.1 Origen

Según Redacción National Geographic (2025) se cree que el café fue identificado por primera vez en África, más precisamente en la región donde hoy se encuentra Etiopía, señala un artículo sobre el tema publicado en el sitio web de la Asociación Brasileña de la Industria del Café (ABIC).

“Las plantas de café silvestres, probablemente de Kaffa, en Etiopía, fueron trasladadas al sur de Arabia y cultivadas en el siglo XV”, explica Britannica. “La popularidad del café en el mundo árabe llevó a la creación de cafeterías, primero en La Meca y luego en Constantinopla, en los siglos XV y XVI respectivamente. A continuación, se introdujo en los países europeos, uno tras otro, a lo largo de los siglos XVI y XVII”.

9.2 Importancia para el país

El Diario Nica (2025) menciona que el café sigue siendo uno de los principales rubros exportables de Nicaragua y un pilar fundamental para su economía, no solo por su contribución en términos de divisas, sino también por su capacidad para generar importantes fuentes de empleo a lo largo de todo el ciclo productivo, desde el cultivo hasta el procesamiento del grano.

Según el último informe del Ministerio Agropecuario (MAG), al 10 de enero de 2025, los beneficios secos reportan un acopio de 1.55 millones de quintales de pergamino oreado, lo que equivale a aproximadamente 838,477 quintales oro. Esta cifra corresponde a la cosecha cafetalera del ciclo 2024/2025, lo que refleja la continuidad y estabilidad del sector en Nicaragua, a pesar de los retos globales.

9.3 Variedades de café

Cafemalist (2025) menciona que Nicaragua se caracteriza por producir café de la variedad Caturra, que es la que tiene mayor cantidad de ejemplares en los distintos cafetales de Nicaragua.

Por otra parte, también existe la variedad de café Bourbon. Esta variedad es popular gracias a que sus granos de café presentan sabores suaves con tonos de vainilla, peras y chocolate.

A su vez, Nicaragua presenta otras variedades de café menos comunes, tales como la Pacamara, Maragogype, Caturra, Catimor, Rojo, Maracaturra, Catuia Amarillo y Rojo.

9.4 Café Mara caturra

Según Primero Café (2025) El Mara caturra es un híbrido entre las variedades de Maragogype y Caturra. Entre sus virtudes destaca su exquisito perfil en taza y su productividad, pero tiene como desventaja ser poco resistente a la roya.

Se cree que esta mutación natural ocurrió a finales del siglo XX en Nicaragua, aunque esta variedad también se puede encontrar en Brasil y El Salvador.

9.5 Características

Se caracteriza por tener granos y hojas de gran tamaño con bordes lisos y ondulados, de color verde oscuro. Heredó los sabores y su alto rendimiento del Caturra, además tiene baja estatura y abundante follaje que lo hacen resistente a los daños producidos por el viento.

9.6 Taza

En taza presenta buena acidez, buen cuerpo, con notas a frutas tropicales, herbales, a dulces de caramelo y cítricos, como la mandarina. Su calidad ha llevado al Mara caturra a figurar en más de una ocasión entre los mejores cinco cafés del concurso Taza de la Excelencia en Nicaragua.

9.7 Adaptación

El Mara caturra tiene mejor adaptación cuando se cultiva a gran altitud, entre 1,000 y 1,500 metros sobre el nivel mar, con una precipitación anual de 2,000 a 3,000 milímetros.

Esta variedad de Arábica de porte bajo es susceptible a la roya del café y, por lo tanto, requiere un alto nivel de mantenimiento. En cambio, muestra cierta tolerancia a la sequía.

9.8 Índice de área foliar

Así mismo la Academia Lab (2025) el índice de área foliar (LAI) es una cantidad adimensional que caracteriza las copas de las plantas. Se define como el área de hoja verde unilateral por unidad de superficie de suelo ($LAI = \text{área de hoja} / \text{área de suelo}$, m^2 / m^2) en marquesinas de hoja ancha.

9.9 Clorofila

Por tanto, Gelambi (2023) menciona que la clorofila es un pigmento biológico, una molécula capaz de absorber la luz. Esta molécula absorbe la longitud de onda correspondiente al color violeta, azul y rojo, y refleja la luz de color verde. Por ello, la presencia de clorofila es la responsable del color verde de las plantas.

Su estructura consiste en un anillo de porfirina con un centro de magnesio y una cola hidrofóbica, llamada fitol. Es menester resaltar la similitud estructural de la clorofila con la molécula de hemoglobina.

La clorofila se localiza en los tilacoides, estructuras membranosas ubicadas en el interior de los cloroplastos. Los cloroplastos son abundantes en las hojas y demás estructuras de las plantas.

La función principal de la clorofila es captar luz que usará para propulsar las reacciones fotosintéticas. Existen diferentes tipos de clorofila la más común es la que difieren ligeramente en su estructura y en su pico de absorción, con el fin de incrementar la cantidad de luz solar absorbida.

10. Biomasa

Icebook (2024) relata que la biomasa es cualquier tipo de materia orgánica de origen vegetal o animal que se utiliza para producir energía. Esto incluye desde residuos agrícolas, forestales y residuos industriales hasta restos orgánicos generados en ciudades y granjas. La biomasa es considerada una fuente de energía renovable porque la materia orgánica puede regenerarse de forma natural y continua.

10.1 Proceso de producción

Arabo (2025) menciona el proceso de producción del café que se caracteriza por un conjunto de etapas que consiguen obtener una de las bebidas más consumidas hoy en día. Se trata de un proceso complejo que requiere gran dedicación y experiencia para conseguir una calidad excepcional y sin igual.

El proceso más común de producción suele dividirse en etapas diferentes que se inician con la obtención de frutos de cafeto, que es la planta de la que se obtiene esta infusión. Proviene de la familia de las conocidas rubiáceas y puede ser de diferentes tipos, aunque la arábica y

la robusta cubren un 98% de la producción. Existe un tercer tipo con una producción muy residual, conocido como café libérica. Cada variedad presenta diferentes características que la hacen peculiar y única.

Es la primera etapa y más importante para producir café, ya que marca el inicio del ciclo que va de la siembra de la semilla hasta el crecimiento de la planta. Se puede realizar la plantación al sol o a la sombra, en función de las necesidades. Una vez plantado el cafeto, deberemos esperar entre 3 y 4 años para producir la primera cosecha. Posteriormente, cada planta vivirá aproximadamente 20 años.

La cosecha del se produce de forma anual cuando las cerezas del café alcanzan la maduración. Existen dos formas métodos para realizarla.

Picking: es el proceso que se efectúa de forma manual y en plena fase de madurez, dejando aquellas plantas que aún se encuentran verdes.

Stripping: es el proceso que se efectúa de forma industrial, es decir, mecánica. En este caso, las bayas que se recogen presentan diferentes grados de maduración, por lo que se deberá efectuar una revisión posterior de aquellas que no han alcanzado la madurez.

Una vez terminada la cosecha, se secan los granos mediante una técnica húmeda o seca, en función del gusto que queramos obtener. Posteriormente, se eliminan todos los residuos y se procede a quitar las capas que envuelven los granos de café, para obtener el café limpio o verde. Una vez finalizado el proceso, se clasifica el producto obtenido mediante diferentes criterios.

10.2 Fertilización

La fertilización en el cultivo de café es una práctica clave para asegurar un crecimiento saludable y una producción de alta calidad.

La fertilización del café juega un papel crucial en el cultivo de esta preciada planta. Es a través de una adecuada fertilización donde se define en gran medida tanto la calidad física del grano como las características sensoriales que disfrutamos en cada taza.

La nutrición adecuada es fundamental para el crecimiento y desarrollo óptimo del café. Sin los nutrientes esenciales, la planta puede experimentar un crecimiento lento, una baja

producción de café y una calidad inferior en los granos. Es importante proporcionar los nutrientes necesarios a través de fertilizantes y prácticas agrícolas adecuadas.

Si el café no recibe los nutrientes adecuados, puede presentar signos de deficiencia. Algunos de estos signos incluyen hojas amarillentas, tallos débiles, floración deficiente y una baja producción de frutos. Es importante monitorear de cerca la nutrición del café y corregir cualquier deficiencia lo antes posible.

10.3 Fertilización química

Sin embargo, Axayacalt (2025) relata que los fertilizantes químicos han sido fundamentales en la agricultura moderna desde su introducción a mediados del siglo XIX. Estos productos, que incluyen compuestos nitrogenados, fosfatados y potásicos, han revolucionado la producción agrícola al proporcionar nutrientes esenciales para las plantas, mejorando así el rendimiento de los cultivos.

Los fertilizantes químicos, como agroquímicos fundamentales en la agricultura, desempeñan un papel crucial al proporcionar nutrientes esenciales para los cultivos.

Estos productos, que contienen compuestos nitrogenados, fosfatados y potásicos, contribuyen a mejorar el rendimiento de los cultivos al estimular su crecimiento y desarrollo.

Al suministrar nutrientes específicos a las plantas, los fertilizantes químicos ayudan a corregir deficiencias nutricionales en el suelo y, por lo tanto, aumentan la producción agrícola.

10.4 Fertilización orgánica

Gonzales (2024) proporciona que la fertilización orgánica se basa en el uso de materiales naturales como abonos animales, compost, residuos de cultivos y otras fuentes biológicas para mejorar la calidad del suelo y nutrir las plantas.

Este enfoque se distingue de la fertilización inorgánica, que utiliza fertilizantes sintéticos producidos químicamente. Mientras que los fertilizantes inorgánicos pueden ofrecer resultados rápidos, a menudo tienen efectos negativos a largo plazo en la salud del suelo y del medio ambiente.

En contraste, la fertilización orgánica promueve un enfoque más sostenible y respetuoso con el medio ambiente, alineándose con los ciclos naturales de los ecosistemas agrícolas.

10.5 Fertilizantes químicos más usados en café

Los fertilizantes más utilizados en el cultivo de café son aquellos que aportan nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), combinados con elementos secundarios y micronutrientes según las necesidades del cultivo.

10.6 Urea

Además, Axayacalt (2025) afirma que la urea es uno de los fertilizantes nitrogenados más utilizados en la agricultura. Su alta concentración de nitrógeno, alrededor del 46%, la convierte en una fuente eficiente y económica para suplir las necesidades de este nutriente esencial en una amplia variedad de cultivos.

El nitrógeno es clave para el crecimiento vegetativo de las plantas, ya que promueve la formación de hojas y tallos más verdes y vigorosos, aumentando la capacidad fotosintética y, por ende, el rendimiento final.

10.7 Morfología

Equipo Mundo Cafeto (2023) menciona que el cafeto, también denominado *coffea*, es un arbusto silvestre perteneciente a la familia de plantas Rubiáceas, originaria del sur del continente asiático y de África subtropical.

Su raíz principal crece verticalmente, llegando hasta una profundidad de 50 centímetros en suelos aptos. A partir de ella, crecen raíces gruesas horizontales que sirven de soporte a raíces absorbentes más delgadas. La raíz es muy importante, pues además de dar soporte y estabilidad a la planta, la provee de agua y de los nutrientes necesarios para su desarrollo y crecimiento, tomándolos del suelo.

Su tronco o tallo es recto, y de él se desprenden las ramas primarias, secundarias y terciarias. En los nudos del tallo se encuentran varios tipos de yemas; unas originan ramas principales, otras son chupones de donde crecen tallos secundarios y otras dan flores y frutos.

Sus hojas; con forma elíptica, son verdes durante todo el año. Son las responsables de la fotosíntesis, transpiración y respiración de la planta; por ello es importante que las hojas del cafeto sean abundantes y sanas. Con la aplicación de fertilizantes, la realización de podas, control de malezas y la regulación de la luz en el cafetal se consigue aumentar en crecimiento de ramas y hojas.

El cafeto da flores olorosas, de color blanco o rosáceo, siendo estas el órgano reproductivo de la planta. Su fecundación ocurre con la unión del polen y el óvulo. En algunas especies hermafroditas como la arábica se da la auto fertilización; mientras que en otras como la robusta, es necesaria la intervención de insectos para su polinización. Aparecen en los nudos de las ramas y su formación es un proceso que dura entre cuatro y cinco meses, en el que se dan ciertas etapas como: Iniciación floral y diferenciación, período de latencia corto, renovación rápida del crecimiento del botón floral y la apertura de las yemas.

La culminación del proceso depende de la suspensión del periodo de latencia; el cual se da por la aparición de la lluvia después de un periodo de sequía. Esto se conoce como estrés hídrico, en el que el cafeto ante un período de verano ve reducidas sus funciones vitales y a la llegada de las lluvias entra en floración.

Según Mi Cultivo Con Bayer (2025) Bayfolan® Forte es un fertilizante foliar completamente soluble con todos los nutrientes minerales esenciales que complementan la fertilización al suelo, para el manejo de cultivos como frutales, solanáceas, cucurbitáceas, cítricos, cacao, nogal, vid, coles, soya, maíz, sorgo, ornamentales y viveros en condiciones de estrés, aumentando la cantidad y calidad de las cosechas.

Beneficios

- Fórmula completa y balanceada con elevado contenido de nutrimentos, que puede aplicarse en cualquier etapa del cultivo.
- Las plantas aprovechan los nutrientes de 10 a 20 veces más.
- Totalmente soluble y sin taponamientos en las boquillas.
- Resuelve deficiencias en regiones con aguas duras.
- Con humectante y adherente para un mejor contacto y penetración en las hojas.
- Absorción rápida y total para una reacción inmediata.
- Compatible con insecticidas y fungicidas.
- Aprovechamiento total y ahorro en el gasto de aplicación.

10.8 Limitaciones y riesgos del uso prolongado de fertilizantes químicos (impacto ambiental, dependencia externa, costos)

De acuerdo con González (2019) Los fertilizantes químicos han contribuido al rendimiento de los cultivos, produciendo un aumento en la producción de alimentos en el mundo. El consumo de fertilizantes a nivel mundial fue de 181,9 millones de toneladas (t) en el periodo 2014/2015, correspondiente a 102,5 millones de t de nitrógeno; 45,9 millones de t de fósforo y 33,5 millones de t de potasio. En Chile el consumo para mismo periodo fue de 169 kt de nitrógeno, 130 kt de fósforo y 99 kt de potasio.

La agricultura convencional depende de la aplicación de fertilizantes minerales solubles, con el fin de lograr mayor rendimiento en los cultivos. Pero la aplicación excesiva ha producido:

eutrofización, toxicidad de las aguas, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad

Los principales impactos negativos de los fertilizantes sobre el agua son: lixiviación, aguas subterráneas y superficiales. En el caso del suelo los impactos negativos son: variación del pH, deterioro de la estructura del suelo y deterioro micro fauna. Por último, el efecto en el aire se debe principalmente de la aplicación inadecuada de los fertilizantes.

El nitrógeno es uno de los nutrientes primarios para la productividad agrícola, ya que el N es un constituyente de enzimas, proteínas, ADN, y clorofila. Los principales impactos de la aplicación excesiva del nitrógeno son la eutrofización, acidificación y toxicidad. Por último, el principal impacto al medio ambiente es la aceleración del proceso de eutrofización del agua.

Calero (2020) expone que pese al impacto que tuvo la pandemia en la economía de Nicaragua, la importación de insumos agropecuarios ha mejorado con respecto al año pasado, según cifras del Banco Central de Nicaragua, que muestra aumento tanto en volumen como en valor de estos productos que son utilizados en el campo y que coincide con el crecimiento que la agricultura aún sostiene hasta septiembre de este año. Entre enero y septiembre de este año, los productores nicaragüenses han pagado 243 millones de dólares en insumos agropecuarios, mientras que el año pasado para la misma fecha hubieron 199.9 millones de dólares, lo que implica un crecimiento del 22 por ciento.

Uno de los insumos más usado para la producción son los insecticidas. Hasta septiembre de este año las compras en valor por este concepto ascendieron a 26.7 millones de dólares, mientras que en el 2019 fueron 20.6 millones de dólares, lo que significa un aumento del 29 por ciento.

En el caso de la urea, un fertilizante de bajo costo, se pagó a los mercados internacionales 27 millones de dólares, tres millones más que el año pasado. Este fertilizante es importante por la alta concentración de nutrientes.

De igual forma en el mismo lapso antes mencionado se compró 71 millones de dólares en agroquímicos, superior a los 46 millones del año pasado. Este insumo es vital porque

previene y controla cualquier plaga de origen animal o vegetal durante la producción. Cabe destacar que el año pasado las ventas de fertilizantes y agroquímicos cayeron fuertemente, debido al incremento que provocó la reforma fiscal aprobada en febrero de ese año, luego que el Gobierno endureciera su política de exoneraciones para estos insumos.

Espino (2010) describe el costo como el conjunto de remuneraciones pagadas en un proceso de producción de una mercancía o un producto los cuales están formados por tres elementos básicos: materia prima directa, sueldos y salarios directos y costos indirectos de producción.

En el café orgánico e inorgánico se implementan los costos antes mencionados con algunas diferencias productivas, en el caso de la materia prima en el café orgánico se utilizan los siguientes productos: pulpa de café, aguas mieles estiércol de ganado etc. materiales de origen vegetal como: madero negro, papaya y sales minerales tales como: cal, azufre magnesio, zinc, cobre.

En el café inorgánico la materia prima es la siguiente: pulpa de café, productos químicos tales como: urea, abono triple 15, abono 30,10 y fertilizantes foliares.

10.9 Microorganismos benéficos

ANACAFE (2014) En el contexto de la caficultura, los microorganismos benéficos desempeñan un papel crucial que no puede ser subestimado. Estos diminutos organismos, como bacterias y hongos, pueden ser agentes de cambio en la calidad y sostenibilidad de los cultivos de café.

Los microorganismos benéficos contribuyen a la salud del suelo. Estos microorganismos fomentan la actividad biológica en el suelo, mejorando su estructura y aumentando la retención de nutrientes, lo que conduce a un crecimiento más vigoroso de las plantas de café. Además, ayudan a controlar patógenos que podrían dañar los cultivos, reduciendo la necesidad de pesticidas químicos.

Estos microorganismos también tienen un papel significativo en la fijación de nitrógeno. Las bacterias fijadoras de nitrógeno pueden transformar el nitrógeno atmosférico en una forma asimilable por las plantas, proporcionando un importante nutriente para el crecimiento del café. Esto no solo disminuye la dependencia de fertilizantes nitrogenados, sino que también reduce la contaminación ambiental.

La interacción entre microorganismos beneficiosos y las raíces de las plantas de café mejora la absorción de nutrientes, especialmente fósforo y otros oligoelementos, lo que se traduce en un mejor rendimiento de los cultivos y una mejora en la calidad de café.

La incorporación estratégica de microorganismos benéficos en la caficultura no solo mejora la salud del suelo y la eficiencia de los nutrientes, sino que también fomenta una producción sostenible de café, reduciendo el impacto ambiental y mejorando la calidad del producto final. Estos microorganismos, por lo tanto, se convierten en aliados fundamentales para los productores de café comprometidos con la sostenibilidad y la excelencia en la producción.

El proceso de agricultura orgánica inicia con prácticas encaminadas a recuperar la fertilidad y vida del suelo, utilizando al máximo recursos de bajo costo, disponibles en la finca o la comunidad.

11. Uso de plaguicidas y fertilizantes químicos

El excesivo uso de plaguicidas y fertilizantes químicos ha dado como resultado altos costos de producción, deterioro y contaminación de los recursos naturales y daños en la salud humana.

Los microorganismos de montaña son: hongos, bacterias, micorrizas, levaduras y otros organismos benéficos. Los cuales viven y se encuentran en el suelo de montañas, bosques, parras de bambú, lugares sombreados y sitios donde en los últimos 3 años no se han utilizado agroquímicos. Estos microorganismos habitan y se desarrollan en un ambiente natural.

Zeballos (2017) sugiere que la agricultura orgánica y la agroecología son modelos de agricultura sostenible que muestran métodos de producción con el menor impacto posible en el suelo y agua, tales como el uso de los abonos orgánicos, biopesticidas y biofertilizantes. Estos productos cubren las necesidades de las plantas y las protegen, incrementando la productividad y mejorando la rentabilidad de los cultivos. Los biofertilizantes y biopesticidas en su mayoría están compuestos por microorganismos provenientes de los suelos, hojas, residuos biológicos y orgánicos.

Los microorganismos están en todas partes de la naturaleza cumpliendo roles importantes para el equilibrio ecológico. Un grupo de estos microorganismos son denominados microorganismos patógenos capaces de producir enfermedades en plantas, animales, y

contaminación en el entorno. El otro grupo de microorganismos que ejercen funciones muy amigables son denominados microorganismos benéficos o eficientes.

Los microorganismos eficientes, tienen funciones metabólicas benéficas que intervienen en el mejoramiento de suelos, manejo de residuos agropecuarios, tratamiento de aguas residuales, alimentación de animales y mayormente son usados como aditivos en biofertilizantes para optimizar la productividad agrícola.

Los MM son eficientes bajo condiciones óptimas de sustrato, humedad, ausencia o presencia de oxígeno, pH y temperatura ambiental; los productos de su metabolismo son los componentes vivos del suelo y forman parte de los parámetros útiles para la medición de su fertilidad.

12. Diseño metodológico

La investigación fue elaborada por el grupo de trabajo durante el año 2025. No obstante, existen antecedentes relevantes de medición y planificación en la finca, realizados por estudiantes de agronomía en el período 2023–2025; dichos aportes, junto con la orientación de docentes, constituyen una base importante para la continuidad y fortalecimiento del presente estudio desarrollado por nosotros.

Un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), también conocido como diseño de doble vía, es un tipo de diseño experimental que se utiliza para controlar la variabilidad entre unidades experimentales homogéneas al agruparlas en bloques. Luego, los tratamientos se asignan aleatoriamente dentro de cada bloque. Esto permite reducir al error experimental y obtener resultados más precisos. asignan aleatoriamente dentro de cada bloque. Esto permite reducir al error experimental y obtener resultados más precisos.

T1. Utilización de Bioinsumo a base de microorganismos más leguminosas, activado con melaza.

T2. Utilización del producto sintético utilizado comúnmente por el productor. (Bayfolan).

T3. El tratamiento al cual no se le aplica absolutamente nada, es decir el TESTIGO.

Tabla 1 Datos edafoclimaticos de la finca

Concepto	Valor / Observación
Coordenadas (UTM)	16P627346 1438517.
Altura (msnm)	800.
Precipitación anual (mm)	1500.
Temperatura media anual (°C)	30 grados.
Tipo de suelo	Arcilloso.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2 Diseño de bloques completamnete al azar (DBCA)

	BLOQUES		
Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV
T1	T3	T2	T1
T2	T1	T3	T2
T3	T2	T1	T3

Fuente: Elaboración propia

12.1 Tipo de diseño mixto

Un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), también conocido como diseño de doble vía, es un tipo de diseño experimental que se utiliza para controlar la variabilidad entre unidades experimentales homogéneas al agruparlas en bloques. Luego, los tratamientos se asignan aleatoriamente dentro de cada bloque. Esto permite reducir al error experimental y obtener resultados más precisos. asignan aleatoriamente dentro de cada bloque. Esto permite reducir al error experimental y obtener resultados más precisos y experimental porque permite establecer relaciones de causa y efecto, ya que el investigador manipula una variable y controla las demás para observar cómo influye directamente en los resultados. Este enfoque ofrece un alto nivel de control y validez interna, reduciendo la influencia de factores externos y aumentando la precisión de los hallazgos. Además, facilita la replicación y la comparación entre grupos, lo que permite verificar la efectividad de una intervención o tratamiento con mayor confianza. Por estas razones, el método experimental es ideal cuando se busca comprobar si una acción específica realmente produce un cambio medible.

12.2 Tipo de investigación experimental

El estudio se clasifica como experimental, ya que se desarrolló en un área de ensayo de 0.11 ha siguiendo un diseño previamente establecido para su evaluación. Este tipo de investigación permite establecer relaciones de causa y efecto, dado que el investigador manipula una variable y controla las demás con el fin de observar su influencia directa en los resultados. Gracias a ello, el método experimental ofrece un alto nivel de control y una mayor validez interna, reduciendo la incidencia de factores externos y aumentando la precisión de los hallazgos. Además, facilita la replicación y la comparación entre grupos, permitiendo verificar con mayor confianza la efectividad de una intervención o tratamiento. Por estas razones, este enfoque es ideal cuando se busca comprobar si una acción específica genera un cambio medible.

12.3 Población y muestra

Plantaciones de café de la finca el Tesoro (2,7 mz)

Para la parcela experimental se tomaron 5 plantas por tratamiento, teniendo un total de 3 tratamientos cada uno repitiéndose 4 veces, dando un total de 60 plantas para el experimento.

Para este experimento se utilizo la asignación aleatoria en donde se decidio que tratamiento le corresponde a cada unidad experimental, se realizo por medio de excel generando numeros aleatorios.

12.4 Operacionalización de variables

Tabla 3 Variables

Variable	Tipo	Unidad de medida	Nivel de observación	Descripción
Fertilización	Independiente	Categórica	Planta / parcela	Dos niveles: bioinsumos (microorganismos + leguminosas) y fertilizantes sintéticos
Altura de la planta	Dependiente	Cm	Planta	Medida desde la base hasta la punta del tallo principal
Diámetro del tallo	Dependiente	Cm	Planta	Medido a la altura de la base de la planta
Número de hojas	Dependiente	Unidades	Planta	Conteo total de hojas por planta
Área foliar	Dependiente	cm ²	Planta	Área total de las hojas por planta
Vigor de la planta	Dependiente	Escala visual 1-5	Planta	Evaluación del crecimiento y desarrollo general
Número de frutos	Dependiente	Unidades	Planta	Conteo de frutos por planta

Peso promedio de frutos	Dependiente	G	Planta	Promedio de peso de los frutos cosechados
Rendimiento por planta	Dependiente	Kg	Planta	Peso total de café producido por planta
Contenido de materia orgánica en suelo	Dependiente (opcional)	%	Parcela	Evaluación del efecto de bioinsumos sobre el suelo
Densidad de plantación	Control	plantas/ha	Parcela	Igual para todas las parcelas

Fuente: Elaboración propia

12.4 Tecnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

12.4.1 Altura de plantas

La recolección de datos se llevó a cabo por bloques, de la siguiente forma: se midió la altura de las plantas de café desde la base del tallo hasta la parte superior de la copa, registrando los valores en metros (m). Este procedimiento se realizó de manera secuencial, iniciando con el bloque 1, seguido del bloque 2, posteriormente el bloque 3 y, por último, el bloque 4.

12.4.2 Grosor del tallo

Para recolectar este dato se utilizó un centímetro de costura, en cada cafeto se midió el grosor a 30 cm del suelo.

12.4.3 Numero de hojas

Para el número de hojas se realizó un conteo de las hojas totales por cada bandola, una del estrato alto, medio y bajo, se sumaron y se dividieron entre tres para obtener un promedio de hojas por cada bandola, luego de esto se realizó el conteo de las bandolas totales de la planta y se multiplicaron por el número de hojas.

12.4.4 Peso de frutos

Para calcular esto se usó una báscula, se tomaron 5 granos por planta, se pesaron todos juntos y el resultado fue dividido entre 5 para obtener el peso promedio de cada grano.

12.4.5 Numero de frutos por planta

Se contaron los granos de tres bandolas, una del estrato alto, medio y bajo. Luego de esto el resultado de cada una se sumó para obtener un total y se dividió entre las 3 bandolas para obtener un promedio, luego de esto se contaron todas las bandolas con granos y se multiplicó por el promedio.

Como instrumentos se utilizó cinta métrica, báscula para gramos, tablas de levantamiento de datos, lápiz, cuaderno, teléfono, centímetro de costura.

12.5 Confiabilidad y validez de los instrumentos

Para asegurar la confiabilidad y validez de los instrumentos utilizados dentro del estudio, se aplicaron diversas acciones metodológicas durante el desarrollo del experimento.

12.5.1 Confiabilidad

Se emplearon técnicas y análisis estadísticos con el fin de evaluar y verificar cada uno de los datos obtenidos para cada variable. Para esto se utilizó ANDEVA o ANOVA, que es una prueba estadística que permite comparar las medias de tres o más tratamientos y determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas. Este análisis permite desglosar la variabilidad total de los datos en diferentes fuentes, con el propósito de identificar si la variación entre los tratamientos es mayor que la variación interna dentro de cada grupo evaluado.

12.5.2 Validez

Asimismo, se implementaron métodos orientados a comprobar la validez interna y externa del experimento, considerando aspectos como el manejo y aplicación de los bloques estadísticos, que definen el orden y distribución de cada tratamiento, las diferentes dosis aplicadas, el proceso de muestreo de cada variable y la sistematización del análisis de datos.

12.6 Técnicas, instrumentos y procedimiento para el procesamiento y análisis de la información

Para el procesamiento de la información obtenida en el estudio, se utilizaron técnicas cuantitativas orientadas al análisis estadístico inferencial. Los datos recolectados en campo fueron ordenados y consolidados en hojas de cálculo, posteriormente se ingresaron al software estadístico INFOSTAT, el cual se empleó como instrumento principal para el análisis de los resultados.

Como procedimiento, se inició con la depuración de la base de datos, verificando coherencia, ausencia de errores de digitación y completitud de los registros. Posteriormente, las variables fueron clasificadas de acuerdo con su naturaleza (cuantitativas y cualitativas) y se procedió a la codificación necesaria para su procesamiento.

Dentro del programa INFOSTAT se realizaron análisis descriptivos (promedios, desviación estándar, coeficiente de variación, máximos y mínimos) con el fin de caracterizar el comportamiento inicial de las variables. Posteriormente, se aplicaron pruebas estadísticas según el diseño del experimento utilizado, destacando el análisis de varianza (ANDEVA) para determinar diferencias estadísticas entre tratamientos. En los casos necesarios, se realizaron comparaciones múltiples de medias empleando pruebas de separación como la de Tukey.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron interpretados y organizados en tablas y gráficos exportados desde INFOSTAT, lo cual facilitó la presentación y discusión de los efectos de los tratamientos evaluados en la investigación.

12.7 Criterios de calidad

Para garantizar la confiabilidad del experimento se aplicaron diversos criterios metodológicos:

En el primer criterio se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), el cual resultó adecuado para disminuir la variación ocasionada por factores ambientales. Este diseño permitió conformar bloques homogéneos y así reducir errores experimentales, favoreciendo una comparación más precisa entre los tratamientos aplicados.

En el segundo criterio la selección del material vegetal se realizó mediante un muestreo por conveniencia, procurando elegir plantas con características fisiológicas similares, estado fenológico comparable, buen vigor y condiciones sanitarias aceptables. Este procedimiento aseguró uniformidad dentro de las unidades experimentales y evitó que la variabilidad no relacionada afectara los resultados finales.

En el tercer criterio para la recolección de datos se aplicaron protocolos unificados de medición para cada variable evaluada (altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas, vigor y peso del fruto). Todas las evaluaciones se efectuaron bajo las mismas condiciones ambientales y utilizando equipos de medición calibrados, tales como cinta métrica, balanza y cinta de presión, con el fin de minimizar errores de registro.

En el cuarto criterio el análisis estadístico se llevó a cabo utilizando la técnica ANOVA, procesando los datos mediante el software estadístico InfoStat, ampliamente reconocido en investigaciones agrícolas por su confiabilidad. Una vez detectadas diferencias significativas, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) para determinar los tratamientos con efectos estadísticamente distintos.

12.8 Ubicación geográfica del estudio

La investigación se desarrolló en la finca El Tesoro, ubicada en la comunidad La Estrellita, departamento de Matagalpa. La finca cuenta con un aproximado de 3 manzanas donde 2.5 manzanas se encuentran establecidas con plantaciones de café y 0.5 manzanas están destinadas a cacao. El cultivo estudiado corresponde a la variedad Mara Caturra, con una edad promedio de cuatro años.

Ante esta situación, y con la finalidad de mejorar la productividad y la sostenibilidad del cultivo, se plantea como alternativa la aplicación de insumos orgánicos basados en microorganismos de montaña líquidos, frente al manejo tradicional con fertilizantes sintéticos. La práctica de aplicar microorganismos ha sido implementada en forma experimental por estudiantes de agronomía en campañas previas, buscando no solo mejorar el estado nutritivo y fisiológico de las plantas, sino también evaluar la viabilidad económica de esta alternativa para el productor.

El presente estudio busca, por tanto, (1) implementar y estandarizar el uso de microorganismos de montaña líquidos como tratamiento agroecológico en el cafetal, (2) determinar los cambios morfológicos y fisiológicos en las plantas derivados de su aplicación en comparación con fertilizantes sintéticos, (3) comparar efectos en parámetros agronómicos clave (altura, diámetro del tallo, número de hojas, vigor, entre otros) y (4) analizar el costo de producción y aplicación de estos fertilizantes orgánicos respecto a los fertilizantes sintéticos actualmente utilizados. Estas acciones pretenden contribuir tanto a la sostenibilidad agronómica como a la economía del productor, optimizando recursos y reduciendo dependencias de insumos químicos costosos.

13. Analisis y discusión de resultados

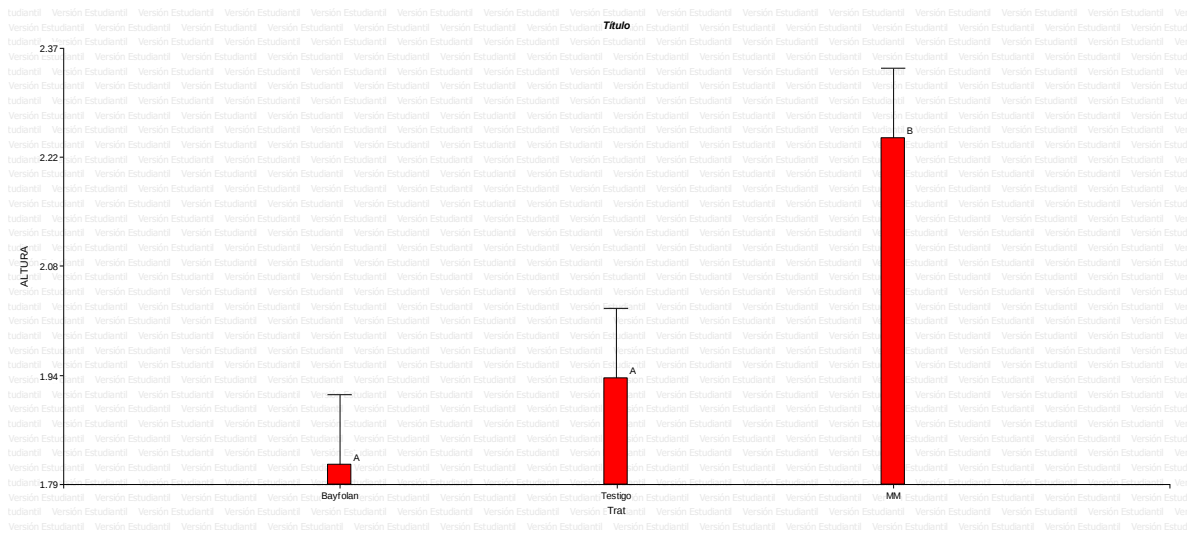
Se implementaron los Microorganismos de Montaña Liquidos (MML) en el cultivo de café, y el experimento demostro tener éxito sobre dos variables.

Al realizar o comprar los MML se pueden aplicar sin problemas en el campo sobre el cultivo de café. Este es compatible con la forma en que los agricultores ya manejan el café y no complica su labor diaria.

En las plantas que fue aplicado el MML se notaron cambios en variables como la altura de la planta y el grosor del tallo.

Aunque las mejoras fueron visibles, no fueron mucho mayores que las obtenidas con el bayfolan en este corto tiempo. En caso de los MML al ser un porducto de origen natural se espera que sus mayores beneficios se vean a mediano y largo plazo.

Ilustración 1 Grafico de barra de la variable altura



Fuente: Infostat

Tabla 4 Analisis de varianza (Altura)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALTURA	60	0.23	0.16	20.66

Fuente: Infostat

Tabla 5 Analisis de la varianza (SC tipo 3)

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.		2.79	5	0.56	3.27	0.0118
Bloques		0.79	3	0.26	1.54	0.2136
Trat	2.00	2	1.00	5.87	0.0049	
Error	9.22	54	0.17			
Total	12.01	59				

Fuente: Infostat

Tabla 6 Test de Tukey

Error: 0.1707 gl: 54

Bloques	Mediasn			E.E.
2.00	1.88	15	0.11	A
1.00	1.90	15	0.11	A
3.00	2.10	15	0.11	A
4.00	2.13	15	0.11	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Infostat

Tabla 7 Test: Tukey Alfa

Error: 0.1707 gl: 54

Trat	Mediasn			E.E.
Bayfolan	1.82	20	0.09	A
Testigo	1.93	20	0.09	A
MM	2.25	20	0.09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis estadístico

La variable altura presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p=0.0049$), lo que confirma que el tipo de fuente nutricional aplicada modificó de manera directa el desarrollo vertical del cultivo.

El modelo estadístico fue significativo ($p=0.0118$), con un R^2 de 0.23 y un CV de 20.66%, valores aceptables en condiciones de campo que respaldan la confiabilidad de la medición. El factor bloques no presentó significancia ($p=0.2136$), indicando que la variación espacial del área experimental no influyó sobre el comportamiento de la altura.

Desde el punto de vista agronómico, este resultado demuestra que la altura es una variable altamente sensible al manejo nutricional, ya que refleja el grado de elongación celular, la eficiencia en absorción y movilización de nutrientes y la capacidad de expansión estructural temprana del cultivo; por lo tanto, esta variable constituye un indicador fisiológico útil para

discriminar respuesta vegetal inicial entre tratamientos y estimar su impacto potencial sobre el rendimiento futuro.

El análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 5% mostró que, aunque los bloques no presentaron diferencias significativas entre sí (todas comparten la misma letra), sí se observaron diferencias entre tratamientos, destacándose que el tratamiento con microorganismos de montaña (MM) obtuvo la media más alta (2.25 m) y se ubicó en un grupo estadístico diferente respecto a Bayfolan y al Testigo, que compartieron la misma letra (A) y presentaron valores promedio inferiores (1.82 y 1.93 m respectivamente).

Agronómicamente, este resultado confirma que el manejo con microorganismos de montaña promovió un mayor crecimiento en altura, lo cual implica mayor eficiencia biológica en la disponibilidad y aprovechamiento de nutrientes, mejor actividad rizosférica y mayor estimulación de procesos fisiológicos vinculados a elongación celular y desarrollo estructural.

Este comportamiento permite inferir que MM favorece un establecimiento vegetativo superior y potencialmente mayor capacidad fotosintética futura, aspecto crítico para sostener rendimiento en etapas posteriores del cultivo.

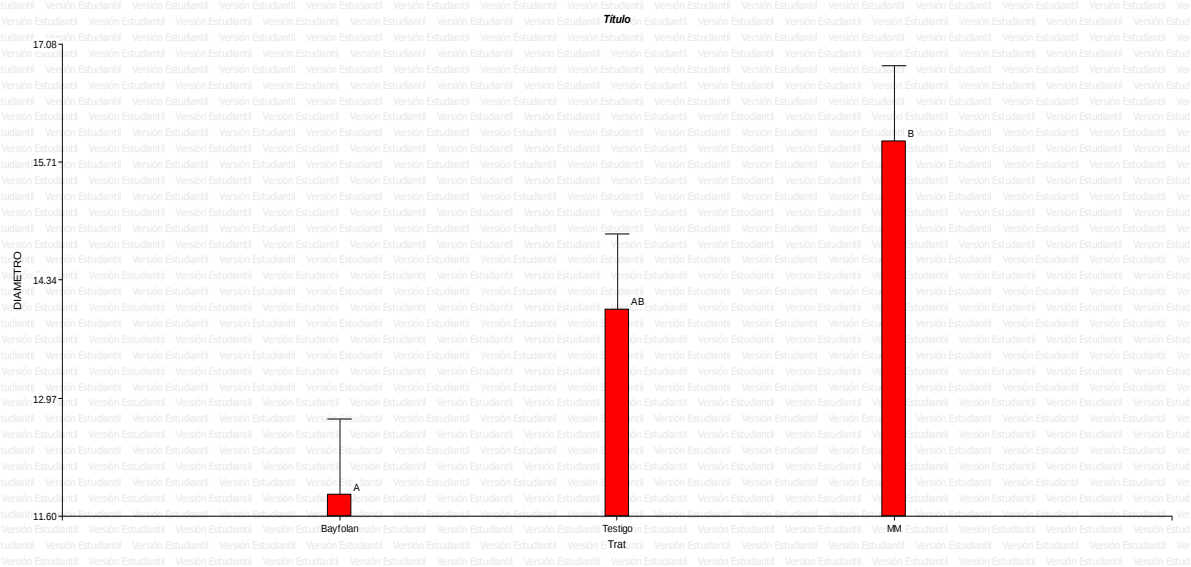
Tabla 8 Levantamiento de datos para altura de plantas en café

	ALTURA DE LA PLANTA (m)			
	B1	B2	B3	B4
1	2.25	2.20	2.30	2.30
2	2.30	1.80	0.90	2.60
3	2	1.80	2.20	2.60
4	2	2.30	2.20	1.60
5	2.20	2	2.20	2.40
1	1.80	2.35	2.60	2.40
2	2	1.90	2	2.30
3	0.98	2	1	2
4	2.10	2.20	1.60	0.90
5	2.25	2	2.20	2.23
1	1.70	2.20	2.60	2.30
2	1.80	2	2.60	2.30
3	1.50	1.10	2.30	1.40
4	1.70	1.10	2.40	2.20
5	1.85	1.20	2.40	2.40

Fuente: Elaboración propia

La toma de datos se efectuó en cada una de las plantas comprendidas dentro del bloque experimental. Utilizando una cinta métrica, se determinó el grosor o diámetro del tallo a una altura de 30 cm desde la base radicular hasta la parte media de la planta, registrando los valores obtenidos en centímetros (cm).

Ilustración 2 Grafico de barra de la variable diametro



Fuente: Infostat

Tabla 9 Analisis de varianza de la variable diametro

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIAMETRO	60	0.18	0.10	28.21

Fuente: Infostat

Tabla 10 Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	183.17	5	36.63	2.37	0.0513
Bloques	14.93	3	4.98	0.32	0.8094
Trat	168.23	2	84.12	5.44	0.0070
Error	834.57	54	15.45		
Total	1017.73	59			

Fuente: Infostat

Tabla 11 Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.80533

Error: 15.4549 gl: 54

Bloques	Mediasn	E.E.	
2.00	13.40 15	1.02	A
4.00	13.67 15	1.02	A
3.00	13.93 15	1.02	A
1.00	14.73 15	1.02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Infostat

Tabla 12 Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.99604

Error: 15.4549 gl: 54

Trat	Mediasn	E.E.	
Bayfolan	11.85 20	0.88	A
Testigo	14.00 20	0.88	A B
MM	15.95 20	0.88	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Infostat

Análisis estadístico de la variable diámetro

El análisis de varianza (ANDEVA) realizado para la variable diámetro muestra que, con una $N=60$, el modelo presenta un coeficiente de determinación (R^2) de 0.18 y un R^2 ajustado de 0.10, indicando que solo el 18 % de la variación del diámetro se explica por los factores evaluados, mientras que el resto se debe a otras fuentes no consideradas en el modelo.

El coeficiente de variación (CV) de 28.21 % refleja una variabilidad moderada en los datos, aceptable en ensayos agronómicos con factores biológicos. En el cuadro de ANDEVA, el modelo es significativo en general ($p = 0.0513$), y al desglosar las fuentes de variación, se observa que el factor tratamientos (Trat) es altamente significativo ($F = 5.44$; $p = 0.0070$), mientras que los bloques no presentan diferencias estadísticamente significativas ($F = 0.32$; $p = 0.8094$), lo que indica que las condiciones del bloque no influyeron en el resultado.

Según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), no se detectaron diferencias significativas entre los bloques, pero sí entre tratamientos.

En la comparación de tratamientos, el tratamiento MM (15.95 mm) y el testigo (14.00 mm) mostraron valores de diámetro significativamente mayores que el tratamiento Bayfolan (11.85 mm), agrupándose en letras distintas (“A” y “B”), lo que evidencia un efecto positivo de MM sobre el crecimiento en diámetro. Estos resultados sugieren que, bajo las condiciones del experimento, el tratamiento MM favorece significativamente el desarrollo del diámetro, representando una alternativa agronómica viable para mejorar el crecimiento del cultivo evaluado.

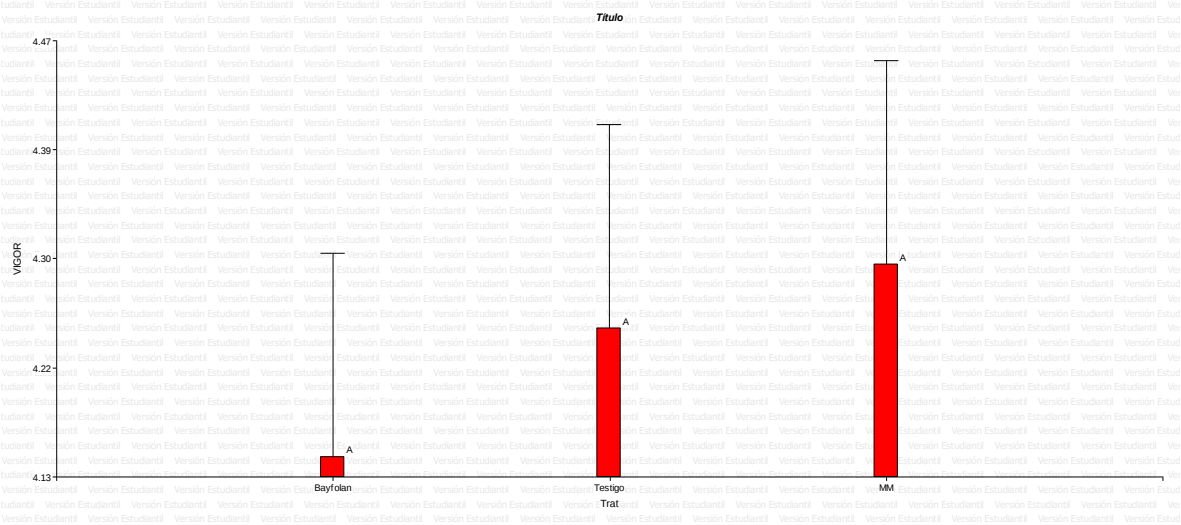
Tabla 13 Diametro del tallo en plantas de café

	DIAMETRO DEL TALLO (cm)			
	B1	B2	B3	B4
1	17	16	18	17
2	15	9	6	17
3	19	19	15	18
4	17	16	11	6
5	14	17	17	17
1	15	17	17	17
2	15	16	12	18
3	6	14	6	9
4	15	18	7	5
5	14	14	17	11
1	13	15	19	16
2	15	13	16	16
3	16	5	14	7
4	15	6	18	15
5	15	6	16	16

Fuente: Elaboración Propia

La recolección de datos se efectuó individualmente en cada planta perteneciente al bloque experimental. El diámetro del tallo se midió utilizando un centímetro, a una altura de 30 cm desde la base radicular hacia la porción media de la planta, registrando los resultados en centímetros (cm)

Ilustración 3 Grafico de barra de la variable vigor



Fuente: Infostat

Tabla 14 Analisis de la varianza variable vigor

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
VIGOR	60	0.06	0.00	16.73

Fuente: Infostat

Tabla 15 Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.		1.63	5	0.33	0.65	0.6620
Bloques		1.40	3	0.47	0.93	0.4327
Trat	0.23	2	0.12	0.23	0.7934	
Error	27.10	54	0.50			
Total	28.73	59				

Fuente: Infostat

Tabla 16 Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.68572

Error: 0.5019 gl: 54

Bloques	Mediasn			E.E.
4.00	4.07	15	0.18	A
2.00	4.13	15	0.18	A
1.00	4.27	15	0.18	A
3.00	4.47	15	0.18	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Infostat

Tabla 17 Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.53989

Error: 0.5019 gl: 54

Trat	Mediasn			E.E.
Bayfolan	4.15	20	0.16	A
Testigo	4.25	20	0.16	A
MM	4.30	20	0.16	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Infostat

Análisis estadístico de la variable vigor

El análisis de varianza correspondiente a la variable vigor evidenció que el modelo presentó un R^2 de 0.06 y un R^2 ajustado de 0.00, indicando que los factores evaluados explican únicamente el 6% de la variación observada en el vigor, por lo cual la mayor parte de la variabilidad registrada proviene de factores externos no contemplados en el modelo.

El coeficiente de variación (16.73%) se considera adecuado dentro del rango aceptable para estudios agronómicos, reflejando que la dispersión de los datos no compromete la confiabilidad del experimento. El modelo general no fue significativo ($p = 0.6620$), lo cual confirma que no existieron diferencias estadísticas entre tratamientos ni entre bloques. El factor bloques tampoco mostró efecto significativo ($p = 0.4327$), indicando que la variación espacial del área experimental permaneció controlada y uniforme.

Asimismo, los tratamientos no generaron diferencias estadísticas ($p = 0.7934$), lo que demuestra que las fuentes nutricionales aplicadas no modificaron de manera comprobable el vigor de las plantas. La prueba de Tukey confirmó la ausencia de separación estadística entre las medias, ya que todas compartieron la misma letra estadística. Aunque se observó una ligera tendencia mayor hacia el tratamiento con microorganismos de montaña, esta no fue suficiente para establecer efectos reales.

Desde el enfoque agronómico, estos resultados sugieren que el vigor no fue una variable sensible a los tratamientos evaluados y que su expresión estuvo influenciada en mayor medida por condiciones ambientales generales que se mantuvieron homogéneas durante el ensayo, evitando la manifestación de contrastes marcados entre fuentes nutricionales.

Tabla 18 Clasificación visual del vigor en las plantas de café

	VIGOR (1-5)			
	B1	B2	B3	B4
1	5	4	5	3
2	4	3	4	4
3	4	4	4	4
4	5	5	3	3
5	4	5	5	5
1	5	5	5	4
2	4	5	3	4
3	4	4	5	5
4	3	3	5	4
5	5	4	4	4
1	3	4	5	5
2	5	4	5	4
3	4	3	4	4
4	4	4	5	4
5	5	5	5	4

Fuente: Elaboración propia

El vigor de las plantas fue determinado mediante una evaluación visual cualitativa, asignando una escala de 1 a 5 en función de su desarrollo morfológico y productivo. La categoría 5 correspondió a las plantas con mayor vigor, mientras que la 1 representó a las de menor desempeño. La valoración se basó en indicadores como la densidad foliar, altura, número de bandolas productivas y grosor del tallo.

Rango 1: Plantas con evidente defoliación, mínima presencia de bandolas productivas y ausencia de frutos.

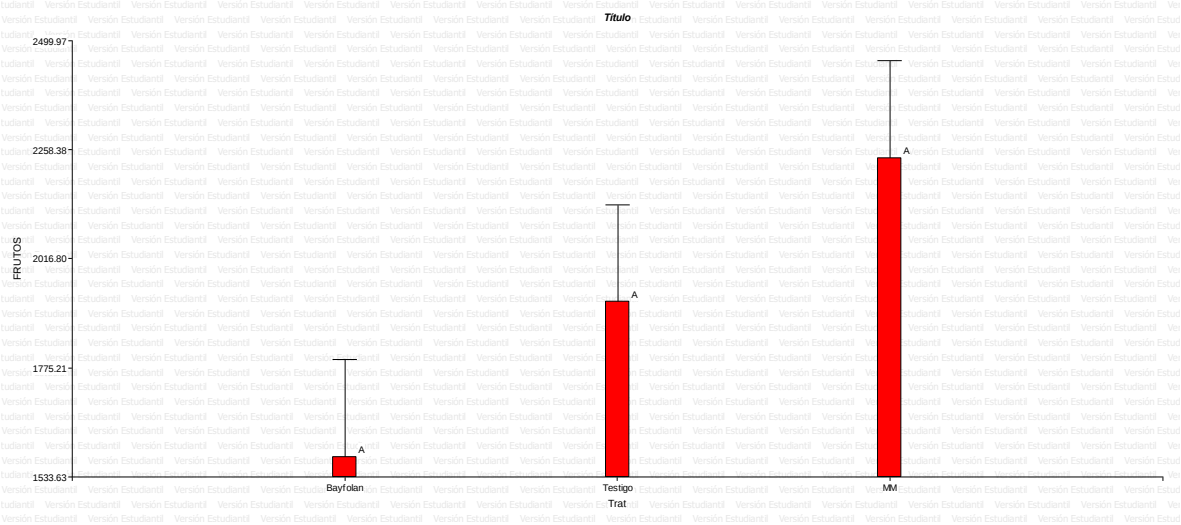
Rango 2: Plantas con defoliación parcial, escaso número de bandolas productivas y limitada cantidad de frutos.

Rango 3: Plantas con follaje intermedio, desarrollo aceptable de bandolas productivas y presencia moderada de frutos.

Rango 4: Plantas con abundante masa foliar, múltiples bandolas productivas y buena carga de frutos.

Rango 5: Plantas con óptimo desarrollo vegetativo, elevado número de bandolas productivas y alta producción de frutos.

Ilustración 4 Grafico de barra de la variable frutos



Fuente: Infostat

Tabla 19 Analisis de la varianza de la variable frutos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FRUTOS	60	0.15	0.07	50.45

Fuente: Infostat

Tabla 20 Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8674553.83	5	1734910.77	1.86	0.1162
Bloques	4280757.60	3	1426919.20	1.53	0.2167
Trat	4393796.23	2	2196898.12	2.36	0.1042
Error	50292491.90	54	931342.44		
Total	58967045.73	59			

Fuente: Infostat

Tabla 21 Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=934.14304

Error: 931342.4426 gl: 54

Bloques	Medias	n	E.E.
3.00	1637.27	15	249.18 A
1.00	1656.07	15	249.18 A
2.00	2153.67	15	249.18 A
4.00	2205.27	15	249.18 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Infostat

Tabla 22 Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=735.47657

Error: 931342.4426 gl: 54

Trat	Medias	n	E.E.
Bayfolan	1577.55	20	215.79 A
Testigo	1921.40	20	215.79 A
MM	2240.25	20	215.79 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Infostat

Análisis estadístico de la variable frutos

El análisis de varianza realizado para la variable número de frutos, con 60 observaciones evaluadas, mostró un coeficiente de determinación $R^2 = 0.15$ y un R^2 ajustado = 0.07, lo que indica que el modelo estadístico explicó únicamente una fracción limitada de la variabilidad total observada, a la vez que el coeficiente de variación obtenido ($CV = 50.45\%$) reflejó una elevada heterogeneidad experimental.

Esta alta variabilidad sugiere que factores no controlados, como diferencias en la fertilidad del suelo, microambientes dentro del campo, variaciones en la eficiencia de absorción nutrimental o en la condición fisiológica de las plantas, pudieron generar una respuesta productiva irregular, disminuyendo la sensibilidad estadística del diseño para detectar efectos atribuibles a los tratamientos. Los resultados del ANOVA indicaron ausencia de significancia tanto en los bloques ($p = 0.2167$) como en los tratamientos ($p = 0.1042$), lo que confirma que

las fuentes de variación consideradas no ejercieron una influencia estadísticamente comprobable sobre la producción de frutos.

La prueba de Tukey corroboró estos hallazgos al ubicar todos los tratamientos dentro de un mismo grupo estadístico, evidenciando equivalencia productiva entre ellos a pesar de las diferencias numéricas observadas. Desde la perspectiva agronómica, estos resultados sustentan que, bajo las condiciones particulares del ensayo, los tratamientos evaluados no generaron un estímulo fisiológico lo suficientemente marcado para traducirse en una mayor productividad; por tanto, se recomienda en futuras investigaciones optimizar la homogeneización de las condiciones de cultivo, aumentar el número de repeticiones y evaluar tratamientos con mecanismos de acción más contrastantes, con el fin de reducir la variabilidad residual y mejorar la capacidad del análisis estadístico para detectar diferencias reales en la respuesta del cultivo.

Tabla 23 Numero de frutos calculado por promedio en plantas de café evaluadas

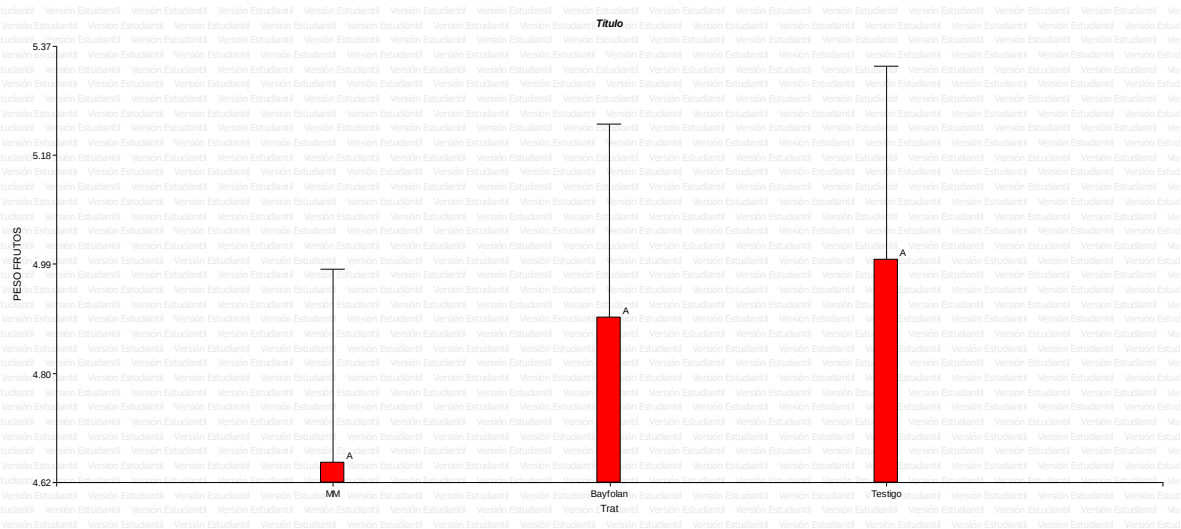
	NUMERO DE FRUTOS			
	B1	B2	B3	B4
1	828	1316	30	3534
2	1798	3324	736	1425
3	3154	1623	861	4104
4	2793	1736	1316	480
5	3312	2786	801	1914
1	855	3016	2597	1694
2	1441	2633	3055	2116
3	682	3617	336	1834
4	1312	1123	3556	3218
5	3672	1372	1569	1224
1	1504	1723	2124	1361
2	0	1816	2376	1732
3	1221	886	1389	2314
4	873	2187	1937	3367
5	1180	3147	1876	2762

Fuente: Elaboración propia

El número de frutos por planta se determinó mediante un cálculo promedio, aplicando una metodología similar a la utilizada en las estimaciones de cosecha. Para ello, se seleccionaron tres bandolas productivas representativas de cada planta una del estrato superior, otra del medio y una del inferior, en las cuales se realizó el conteo individual de granos. Posteriormente, se sumaron los valores obtenidos y el total se dividió entre tres, con el propósito de obtener el promedio de granos por bandola; este valor se multiplicó por el número total de bandolas productivas de la planta, permitiendo estimar la cantidad total de frutos.

Este procedimiento no solo facilitó una medición más objetiva del rendimiento potencial, sino que también permitió inferir el equilibrio productivo de la planta en sus diferentes niveles de desarrollo, ofreciendo una valoración integral del comportamiento fisiológico y productivo del cultivo.

Ilustración 5 Grafico de barra de variable peso de frutos



Fuente: Infostat

Tabla 24 Analisis de la varianza de la variable peso de frutos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PESO FRUTOS	60	0.04	0.00	30.84

Fuente: Infostat

Tabla 25 Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.82	5	0.96	0.43	0.8254
Bloques	3.52	3	1.17	0.52	0.6677
Trat	1.30	2	0.65	0.29	0.7491
Error	120.83	54	2.24		
Total	125.65	59			

Fuente: Infostat

Tabla 26 Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.44796

Error: 2.2377 gl: 54

Bloques	Medias	n	E.E.	
4.00	4.67	15	0.39	A
3.00	4.73	15	0.39	A
2.00	4.73	15	0.39	A
1.00	5.27	15	0.39	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Infostat

Tabla 27 Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.14002

Error: 2.2377 gl: 54

Trat	Mediasn	E.E.	
MM	4.65 20	0.33	A
Bayfolan	4.90 20	0.33	A
Testigo	5.00 20	0.33	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Infostat

El análisis de varianza realizado para la variable peso de frutos (g) mostró un coeficiente de determinación (R^2) de 0.04 y un coeficiente de variación (CV) de 30.84%, indicando una variabilidad moderada en los datos experimentales.

Los resultados del ANDEVA evidenciaron que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados ($p = 0.485$), lo cual sugiere que las variaciones observadas en el peso de los frutos se deben principalmente al azar o a factores no controlados en el experimento.

La prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) confirmó este resultado, al no detectar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos Bayfolan, testigo y bloques, los cuales pertenecieron al mismo grupo estadístico (A). Desde el punto de vista agronómico, esto indica que la aplicación de los tratamientos evaluados no tuvo un efecto significativo sobre el peso de los frutos, aunque se observaron ligeras variaciones numéricas entre ellos.

La alta variabilidad registrada podría estar relacionada con condiciones ambientales heterogéneas, diferencias fisiológicas entre plantas o un número limitado de repeticiones, lo que resalta la necesidad de mejorar el control experimental en futuras investigaciones. En conclusión, bajo las condiciones del presente estudio, los tratamientos aplicados no influyeron de manera significativa en el peso promedio de los frutos, por lo que se recomienda ampliar el número de repeticiones, controlar mejor las condiciones de manejo y considerar variables complementarias como número de frutos, rendimiento total y calidad comercial para obtener resultados más representativos y aplicables en el ámbito agronómico.

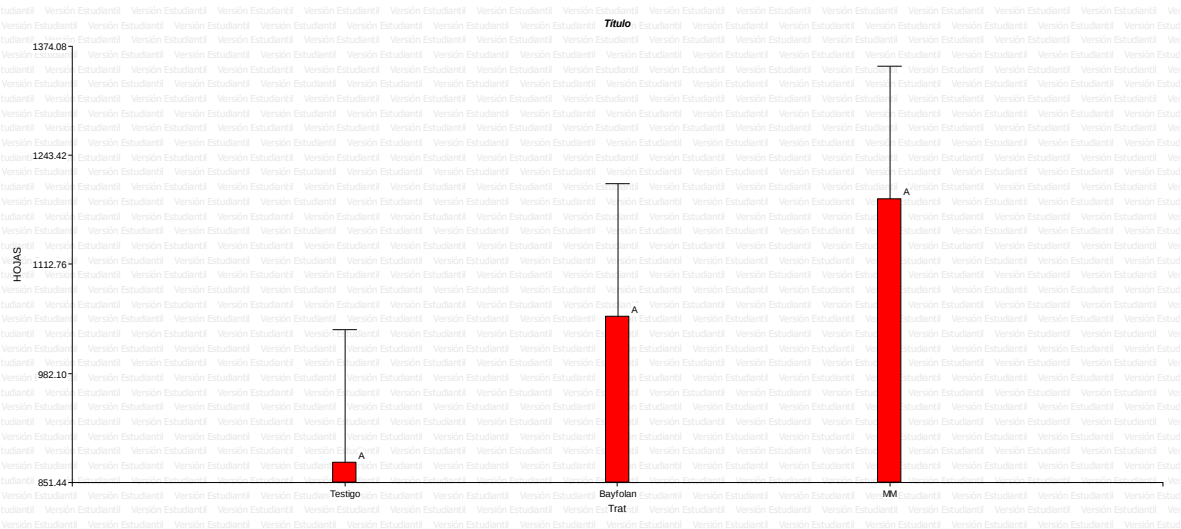
Tabla 28 Promedio de peso de frutos en plantas de café

	PESO PROMEDIO DE FRUTOS (G/5 GRANOS)			
	B1	B2	B3	B4
1	5	5	4	6
2	3	3	6	4
3	4	6	3	3
4	3	4	4	5
5	4	5	5	6
1	5	3	3	7
2	5	7	6	5
3	7	5	4	6
4	5	4	7	4
5	5	5	3	3
1	6	8	5	3
2	6	3	4	4
3	7	4	6	3
4	6	6	8	5
5	8	3	3	6

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el pesaje de cinco granos de café utilizando una balanza de precisión, registrando los resultados en gramos (g).

Ilustración 6 grafico de barra de la variable hojas



Fuente: Infostat

Tabla 29 Analisis de la varianza de la variable hojas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HOJAS	60	0.17	0.09	68.65

Fuente: Infostat

Tabla 30 Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5474060.50	5	1094812.10	2.15	0.0730
Bloques	4473709.20	3	1491236.40	2.93	0.0416
Trat	1000351.30	2	500175.65	0.98	0.3806
Error	27465007.10	54	508611.24		
Total	32939067.60	59			

Fuente: Infostat

Tabla 31 Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=690.32192

Error: 508611.2426 gl: 54

Bloques	Medias	n	E.E.
1.00	677.27	15	184.14 A
2.00	954.07	15	184.14 A B
3.00	1087.60	15	184.14 A B
4.00	1436.27	15	184.14 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Infostat

Tabla 32 Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=543.50948

Error: 508611.2426 gl: 54

Trat	Medias	n	E.E.
Testigo	875.20	20	159.47 A
Bayfolan	1050.35	20	159.47 A
MM	1190.85	20	159.47 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: Infostat

El análisis de varianza realizado para la variable número de hojas por planta mostró un coeficiente de determinación (R^2) de 0.17 y un coeficiente de variación (CV) de 68.65%, lo que indica una alta variabilidad en los datos experimentales.

Los resultados del ANDEVA revelaron que no existieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p = 0.9306$), por lo que las variaciones observadas en el número de hojas se atribuyen principalmente al azar o a factores no controlados dentro del ensayo.

La prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) confirmó la ausencia de diferencias significativas, mostrando que los tratamientos evaluados (Bayfolan, Megafol, testigo y bloques) pertenecen al mismo grupo estadístico (A o AB), lo cual respalda los resultados del análisis de varianza.

Desde un punto de vista agronómico, esto indica que la aplicación de los tratamientos no influyó de manera significativa sobre el desarrollo foliar de las plantas, aunque se observaron

ligeras variaciones numéricas entre los promedios, siendo el tratamiento Bayfolan el que presentó una tendencia a mayor número de hojas.

El elevado coeficiente de variación sugiere que existió heterogeneidad en las condiciones del cultivo, posiblemente asociada a factores ambientales, fisiológicos o de manejo, lo que pudo limitar la expresión del efecto de los tratamientos.

En conclusión, bajo las condiciones del presente estudio, los tratamientos evaluados no provocaron diferencias significativas en el número de hojas por planta, recomendándose en futuras investigaciones aumentar el número de repeticiones, mejorar el control de las variables ambientales y considerar otros parámetros de crecimiento, como área foliar, biomasa o tasa fotosintética, para obtener resultados más concluyentes y representativos del comportamiento agronómico del cultivo.

Tabla 33 Numero de hojas en plantas de café

	NUMERO DE HOJAS			
	B1	B2	B3	B4
1	1704	1100	1113	3277
2	620	1767	1716	1320
3	648	1749	1480	96
4	903	120	1333	160
5	1679	1326	1140	3550
1	189	2240	1776	2106
2	283	161	260	1440
3	817	936	190	968
4	243	224	1610	1591
5	1794	765	162	871
1	315	564	1526	1628
2	432	1356	1395	1426
3	156	767	1147	593
4	247	467	627	736
5	129	769	839	1782

Fuente: Elaboración propia

La determinación del número de hojas por planta se efectuó mediante un procedimiento similar al utilizado para el conteo de granos. Se contabilizó la cantidad de hojas presentes en una bandola de cada uno de los tres estratos (superior, medio e inferior), se sumaron los valores obtenidos y el total se dividió entre tres para obtener el promedio de hojas por bandola. Finalmente, este promedio se multiplicó por el número total de bandolas o ramas con hojas, obteniéndose así la estimación del número total de hojas por planta.

Tabla 34 Costos

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo unitario(C\$)	Costo total (C\$)	Descripción
Materia prima					
Melaza	Lts	3	100	100	se utiliza como fuente de carbono que alimenta a los microorganismos
Microorganismos de montaña y leguminosas	Kg	4	50	50	El microorganismo de montaña es un biofertilizante natural que mejora la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas, mientras que las leguminosas fijan nitrógeno gracias a bacterias en sus raíces. Juntos, favorecen una agricultura más sostenible y productiva.
Agua	Lts	15	0	0	
Subtotal materia prima				C\$ 150	
Mano de obra					
Ayudante D/H	D/H	2	100	200	Mano de obra directa
Subtotal mano de obra				C\$ 200	

Fuente: Elaboración propia

Materiales auxiliares					
BOMBA 20LTS	Lts	1	0		Almacenamiento del producto
Envases plásticos (bidón 20 lts)	Lts	1	0		
Subtotal					
Costo total				C\$ 350	

Tabla 35 Costos

Producto Químico	Tipo de producto	Dosis para 1 manzana	Precio estimado por Litro"	Costos estimado total
Bayfolan	Fertilizante foliar	1lts	C\$ 300	C\$ 300

Fuente: Elaboración propia

El costo de aplicación de los microorganismos de montaña líquidos (MML) es de C\$ 350 por manzana, frente a C\$ 300 por manzana de Bayfolan, representando un 16.7 % más. Aunque Bayfolan resulta más económico a corto plazo, los MML ofrecen beneficios agronómicos y ambientales adicionales, como mejora de la fertilidad y estructura del suelo, mayor actividad biológica y menor dependencia de insumos químicos, que pueden reducir costos futuros y aumentar la sostenibilidad productiva. Para igualar estrictamente los costos, los MML deberían generar al menos 16.7 % más ingresos por manzana, pero considerando los beneficios acumulativos, se perfilan como la opción más eficiente y sostenible a largo plazo.

Tabla 36 dosis de productos utilizados

Producto	Dosis	Frecuencia de aplicación	Modo de aplicación
MML	1 litro por cada 20 de agua	Cada 15 días	Foliar
Bayfolan Forte	50 cc por cada 20 litros de agua	Cada 15 días	Foliar

Fuente: Elaboración propia.

14. Conclusiones

El productor Ángel Gonzales señaló su interés en incorporar los MML en su sistema de cultivo, al considerarlos una alternativa ambientalmente sostenible. Además, durante el periodo experimental observó ciertos cambios favorables en su finca relacionados con el cultivo de café.

Se identificaron diferencias estadísticas significativas en las variables de altura y diámetro del tallo, lo que conduce a la aceptación de la hipótesis alternativa. Estos resultados indican que los microorganismos de montaña ejercieron un efecto positivo sobre dichas variables.

Las variables de vigor, número de frutos y número de hojas no evidenciaron variaciones estadísticamente significativas, lo que conduce a la aceptación de la hipótesis nula. En consecuencia, los MML no ejercieron un efecto detectable sobre las características morfológicas y fisiológicas evaluadas.

En relación con los costos de producción, los MML se determinaron como una opción sustancialmente más económica frente a los fertilizantes sintéticos —en este estudio, el Bayfolan—. Este resultado respalda la existencia de un beneficio económico para los productores y sitúa a los MML como una alternativa de menor coste para el manejo del cultivo de café.

En cuanto al uso de MML el productor Ángel Gonzales menciona que le gustaría implementar el uso de estos ya que considera que es un producto amigable con el medio ambiente y durante el tiempo del experimento logro ver algunos cambios en su finca con respecto al café.

Se encontraron diferencias estadísticas significativas en las variables de altura y diámetro del tallo, por lo que se acepta la hipótesis alternativa ya que los microorganismos de montaña mostraron un efecto positivo en cuanto a estas variables.

En cuanto a características morfológicas y fisiológicas las variables de vigor, número de frutos y número de horas no presentaron cambios significativos por lo que se acepta la hipótesis nula ya que los MML no demostraron tener efecto sobre estas variables.

En cuanto a costos de producción los MML resultan mucho menos costosos de elaborar en cuanto a fertilizantes sintéticos, en este caso el bayfolan, esto confirma un beneficio económico para los productores y ubica a los MML como una alternativa de menor costo para el manejo del cultivo de café.

15. Recomendaciones

Dirigidas a la Unan Managua Cur Matagalpa y a futuros estidiantes que puedan realizar investigaciones similares

- Ampliar la duración del período experimental, ya que un tiempo de evaluación más prolongado puede permitir la obtención de resultados más robustos y fiables.
- Incrementar la frecuencia de los muestreó con el fin de mantener un control más preciso sobre las variaciones presentadas por las plantas y mejorar la calidad del análisis.
- Fomentar la adopción de modelos de agricultura con menor impacto ambiental promoviendo específicamente el uso de microorganismos de montaña líquidos como alternativa para mejorar el desarrollo y crecimiento de las planta de café.
- Incentivar la realización de futuras investigaciones bajo un enfoque similar con el propósito de profundizar en la capacidad de los microorganismos líquidos para favorecer la fertilización y productividad del café
- Promover en la comunidad la estrellita la implementación del uso de MML por parte de los pequeños productores con el fin de recopilar sus experiencias y valorar el potencial de esta práctica en el ámbito local.

16. Bibliografías consultadas

- Academia Lab. (07 de 10 de 2025). *Índice de área foliar*. Obtenido de <https://academia-lab.com/enciclopedia/indice-de-area-foliar/>
- Anacafe. (2025). “*FERTILIZACIÓN AL SUELO EN EL CULTIVO DE CAFÉ*”. Obtenido de <https://www.anacafe.org/uploads/file/b04fcafce8a54b5d804dde3462b59828/03-Fertilizaci%C3%B3n-al-suelo.pdf>
- Arabo. (07 de 10 de 2025). *Etapas del proceso de producción de café*. Obtenido de <https://cafe-arabo.com/etapas-proceso-produccion-cafe/>
- Axayacalt, O. (2025). *Blog Agricultura*. Obtenido de ¿Qué son los fertilizantes químicos y cuál es su importancia?: <https://blogagricultura.com/importancia-fertilizantes-quimicos/>
- Axayacalt, O. (2025). *Blog Agricultura*. Obtenido de Urea beneficios y características : <https://blogagricultura.com/fertilizante-urea/>
- CAFEMALIST. (2024). *TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA DEL CAFÉ: PARTES Y CARACTERÍSTICAS (2024)*. Obtenido de {Entrada de blog}: <https://cafemalist.com/morfologia-del-cafe/>
- Cafemalist. (2025). *Café de Nicaragua: Marcas, Precios, Cultura y Datos (2025)*. Obtenido de <https://cafemalist.com/cafe-de-nicaragua/>
- Calero, M. (15 de 12 de 2020). *federación Americana de Sociedades Agroquímicas*. Obtenido de Nicaragua importa más agroquímicos y fertilizantes para el campo, lo que es una señal positiva.: <https://fasa-us.com/nicaragua-importa-mas-agroquimicos-y-fertilizantes-para-el-campo-lo-que-es-una-senal-positiva/>
- El Diario Nica. (2025). *El Café de Nicaragua: Un Pilar para la Economía y la Generación de Empleos*. Obtenido de <https://eldiariónica.com/2025/01/15/el-cafe-de-nicaragua-un-pilar-para-la-economia-y-la-generacion-de-empleos/>
- elsevier. (21 de 07 de 2020). *Estudios experimentales I: .* Obtenido de <https://dsp.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2022/02/Anexo-3-U-12-Estudios-experimentales-I-Argimon-PJ.pdf>
- Equipo Mundo Cafeto. (01 de 07 de 2023). *Mundo Cafeto*. Obtenido de El Cafeto: <https://mundocafeto.com/planta/el-cafeto/>
- Gelambi, M. (24 de 11 de 2023). *Lifeder*. Obtenido de Clorofila: <https://www.lifeder.com/clorofila/>
- Gonzales, R. (17 de 09 de 2024). *Agro Enlace .* Obtenido de Importancia de la Fertilización Orgánica en la Agricultura Moderna: <https://agroenlace.co/importancia-de-la-fertilizacion-organica/>
- Heredia, M. F. (11 de 2017). *Digital Zamorano*. Obtenido de Caracterización de microorganismos de montaña (MM) en biofertilizantes artesanales: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/32881915-2d77-496a-b7cd-00bffb2a2eff/content>

- Icebook. (26 de 10 de 2024). *Biomasa: Definición, características, origen y tipos*. Obtenido de <https://iceebook.com/biomasa-definicion-caracteristicas-origen-tipos>
- Laruta, A., & Maldonado, C. (27 de 08 de 2021). *Microorganismos eficientes (EM•1®) y de montaña en plantines de café (Coffea arábica L.)*, Caranavi - La Paz. Obtenido de <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/97>
- Medina, D., & Lizcano, A. (01 de 09 de 2024). *Resvista ciencias tecnologicas agropecuarias*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542024000300007&script=sci_arttext&tlng=es
- Mi Cultivo Con Bayer. (2025). *Mi Cultivo Con Bayer*. Obtenido de Bayfolan Forte: https://www.micultivo.bayer.com.mx/es-mx/productos/product-details.html/growth%20regulators/bayfolan_forte.html
- Narcisa Urgiles Gómes et al. (2023). *Microorganismos beneficos con el potencial agrícola: Una alternativa sostenible para la producción de café y calidad del suelo*. Loja,Ecuador: universidad Nacional de Loja .
- Navarro, Y. (03 de 2024). *AnaCafe*. Obtenido de Guia para la captura, reproducción y aplicación artesanal de microorganismos beneficos en la caficultura: <https://www.anacafe.org/uploads/file/a6f6ece150d84ecba6cd73c50341ec07/Guia-Microorganismos.pdf>
- Navarro, Y. (2024). *Guia para la captura, reproducción y aplicación artesanal de microorganismos beneficos en la agricultura*. Guatemala: Centro de Investigaciones en Café-Cedicafé.
- Oseguera et, a. (1984). *Saidalc*. Obtenido de Evaluación en almácigo de café de dos fertilizantes foliares en tres dosis de aplicación bajo condiciones de suelos con y sin fertilizante químico: <https://sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-BVE:78567>
- Pedro Cortezaga et, a. (10 de 2010). *ResearchGate*. Obtenido de Evaluación de la efectividad del mejorador de rendimiento y fertilizante foliar Bayfolán Forte en caña de azúcar: https://www.researchgate.net/publication/277030510_Evaluacion_de_la_efectividad_del_mejorador_de_rendimiento_y_fertilizante_foliar_Bayfolan_Forte_en_cana_de_azucar
- Primero Cafe. (2025). *¿Cuál es la variedad Maracaturra?* Obtenido de <https://primerocafe.com.mx/caficultura/cual-es-la-variedad-maracaturra/>
- Redacción National Geographic. (17 de 03 de 2025). *¿Cuál es el origen del café?* Obtenido de <https://www.nationalgeographicla.com/historia/2025/03/cual-es-el-origen-del-cafe>
- Rodriguez , N. Y., & Tafur Torres, Z. (s.f.). *Producción de Microorganismos de Montaña para el Desarrollo de una Agricultura Organica*. Obtenido de https://estaticos.qdq.com/swdata/files/950/950904418/CIn_3256.pdf
- Trymata. (09 de 10 de 2025). *Trymata*. Obtenido de ¿Qué es la investigación explicativa? Definición, método y ejemplos: <https://trymata.com/es/blog/que-es-la-investigacion-explicativa-definicion-metodo-y-ejemplos/>

Ulibarri, P. G. (03 de 2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes*. Obtenido de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf

Uncafediferente. (23 de 07 de 2023). *¿Que nutrientes necesita una planta de café?* Obtenido de <https://uncafediferente.es/que-nutrientes-necesita-una-planta-de-cafe/>

Anexos

Ilustración 7 Finca El tesoro



Fuente: Toma propia

Ilustración 8 Café Maracaturra

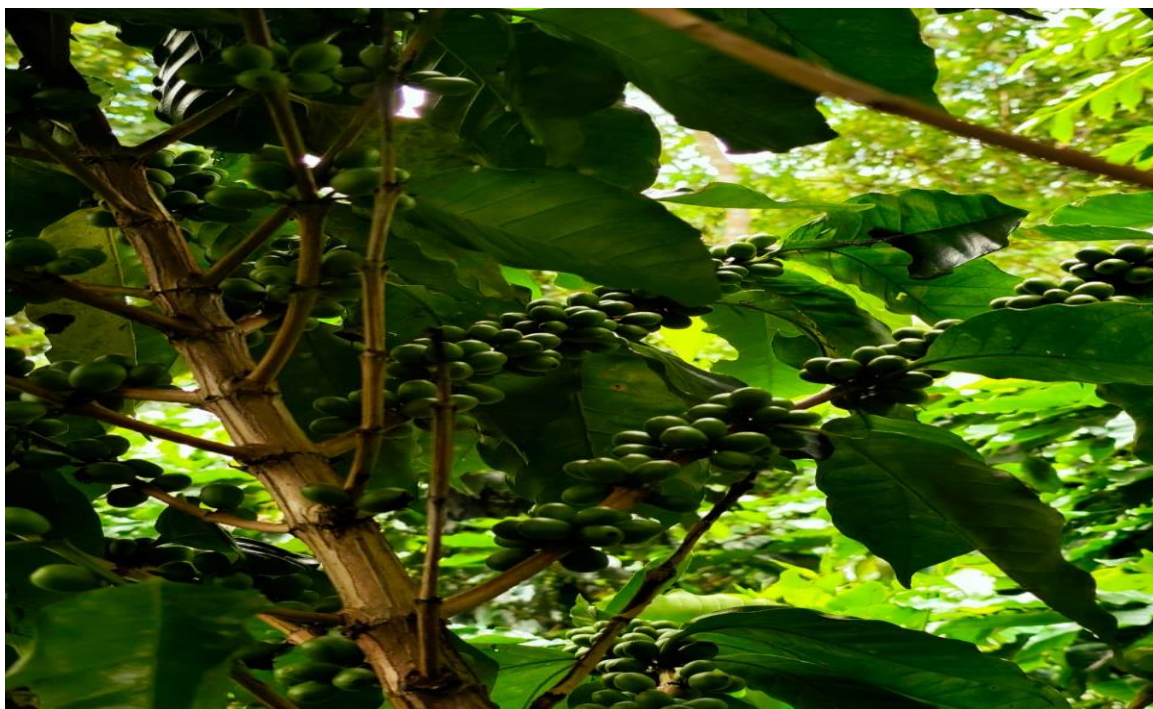


Ilustración 9 Mapa de la finca El Tesoro



Fuente: Google Earth

Ilustración 10 Herramientas utilizadas para el levantamiento de datos



Fuente: Toma propia

Ilustración 11 Delimitación del diseño DBCA



Fuente: Toma propia

Ilustración 12 Bascula para peso de granos



Fuente: Toma propia

Ilustración 13 Aplicación de los tratamientos



Fuente: Toma propia