



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

TESIS DE GRADO

Evaluación de la efectividad de bioinsumos en el cultivo del
café en la finca La Envidia, comunidad Las Escaleras durante
el año 2025

Tutor:

Dr. Jairo Emilio Rojas Meza

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS, TECNOLOGÍAS Y SALUD.
CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL DE MATAGALPA

Área de Conocimiento
Centro Universitario Regional de Matagalpa

Departamento Ciencias Tecnología y Salud

Informe de Investigación

¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!

Tesis para optar al grado de
Ingeniería Agronómica

Autor

Br. Juan Carlos Blandón Zelaya

Asesor

Dr. Jairo Emilio Rojas Meza

Noviembre, 2025



Dedicatoria.

Dedico esta tesis con gratitud y amor a Dios, fuente de sabiduría, fortaleza y luz en cada paso de este camino. En los momentos de incertidumbre, cuando el cansancio parecía vencerme, fue Su presencia la que me sostuvo y me recordó que todo esfuerzo tiene propósito. A Él encomiendo este logro, como testimonio de fe, perseverancia y confianza en los tiempos perfectos.

A mi madre, Silsa Zelaya Valverde, mujer incansable, valiente y llena de amor. Gracias por ser mi guía, mi refugio y mi mayor inspiración. Tus palabras, tus silencios y tu ejemplo me enseñaron que la verdadera grandeza está en la humildad, en el trabajo honesto y en el amor que se entrega sin medida. Esta tesis es también tuya, porque cada página lleva el eco de tu esfuerzo, tu sacrificio y tu fe en mí.

A mis hermanas, Bianny Marissel Blandón Zelaya y Karla Vanessa Blandón Zelaya, por su compañía constante, por sus palabras de aliento y por compartir conmigo los momentos de alegría y de dificultad. Gracias por ser parte de mi vida, por celebrar mis logros como propios y por recordarme que la familia es el primer círculo de amor que sostiene nuestros sueños. Su apoyo ha sido fundamental en este proceso, y esta dedicatoria también les pertenece.

A mi abuelo, Carlos Zelaya Pérez, que en paz descansa. Aunque ya no esté físicamente entre nosotros, su memoria vive en cada decisión que tomo, en cada valor que defiendo y en cada meta que persigo. Su legado de honestidad, sabiduría y amor por a la familia me ha acompañado en silencio, como una brújula que orienta mi camino. Esta tesis es también un homenaje a su vida y a todo lo que sembró en mí.

A mis docentes y asesores, por compartir su conocimiento con generosidad, por guiarme con paciencia y por exigirme con rigor académico. Gracias por sembrar en mí el compromiso con la investigación, el pensamiento crítico y la búsqueda constante de soluciones que transformen realidades. Su acompañamiento ha sido clave para que este trabajo tenga sentido y profundidad.

Y finalmente, a mí mismo. Por no rendirme, por aprender a confiar en mis capacidades, por transformar cada dificultad en una oportunidad de crecimiento. Esta tesis representa no solo

un logro académico, sino una etapa de madurez, de autoconocimiento y de reafirmación personal. Hoy celebro este momento con gratitud, sabiendo que cada paso ha valido la pena

Agradecimiento

Quiero agradecer primeramente a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia para culminar este proceso académico a través de los años dedicados a mis estudios y al fin poder haber logrado esta meta.

A mi madre, Silsa Zelaya Valverde, por su amor incondicional, sus sacrificios, su paciencia, su apoyo incondicional, por cada una de sus oraciones hacia mi vida, por cada una de las palabras de aliento y de declaración para con mi futuro, por enseñarme que el esfuerzo y la humildad son los pilares del verdadero éxito.

A mis hermanas, Karla Vanessa Blandón Zelaya y Bianny Marissel Blandón Zelaya, por su apoyo constante, su amor perpetuo, sus palabras de aliento en los momentos difíciles, por creer en mí, incluso cuando yo dudaba y apoyarme cuando más lo necesitaba, son una roca en mi vida y sin el apoyo en los momentos donde más sentía que iba a caer, no estaría hoy acá.

A mis docentes y asesores, por compartir su conocimiento, por guiarme con paciencia, por sembrar en mí el compromiso con la investigación y el pensamiento crítico, por haber hecho que me enamorara de la carrera con cada año que pasaba, por cada buen momento en la sección de clase o en una gira de campo, pero en especial, en cada corrección para hacer que hoy sea el estudiante y futuro ingeniero que soy.

A mis compañías de clases que desde el comienzo me extendieron la mano para apoyarme en cada una de las adversidades académicas que presente, por cada buen momento que pasamos, por cada consejo, por cada conocimiento compartido, y por todos los años que hemos compartido ya sea en la sección de clase, en una gira de campo o fuera de la universidad.

Un agradecimiento especial a mi abuelo, Carlos Zelaya Pérez, que en paz descansa, por haber sido un pilar en toda la familia, pero en especial, en mi vida, por ser el hombre que me enseñó que es el esfuerzo y la dedicación, por cada consejo, cada abrazo y cada palabra de consuelo en momentos difíciles, descansa en paz, Chale.

Carta aval del tutor

Por este medio avalo el trabajo de investigación “Evaluación de la efectividad de bioinsumos en el cultivo del café en la finca La Envidia, comunidad Las Escaleras durante el año 2025” realizado por el postulante al grado de Ingeniero Agrónomo **Juan Carlos Blandón Zelaya**. Esta investigación cumple los requerimientos teóricos, metodológicos establecidos por la universidad y los criterios del método científico para investigaciones evaluativas de naturaleza experimental. Cabe destacar que esta investigación se orienta a la búsqueda para evaluar opciones tecnológicas que se han venido generando en el contexto de la agricultura ecológica, orgánica y regenerativa. En el contexto latinoamericano, se está gestando un proceso dinámico de evaluación / validación de propuestas sostenibles que mejoran la fertilidad de los suelos, la nutrición de las plantas y el manejo de las principales plagas y enfermedades de rubros como el café. Los resultados indican diferencias significativas, en ciertos tratamientos como los Microorganismos de Montaña Líquidos (MML) en el vigor foliar y el caldo sulfocalcico en la reducción de incidencia de enfermedades como la roya y el ojo de gallo. Sin embargo, se requiere continuar las evaluaciones que permita en el menor tiempo posible convertir estas tecnologías en opciones para los agricultores.

Insto a **Juan Carlos** a continuar por la senda de la investigación científica, especialmente en esta línea de búsqueda de una agricultura más amigable con el ambiente, menos costosa en términos financieros, por tanto, más rentable para los agricultores y de calidad nutricional para los consumidores.

Dr. Jairo Rojas Meza
Tutor

Resumen

La presente investigación se centró en la evaluación exhaustiva de la efectividad agronómica y la viabilidad de los bioinsumos producidos bajo el modelo UTOPIA, aplicados en un sistema agroforestal de café (*coffea arabica* L.) En la finca La Envidia propiedad del productor Herminio Palacios. El estudio se fundamentó en la comparación de cuatro tratamientos clave: microorganismos de montaña líquidos (MML), mml enriquecidos con minerales, caldo sulfocálcico y el bioinsecticida apichi, implementados bajo un diseño experimental en bloques completos al azar (DBCA). Haciendo uso de las herramientas de análisis estadístico ANOVA se pudo conocer de forma más específica y puntual la efectividad de los insumos y las dosis, así para saber cuál es más efectivo en comparación al testigo. Los resultados agronómicos confirmaron la superioridad bioestimulante de los tratamientos basados en MML. Específicamente, el MML (t1d1) y su variante enriquecida (t2d1) registraron los valores más altos en el índice de desarrollo vegetativo, superando significativamente al testigo y validando la hipótesis de un mayor vigor de las plantas. En el ámbito fitosanitario, el caldo sulfocálcico demostró una eficacia contundente, logrando una reducción estadísticamente significativa en la incidencia de patógenos fúngicos como la roya (*Hemileia Vastatrix*). Este hallazgo lo posiciona como una alternativa sustentable y costo-efectiva para el manejo integrado de enfermedades. A nivel económico, el análisis financiero reveló una alta rentabilidad aparente con una utilidad neta de c\$ 165.570. No obstante, se determinó que esta eficiencia era insostenible a largo plazo debido a la omisión de prácticas preventivas de manejo fitosanitario, exponiendo el sistema a una vulnerabilidad crítica. Finalmente, la aplicación de la herramienta TAPE (Tool for Agroecology Performance Evaluation) ubicó la finca en una etapa avanzada de transición agroecológica, destacándose por sus principios de resiliencia, diversidad y sinergias, aunque identificando la eficiencia y la cultura alimentaria como áreas prioritarias para futuras intervenciones.

Tabla de contenido

Introducción.....	11
Antecedentes.....	12
Planteamiento del problema.....	16
Preguntas de investigación	18
Pregunta general.....	18
Preguntas específicas:	18
Justificación	19
Objetivos	21
Objetivo general	21
Objetivos específicos	21
Hipótesis	22
Hipótesis general:	22
Hipótesis específicas:	22
Limitaciones	24
Contexto de la investigación.....	25
Ubicación del estudio	26
Marco teórico	27
Agroecología.....	27
Modelo agroecológico UTOPIA	27
Transición agroecológica	28
Indicadores para evaluar transición (económica, ecológica, social)	30
Manejo agronómico del café	31
Manejo de sombra en el café.....	31
Manejo de los árboles de sombra	32
Manejo de arvenses en el café	32
Manejo de la fertilidad en el café (sintética)	35
Fertilización Orgánica.....	38
Manejo de plagas (principales plagas, condiciones que propician su aparición, manejo convencional, manejo alternativo).....	41
Manejo de enfermedades (principales plagas, condiciones que propician su aparición, manejo convencional, manejo alternativo).....	49
Principales enfermedades en café	49
Diseño metodológico	55

Tipo de diseño mixto	55
Diseño experimental.....	56
Modelo de diseño DBCA.....	57
Tratamientos	58
Pasos para la Elaboración:	62
Pasos para la Elaboración:	64
Tipo de investigación.....	65
Población y muestra.....	65
Variables y categorías (operacionalización de variables)	66
Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	68
Confiabilidad y validez de los instrumentos.....	75
Encuesta al productor	76
Modelo de registro y monitoreo fitosanitario	76
Registro de muestreo y cálculo del Índice de Área Foliar (IAF)	76
Aplicación de la herramienta TAPE (Tool for Agroecology Performance Evaluation)	77
Técnicas, instrumentos y procedimiento para el procesamiento y análisis de la información	77
Análisis Estadístico Inferencial Avanzado	80
Visualización e Interpretación de Resultados	80
Criterios de calidad.....	80
Validez Interna: Control Experimental y Causalidad	80
Validez Externa: Relevancia y Extrapolación.....	81
Fundamentación de la Validez	81
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82
Desglose de la Demanda de Jornales y Costo Operativo	86
Análisis número de hojas en plantas de café (<i>Coffea arabica</i> L.)	90
Análisis de incidencia de roya (<i>Hemileia vastatrix</i>) en el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) ..	93
Análisis de incidencia de Mancha de hierro (<i>Cercospora coffeicola</i>) en el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.).....	98
Análisis de incidencia de ojo de gallo (<i>Mycena citricolor</i>) en el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.)	102
Análisis y resultados del instrumento para la Evaluación del Desempeño Agroecológico (TAPE).....	106
Recomendaciones Técnicas – Finca La Envidia	109
Conclusiones	112
Conclusión general.....	112
Conclusiones Específicas	112
Recomendaciones.....	114
Recomendación General.....	114
Recomendaciones Específicas	114
Bibliografía	116
Anexos	124

Introducción

La agricultura sostenible y la transición agroecológica representan un desafío y una oportunidad para los pequeños productores en Nicaragua, especialmente en el cultivo de café, un rubro de alta importancia económica, social y cultural. En un contexto marcado por el cambio climático, la degradación de los suelos y la volatilidad de los mercados internacionales, los productores enfrentan la necesidad de adoptar estrategias que les permitan mejorar la productividad y la rentabilidad sin comprometer la salud del ecosistema ni la calidad de vida de las comunidades rurales. (Asociación ecología, Tecnología y Cultura en los andes, 2024)

La agroecología surge como una alternativa viable para transformar los sistemas de producción convencionales en modelos más resilientes y sostenibles, promoviendo el uso eficiente de los recursos naturales, la diversificación de cultivos y la reducción de insumos químicos. En este sentido, la planificación integral de fincas y la incorporación de innovaciones tecnológicas sustentables se convierten en herramientas fundamentales para optimizar el manejo técnico, mejorar la fertilidad del suelo y fortalecer el control de plagas y enfermedades, contribuyendo a la estabilidad y sostenibilidad del sistema productivo. (Rojas Meza, Chavarria Arauz, & Salazar Centeno, 2021)

El presente trabajo se enfoca en evaluar la eficacia y rentabilidad del uso del sistema agroecológico en la finca “La Envidia”, propiedad del productor Herminio Palacios. A través de un análisis detallado, se evaluarán la rentabilidad actual del sistema de café considerando el sistema SAF, la eficacia de insumos agroecológicos tales como el caldo sulfocálcico, microorganismos de montaña líquidos y apichi. Además, se identificó el nivel de transición agroecológica alcanzado con la implementación de estas estrategias haciendo uso de la herramienta TAPE, proporcionando un marco de referencia para otros productores interesados en adoptar enfoques sostenibles en el cultivo de café.

Este estudio busca generar conocimientos aplicables y contribuir al desarrollo de modelos de producción más sostenibles en Nicaragua, promoviendo la integración de principios agroecológicos en la gestión de fincas cafetaleras. La experiencia de la finca “La Envidia” servirá como un caso de estudio para evaluar la viabilidad y los beneficios de la agroecología en la producción de café, ofreciendo recomendaciones prácticas para mejorar la productividad y la sostenibilidad del sector.

Antecedentes

Benavides & Acevedo, (2021) Describen a la transición agroecológica como un proceso de transformación de los sistemas convencionales de producción hacia sistemas sustentables basados en principios agroecológicos. Este proceso suele comprender al menos tres etapas:

- Incrementar la eficiencia de las prácticas convencionales para reducir insumos costosos o nocivos.
- Sustituir prácticas e insumos convencionales por alternativas sostenibles.
- Rediseñar el agroecosistema, diversificando cultivos y animales para lograr sistemas resilientes y autosuficientes

En Nicaragua, la agroecología surgió en los años 80 impulsada por ONG internacionales y campesinos innovadores, quienes integraron prácticas tradicionales y modernas para mejorar la productividad y la resiliencia de sus sistemas. El intercambio de conocimientos entre agricultores, a través de redes como el Movimiento Campesino a Campesino, fue clave para consolidar la agroecología como una alternativa sólida frente a los sistemas convencionales. (Gonzalvez, Salmeron Miranda, & Zamora, 2015).

En Costa Rica, un estudiante analizo el potencial de los microorganismos de montaña como sistemas de biofertilización de suelos. Se reprodujeron en laboratorio y se aplicaron en diferentes periodos de incubación como fertiriego en cultivos de ciclo corto. Los análisis incluyeron pruebas biológicas, químicas y físicas del suelo y las plantas. Los resultados mostraron que los microorganismos de montaña aumentan la actividad microbiana del suelo, mejoran la calidad del sustrato y estimulan el crecimiento vegetal, destacando su utilidad como biofertilizantes de bajo costo y fácil elaboración. (Carmona, 2017) .

Estudiantes de la universidad estatal de Bolivar, Panamá, caracterizaron bacterias presentes en bioles obtenidos de suelos de montaña, identificando especies como *Lysinibacillus fusiformis*, *Bacillus kochii*, *Methylobacterium sp.* y *Bacillus velezensis*. Se comprobó que estos microorganismos promueven el crecimiento vegetal y que la aplicación de bioles sólidos es una alternativa sostenible para pequeños agricultores, mejorando el rendimiento y la calidad de los cultivos. (Velardes, Roman, Amangandi , & Verdezoto, 2023).

Un estudiante de la facultad de ingeniería en la universidad nacional de Costa Rica describe que los microorganismos de montaña (MM) en fase líquida son consorcios microbianos

(bacterias fotosintéticas, hongos benéficos, bacterias productoras de ácido láctico y levaduras) obtenidos y multiplicados a partir de la fase sólida, para luego ser usados como biofertilizantes y biopesticidas en la agricultura. Su aplicación acelera procesos fisiológicos en los cultivos, como germinación, crecimiento, floración y fructificación. (Carmona, 2017).

Investigaciones en Costa Rica determinaron que las poblaciones microbianas benéficas en los MM líquidos incluyen principalmente fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo, lactobacilos y levaduras, todos en altas proporciones tras la activación. Estas comunidades contribuyen a la supresión de enfermedades, descomposición de materia orgánica y mejoramiento de la fertilidad del suelo. (Castro & Gonzales, 2021).

Los minerales quelatados son compuestos formados por la unión de un mineral con un agente orgánico que los envuelve en estructuras en forma de anillo, llamadas quelatos, lo que facilita su asimilación por las plantas. Esta quelatación mejora la disponibilidad y absorción de nutrientes esenciales, especialmente micronutrientes como hierro, zinc, manganeso y cobre, que en condiciones normales pueden precipitarse y volverse inaccesibles para las plantas debido a factores como el pH del suelo o la interacción con otros elementos. (Corpenca, 2014) El uso de minerales quelatados es una práctica clave en la agricultura sostenible y agroecológica, ya que mejora la fertilidad del suelo sin recurrir a fertilizantes químicos agresivos, favorece la biodiversidad microbiana y contribuye a la producción de alimentos más sanos y nutritivos. (Corpenca, 2014).

El uso de minerales quelatados es una práctica clave en la agricultura sostenible y agroecológica, ya que mejora la fertilidad del suelo sin recurrir a fertilizantes químicos agresivos, favorece la biodiversidad microbiana y contribuye a la producción de alimentos más sanos y nutritivos. (Corpenca, 2014).

Infoagro, s.f. (2018) Explica que los minerales quelatados son compuestos que involucran un ion metálico, como el cobre, manganeso, hierro o zinc, que está enlazado a un agente quelante de tipo orgánico. Esta combinación crea una estructura sólida que resguarda al mineral de reacciones no deseadas en el entorno, tal como la inmovilización o la precipitación. La palabra "quelato" tiene su origen en el griego "chele", que se traduce como garra, aludiendo a cómo el mineral es "agarrado" por el agente quelante. Esta tecnología se empezó a desarrollar cuando, en la segunda mitad del siglo XX, se demostró que varios micronutrientes fundamentales no estaban disponibles para las plantas en suelos con un pH alto o con una cantidad elevada de fosfatos.

El caldo sulfocálcico es un bioinsumo agrícola elaborado a base de azufre en polvo y cal viva, mezclados con agua natural sin cloro, que se utiliza como fungicida, insecticida y acaricida para el control de plagas y enfermedades en cultivos. Además, aporta nutrientes esenciales como calcio y azufre, favoreciendo el crecimiento, la floración y la fructificación de las plantas. (INIFAP, 2021).

- Actúa como fungicida y acaricida, controlando plagas como ácaros, trips, cochinillas, broca del café, mildiu, oídio, roya y otros hongos e insectos.
- La cal viva tiene alta reactividad alcalina, neutraliza el suelo y evita la proliferación de bacterias no deseadas, mejorando la absorción de nutrientes.
- El azufre es un nutriente esencial y tiene baja toxicidad para humanos y animales, siendo un producto compatible con la agricultura orgánica y agroecológica.
- El caldo sulfocálcico también puede usarse para sanar heridas en árboles y proteger injertos contra infecciones (INIFAP, 2021).

El caldo sulfocálcico se creó por primera vez en 1886 para luchar contra la sarna en el ganado vacuno. Después, se empezó a usar en la agricultura, sobre todo en cultivos de frutas, donde mostró su efectividad contra un amplio espectro de plagas y enfermedades. Esta opción se crea al hervir azufre elemental (también llamado flor de azufre) con cal viva o cal hidratada en agua. El resultado es un líquido de color marrón rojizo que tiene propiedades bactericidas, acaricidas, fungicidas e insecticidas. (Agroproyectos, 2023).

Una de las ventajas del caldo sulfocálcico es que su producción tiene un costo reducido, lo cual lo hace una alternativa asequible para los productores medianos y pequeños. Además, es apto para la agricultura ecológica porque no produce residuos tóxicos y su degradación en el medioambiente ocurre de manera rápida. No obstante, su utilización exige precaución: tiene que usarse en horas frescas del día, no emplearse durante la floración y no combinarse con productos que tengan aceites minerales o nitratos porque puede provocar fitotoxicidad. (Díaz R. , 2017).

El Apichi es un insecticida natural elaborado a partir de extractos botánicos, principalmente ajo (*Allium sativum*), chile (ají picante) y pimienta negra (*Piper nigrum*). Este bioinsumo se utiliza ampliamente en la agricultura sostenible para el control de plagas de cuerpo blando,

tales como pulgones, cochinillas, trips, ácaros y mosca blanca, que afectan diversos cultivos hortícolas y frutales. (Pilar a Diario, 2022).

La elaboración del Apichi se basa en la combinación de compuestos bioactivos presentes en sus ingredientes, los cuales poseen propiedades insecticidas, repelentes y fungicidas. El ajo aporta compuestos sulfurados con acción bactericida y fungicida, mientras que el chile contiene capsaicinoides que actúan como repelentes e insecticidas al afectar el sistema nervioso de los insectos. La pimienta negra, por su parte, contribuye con alcaloides que incrementan la toxicidad y el efecto de inmovilización rápida sobre las plagas.

El Apichi es un insecticida biológico latinoamericano que ha ido adquiriendo fama en la agricultura sustentable y ecológica. Su nombre es un acrónimo de sus ingredientes fundamentales: Ají (o chile), ajo y pimienta. El Apichi es una evolución de la práctica histórica del empleo de extractos vegetales para controlar las plagas agrícolas, que se ha llevado a cabo durante siglos en diferentes culturas; este aprovecha las características repelentes y biocidas de sus elementos. Se diferencia de los insecticidas sintéticos por su procedencia natural y porque tiene menor impacto negativo en el medio ambiente, además de ser biodegradable y menos tóxico para organismos superiores y la salud de las personas. (Alturazza, 2023).

Por su composición de pimienta, ajo y chile, el Apichi es efectivo contra una extensa variedad de plagas con cuerpo blando que atacan al café. Gracias a sus capacidades insecticidas y repelentes, es útil para controlar insectos como plagas de mosca blanca o pulgones que pueden invadir los brotes y las hojas jóvenes del cafeto. Su mecanismo de acción, que incluye repelencia y toxicidad aguda por contacto, contribuye a controlar las poblaciones de estas plagas de forma natural, fomentando así un equilibrio más ecológico en la siembra. Es importante señalar que la eficacia primordial para el manejo de plagas más graves o internas, como la broca del café (*Hypothenemus hampei*), radica en la prevención y en el control de las plagas superficiales. (Cobo, 2021).

Planteamiento del problema

Según Paniagua(2019) el café en Nicaragua es un pilar fundamental de la economía nacional, representando uno de los principales productos de exportación y fuente de sustento para miles de familias agricultoras. Sin embargo, el sistema de producción cafetalero atraviesa una crisis caracterizada por la reducción sostenida de la productividad, suelos empobrecidos, el aumento de plagas (broca, minador, nematodos) y enfermedades (roya, ojo de gallo, antracnosis), factores que disminuyen tanto el rendimiento como la calidad del grano. Estos problemas afectan la rentabilidad y estabilidad económica de los productores, quienes además enfrentan costos crecientes por la dependencia de insumos químicos.

El origen de esta situación se asocia a la adopción del modelo convencional de la Revolución Verde, basado en el uso intensivo de fertilizantes sintéticos, insecticidas y fungicidas (Agrawdata, 2024). Si bien este enfoque incrementó la producción en el corto plazo, a largo plazo ha causado degradación de los recursos naturales, pérdida de biodiversidad y debilitamiento de las plantas, haciéndolas más vulnerables según la teoría de la trofobiosis. Además, el mal manejo de la sombra, la pérdida de cobertura vegetal y la compactación de los suelos han agravado la fragilidad del sistema productivo (Fonseca, 2024).

De persistir este modelo convencional, el pronóstico para la caficultura nicaragüense es negativo: mayor vulnerabilidad a plagas y enfermedades, aumento de costos, pérdida de fertilidad y menor competitividad internacional. Esto pone en riesgo los ingresos de los productores y la permanencia del café como cultivo estratégico. Frente a este panorama, la transición agroecológica emerge como una alternativa viable. El uso de bioinsumos (microorganismos de montaña, bioles, caldo sulfocálcico, Apichi) ofrece la posibilidad de reducir la dependencia de agroquímicos, restaurar la fertilidad, y manejar plagas y enfermedades de manera sostenible, haciendo necesario investigar y evaluar su impacto real. Según Gonzales, Salmeron, & Zamora (2015) en Nicaragua, la transición hacia la agroecología comenzó en los años 80 con iniciativas impulsadas por organizaciones campesinas y ONG, promoviendo prácticas sostenibles como el manejo de sombra, diversificación y control biológico. Investigaciones recientes en la región han evidenciado el potencial de los bioinsumos para mejorar la fertilidad, estimular el crecimiento vegetal y reducir la incidencia de plagas y enfermedades, con bajo costo y fácil.

La finca “La Envidia”, eje de este estudio, brinda una oportunidad para analizar cómo la implementación de estas tecnologías puede consolidar un modelo productivo más rentable, sostenible y replicable.

Preguntas de investigación

Pregunta general:

- ¿Cuál es la eficacia de la implementación de alternativas agroecológicas en el desarrollo vegetativo del café, su rendimiento productivo y la incidencia de enfermedades?

Preguntas específicas:

- ¿Cómo inciden el manejo técnico, los costos de producción y la rentabilidad en el rubro café de la finca La Envidia?
- ¿Cuál es la eficacia comparativa de la aplicación foliar de Microorganismos de Montaña Líquidos (MML) y del caldo sulfocálcico en plantas de café, manifestada en el Índice Foliar (IF) y en la reducción de la incidencia de las enfermedades fúngicas (roya, ojo de gallo y mancha de hierro)?
- ¿Cuál es el nivel de transición agroecológica alcanzado en la finca de Herminio Palacios según la herramienta TAPE, tras la incorporación de tecnologías agroecológicas?
- ¿Cuál es el sistema de tecnologías agroecológicas más apropiado y sostenible que se puede proponer para la finca del productor Herminio Palacios, basándose en los resultados de la investigación?

Justificación

La presente investigación se enfoca en la evaluación de sistemas agroecológicos aplicados al cultivo de café, mediante el uso de bioinsumos como microorganismos de montaña líquidos, microorganismos líquidos combinados con minerales quelatados, caldo sulfocálcico y el bioinsecticida apichi. Este estudio se desarrolló en la finca La Envidia, propiedad del productor Herminio Palacios, ubicada en la comunidad Las Escaleras, Matagalpa. El propósito central es diseñar, implementar y validar un modelo de manejo agrícola sostenible, adaptado a las condiciones locales, que contribuya a la transición hacia una caficultura más resiliente, eficiente y ambientalmente responsable.

La caficultura constituye uno de los principales motores económicos del país, generando empleo, ingresos y estabilidad para miles de familias rurales. Sin embargo, este sector enfrenta una serie de desafíos estructurales que amenazan su sostenibilidad a largo plazo. Entre ellos destacan la degradación acelerada de los suelos, provocada por el uso intensivo de agroquímicos; el incremento en los costos de producción, que limita la rentabilidad de los pequeños y medianos productores; y la creciente vulnerabilidad del cultivo frente a plagas y enfermedades como la broca del café (*Hypothenemus hampei*) y la roya (*Hemileia vastatrix*), que afectan tanto la calidad como la cantidad de la cosecha.

Estas problemáticas no solo comprometen la viabilidad económica del sector, sino que también generan impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana, al tiempo que profundizan la inseguridad alimentaria y la fragilidad social de las comunidades cafetaleras. En este contexto, se vuelve urgente explorar alternativas que permitan reducir la dependencia de insumos químicos, restaurar la fertilidad del suelo, y fortalecer la capacidad de adaptación de los sistemas productivos ante los cambios climáticos y las presiones del mercado.

La agroecología, entendida como una ciencia, una práctica y un movimiento social, ofrece un enfoque integral para abordar estos desafíos. El uso de bioinsumos naturales y técnicas agroecológicas permite mejorar la salud del suelo, incrementar la biodiversidad funcional, optimizar el uso de los recursos locales, y promover una producción más limpia y justa. Además, estos sistemas favorecen la autonomía de los productores, al reducir la necesidad de adquirir insumos externos costosos, y fortalecen los vínculos comunitarios mediante el intercambio de conocimientos y experiencias.

El impacto esperado de esta investigación incluye la generación de evidencia técnica y económica que respalde el uso de bioinsumos en el manejo del cultivo de café, demostrando su efectividad en el control de plagas y enfermedades, así como en la mejora del vigor de las plantas y la calidad del grano. Se busca también validar un modelo replicable que pueda ser adoptado por productores de pequeña y mediana escala, instituciones académicas, centros de investigación y organizaciones de desarrollo rural interesadas en promover la transición hacia sistemas productivos sostenibles.

Los resultados de este estudio tienen el potencial de contribuir significativamente a la conservación de los recursos naturales, la reducción del impacto ambiental de la agricultura, y la promoción de una cultura de producción más consciente, ética y responsable. La adopción de sistemas agroecológicos en el cultivo de café puede representar un paso decisivo hacia la sostenibilidad social, económica y ecológica del sector, favoreciendo la continuidad de la actividad cafetalera en el largo plazo y mejorando la calidad de vida de quienes dependen de ella.

Objetivos

Objetivo general

- Evaluar la eficacia de alternativas agroecológicas en el desarrollo y manejo integrado de enfermedades y rendimiento del cultivo del café (*coffea arabica L*).

Objetivos específicos

- Determinar la rentabilidad económica, costos y el manejo técnico actual del rubro café en la finca “La Envidia”, propiedad del productor Herminio Palacios.
- Evaluar la eficacia agronómica integral de la aplicación foliar de Microorganismos de Montaña Líquidos (MML) y del caldo sulfocálcico en plantas de café, mediante la cuantificación del Índice Foliar (IF) y la reducción enfermedades fúngicas, roya, ojo de gallo y mancha de hierro.
- Identificar el nivel de transición agroecológica alcanzado en la finca de Herminio Palacios, mediante la aplicación de una herramienta estandarizada (como TAPE), tras la incorporación de las tecnologías agroecológicas evaluadas.
- Proponer un sistema de tecnologías agroecológicas en la finca del productor Herminio Palacios considerando la evaluación realizada.

Hipótesis

Hipótesis general:

- Hipótesis alternativa (H_a): Al menos un tratamiento presenta diferencia estadística significativa en las variables de crecimiento, desarrollo y sanidad de en comparación al testigo
- Hipótesis nula (H_0): No existe diferencia estadística significativa de las variables de crecimiento, desarrollo y sanidad de las plantas de café (*coffea arabica L*) entre los tratamientos y el testigo.

Hipótesis específicas:

Hipótesis específica 1:

- Hipótesis alternativa (H_a): El manejo técnico actual influye significativamente en los costos de producción y la rentabilidad del cultivo de café en la finca “La Envidia”.
- Hipótesis nula (H_0): El manejo técnico actual no influye significativamente en los costos de producción ni en la rentabilidad del cultivo de café en la finca “La Envidia”.

Hipótesis específica 2:

- Hipótesis alternativa (H_1): La aplicación de MML y/o MML enriquecido con rocas minerales produce un incremento significativo en el índice foliar (IF) del cafeto, en comparación con el tratamiento control, indicando un impacto positivo en el vigor y la salud de la planta.
- Hipótesis nula (H_0): No existe una diferencia significativa en el índice foliar (IF) de las plantas de café entre las parcelas tratadas con MML, MML enriquecido con rocas minerales y el tratamiento control no tratado.

Hipótesis específica 3:

- hipótesis alternativa (H_a): La aplicación del caldo sulfocálcico produce una reducción significativa en la incidencia de roya, ojo de gallo y mancha de hierro en el cultivo de café, demostrando su potencial como alternativa agroecológica de manejo fitosanitario.
- Hipótesis nula (H_0): El caldo sulfocálcico no tiene un efecto significativo en la reducción de la incidencia de roya, ojo de gallo y mancha de hierro en las plantas de café, en comparación con el tratamiento control.

Hipótesis específica 4:

- Hipótesis alternativa (H_a): La incorporación de tecnologías agroecológicas ha incrementado el nivel de transición agroecológica en la finca “La Envidia”, según la herramienta TAPE.
- Hipótesis nula (H_0): La incorporación de tecnologías agroecológicas no ha incrementado el nivel de transición agroecológica en la finca “La Envidia”, según la herramienta TAPE.

Limitaciones

- La investigación se desarrolló durante un periodo corto del cultivo, lo que impide observar los efectos acumulativos y de largo plazo que podrían generar los bioinsumos en aspectos como la fertilidad del suelo, la dinámica de plagas y enfermedades, y la productividad general del cultivo. Para validar plenamente la sostenibilidad del sistema propuesto, sería necesario realizar estudios multianuales que permitan evaluar su comportamiento en diferentes condiciones y etapas fenológicas.
- Las condiciones climáticas propias de la región como las precipitaciones, la humedad relativa y las fluctuaciones de temperatura influyen directamente en la respuesta del cultivo y en la eficacia de los bioinsumos aplicados. Dado que estos factores no pueden ser controlados completamente en campo, los resultados obtenidos podrían estar parcialmente condicionados por el clima específico del ciclo evaluado, lo que limita su generalización.
- Los resultados obtenidos reflejan las condiciones agroecológicas particulares de la finca ubicada en Matagalpa. Aunque ofrecen información valiosa para contextos similares, su extrapolación a otras zonas cafetaleras del país debe hacerse con precaución, considerando las diferencias en altitud, tipo de suelo, microclima y prácticas culturales.

Contexto de la investigación

La caficultura en Nicaragua representa mucho más que una actividad económica: es una tradición profundamente arraigada en la vida rural, una fuente de identidad cultural y el sustento de miles de familias que dependen de ella para sobrevivir. En regiones como Matagalpa, donde el café se cultiva en paisajes montañosos de gran riqueza ecológica, esta actividad ha sido históricamente un motor de desarrollo local. Sin embargo, en los últimos años, el sector ha enfrentado una serie de desafíos que amenazan su sostenibilidad y ponen en riesgo el bienestar de las comunidades cafetaleras. (Universida Nacional Autnoma de Nicaragua, 2025)

Entre los principales problemas se encuentran la degradación progresiva de los suelos, causada en gran parte por el uso intensivo de agroquímicos; el aumento constante en los costos de producción, que limita la rentabilidad de los pequeños y medianos productores; y la vulnerabilidad del cultivo frente a plagas y enfermedades como la broca y la roya, que afectan directamente la calidad y cantidad de la cosecha. Estos factores no solo comprometen la productividad, sino que también generan impactos negativos sobre el medio ambiente, la salud humana y la estabilidad social de las zonas rurales. (IICA, 2021)

En este contexto, surge la necesidad urgente de replantear el modelo de producción cafetalero, buscando alternativas que permitan conservar los recursos naturales, reducir la dependencia de insumos externos y fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas. La agroecología se presenta como una respuesta integral a esta problemática, al promover prácticas sostenibles que respetan los ciclos naturales, aprovechan los recursos locales y colocan al productor en el centro del proceso de transformación. (Altieri & Nicholls, Teoría y práctica para una, 2000)

La presente investigación se desarrolla en la finca La Envidia, propiedad del productor Herminio Palacios, ubicada en la comunidad Las Escaleras, municipio de Matagalpa. Este espacio sirve como escenario para evaluar la aplicación de bioinsumos —como microorganismos de montaña líquidos, minerales quelatados, caldo sulfocálcico y el bioinsecticida apichi dentro de un sistema de manejo agroecológico diseñado para mejorar la fertilidad del suelo, controlar plagas y enfermedades de manera natural, y fomentar una producción más limpia y eficiente.

El estudio se plantea como una experiencia piloto durante un periodo productivo, con el objetivo de generar evidencia técnica y económica que respalde la viabilidad de estos insumos

en condiciones reales de campo. Más allá de los resultados agronómicos, se busca también aportar al empoderamiento de los productores, brindándoles herramientas prácticas y conocimientos que les permitan tomar decisiones más informadas y sostenibles.

Este trabajo se inscribe en una visión de futuro que apuesta por una caficultura más consciente, responsable y comprometida con el bienestar de las personas y del entorno. La transición hacia sistemas agroecológicos no solo representa una oportunidad para mejorar la calidad del café y reducir los costos de producción, sino también para fortalecer la soberanía alimentaria, conservar la biodiversidad y dignificar el trabajo de quienes cultivan la tierra con esfuerzo y dedicación.

Ubicación del estudio

La finca, propiedad del productor Herminio Palacios, ubicada en la comunidad Las Escaleras No1, pertenece al municipio Matagalpa, departamento de Matagalpa, se encuentra a una altura de 779.09msnm posee un sistema de producción extensivo con una extensión de 4 manzanas la cual cuenta con cuatro rubros principales en estos se encuentra café, cacao, musáceas, cítricos. Se encuentra ubicada a 20 Km de la ciudad de Matagalpa, cuenta con 4 manzanas, cabe de destacar que el productor, trabaja con el establecimiento de árboles forestales, este con el fin poder sacar un provecho tanto de sombra para el rubro principal que es el café como para la producción de madera. Es importante conocer los datos de la finca y conocer su ubicación lo que es muy necesario para tener a un mejor conocimiento de la propiedad en general, en la tabla 1 se detallan los datos.

Tabla 1

Datos generales de la finca "La envidia"

Departamento	Matagalpa
Municipio	Matagalpa
Comunidad	Las Escaleras 1
Tipo de sistema evaluado	S.A.F
Nombre de la finca	La envidia
Altura (msnm)	779.09m
Precipitación (mm/años)	1600mm/año
Tipo de suelo	Franco arcillo-arenoso

Marco teórico

Agroecología

La agroecología es una ciencia y una práctica que busca transformar los sistemas agrícolas convencionales en modelos más sostenibles, resilientes y justos. Se basa en principios ecológicos como la diversidad biológica, el reciclaje de nutrientes, la sinergia entre especies y el uso eficiente de los recursos naturales. A diferencia de la agricultura industrial, que suele depender de insumos externos como fertilizantes sintéticos y pesticidas, la agroecología promueve el uso de conocimientos locales, semillas nativas y prácticas adaptadas al entorno. Esto no solo mejora la salud del suelo y la biodiversidad, sino que también fortalece la autonomía de las comunidades rurales. (Isan, 2024)

Modelo agroecológico UTOPIA

Group (2025) nos explica que el término "Modelo Utopía" parece estar asociado principalmente con un sistema de agricultura orgánica y producción de biofábricas enfocado en la microbiología para mejorar la calidad de los cultivos y forrajes, incrementar la eficiencia de la fotosíntesis y reducir la necesidad de agroquímicos.

Objetivo Principal:

Cosechar el doble de lo cosechado con la mitad de la inversión, a través de la producción de fertilizantes y nutrientes orgánicos de bajo costo y alta eficacia, basados en microorganismos.

Enfoque:

Microbiología y Suelo: Utiliza microorganismos para descompactar el suelo, mineralizar las plantas, y mejorar la absorción de carbono y nutrientes.

Nutrición de Cultivos: Se centra en la nutrición lumínica, carbónica y carbón-mineral. La "Biofábrica Modelo Utopía" está diseñada para producir estos componentes.

Transdisciplinario: Se menciona que es un modelo científico y transdisciplinario, lo que implica la aplicación de varias ciencias en el proceso de producción.

Estaciones del Modelo Utopía

Las estaciones son formulaciones biológicas y minerales, generalmente basadas en la multiplicación de microorganismos (biomasa) y la extracción de ácidos orgánicos. Cada estación tiene un propósito específico. (Debajo De la piedra, 2025)

- Estación 1: Usualmente se refiere al cultivo base de microorganismos de montaña (MM) o microorganismos eficientes (ME), ricos en carbono y nitrógeno.
- Estación 2: Un cultivo de microorganismos concentrado (a menudo también un cultivo de MM) que se enriquece para ser un fertilizante líquido altamente económico y eficiente. Se puede utilizar foliarmente (en baja dosis) o al suelo.
- Estación 3: Se relaciona con la formulación de alimentos enriquecidos para ganado (ej. ensilado), donde se usan los microorganismos de la biofábrica para mejorar la nutrición y digestibilidad del forraje.
- Estación 4: Un producto que puede ser enriquecido con diferentes minerales (como zinc, boro) para crear una formulación específica según la necesidad del cultivo.
- Estación 5: En las fuentes se menciona la elaboración de un Multimineral Quelatado, crucial para la nutrición de la planta.
- Estación 6: Se enfoca en la extracción de ácidos húmicos y fúlvicos de alta concentración (a partir de Leonardita, por ejemplo) para mejorar la adherencia de los fertilizantes y la calidad del suelo.
- Estación 7: se centra en la producción de insumos que protegen a las plantas de plagas y enfermedades, utilizando componentes biológicos y orgánicos.

Transición agroecológica

La transición agroecológica transforma los sistemas agrícolas hacia modelos sostenibles, resilientes y justos. Va más allá de eliminar agroquímicos; implica repensar la producción de alimentos. Este enfoque promueve la biodiversidad, mejora la salud del suelo, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y fortalece la economía local al apoyar prácticas agrícolas que benefician tanto a los productores como a los consumidores. La transición agroecológica también fomenta la equidad social y contribuye a la seguridad alimentaria, garantizando un acceso justo y sostenible a alimentos nutritivos para todos. (Marasas, Blandi, Berensztein, & Fenardez, 2017)

Según la Secretaría de Agricultura de México, esta transición implica integrar principios ecológicos y sociales para rediseñar los sistemas agroalimentarios, con el objetivo de optimizar las interacciones entre plantas, animales, seres humanos y el entorno. Es decir, no es solo una cuestión técnica, sino también cultural, política y económica. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023)

La FAO destaca que esta transformación ocurre en múltiples niveles: desde el manejo de una finca hasta las políticas públicas. Puede incluir:

- Sustitución de insumos (por ejemplo, reemplazar fertilizantes químicos por compost).
- Rediseño del sistema productivo (como pasar de monocultivos a policultivos).
- Fortalecimiento comunitario y recuperación de saberes locales. (FAO, 2018)

En la tabla 2 se explican los diferentes niveles de transición agroecológica y los objetivos de cada nivel:

Tabla 2

Niveles de transición agroecológica

Nivel	Descripción	Objetivos principales	Ejemplos de prácticas
1. Eficiencia	Optimización del uso de insumos sin modificar el modelo productivo.	Reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia del sistema convencional.	Riego tecnificado, fertilización racional, control integrado de plagas.
2. Sustitución	Reemplazo de insumos químicos por alternativas biológicas o naturales.	Disminuir la dependencia de agroquímicos y mejorar la salud del agroecosistema.	Biofertilizantes, bioplaguicidas, abonos verdes, microorganismos benéficos.
3. Rediseño	Transformación del sistema productivo basado en principios ecológicos.	Crear agroecosistemas resilientes, diversificados y autosuficientes.	Policultivos, agroforestería, rotación de cultivos, integración animal-planta.
4. Revalorización social	Reconocimiento de saberes locales y fortalecimiento comunitario.	Promover la autonomía campesina y la justicia social.	Redes de intercambio, educación agroecológica, participación comunitaria.
5. Incidencia política	Transformación de políticas públicas y marcos institucionales.	Impulsar cambios estructurales hacia la soberanía alimentaria.	Incidencia en políticas agrarias, defensa territorial, legislación agroecológica.

Nota. Fuente: Datos adaptados y combinados de (Altieri & Toledo, ecoagricultor, 2011) y (Tittone, 2019)

Indicadores para evaluar transición (económica, ecológica, social)

Para identificar el nivel de avance agroecológico de una finca o comparar su evolución en el tiempo, se emplea el *Instrumento para la Evaluación del Desempeño Agroecológico (TAPE)*, desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Esta herramienta proporciona un marco metodológico integral que permite caracterizar y analizar sistemas agrícolas desde una perspectiva multidimensional, considerando aspectos ecológicos, sociales, económicos y culturales. (FAO, 2022)

TAPE se basa en 10 elementos fundamentales del enfoque agroecológico, los cuales representan principios interrelacionados que orientan la transformación hacia sistemas alimentarios sostenibles. Estos elementos son:

- **Diversidad:** Promoción de la biodiversidad funcional en todos los niveles del agroecosistema.
- **Co-creación e intercambio de conocimientos:** Integración de saberes científicos y tradicionales mediante procesos participativos.
- **Sinergias:** Fomento de interacciones positivas entre componentes del sistema agrícola.
- **Eficiencia:** Optimización del uso de recursos naturales y reducción de insumos externos.
- **Reciclaje:** Aprovechamiento de los flujos internos de nutrientes, energía y biomasa.
- **Resiliencia:** Capacidad del sistema para adaptarse y recuperarse frente a perturbaciones.
- **Valores humanos y sociales:** Inclusión, equidad, solidaridad y bienestar de las comunidades rurales.
- **Cultura y tradiciones alimentarias:** Respeto por las prácticas culturales locales y la soberanía alimentaria.
- **Gobernanza responsable:** Participación en la toma de decisiones y gestión territorial.
- **Economía circular y solidaria:** Modelos económicos basados en la cooperación, el comercio justo y el aprovechamiento local.

Manejo agronómico del café

El manejo agronómico del café abarca prácticas integrales que buscan optimizar la productividad, calidad y sostenibilidad del cultivo, iniciando con la selección de variedades adaptadas al clima y resistentes a enfermedades como la roya. Requiere suelos fértiles y bien drenados, altitudes entre 800 y 2,000 msnm, y temperaturas moderadas, ideales para *Coffea arabica*. La siembra se realiza en terrenos preparados con medidas de conservación como curvas a nivel, combinada con sombra natural mediante árboles asociados. (Instituto del Café de Costa Rica, 2011)

La fertilización se ajusta según análisis de suelo, priorizando el uso de compost y materia orgánica, mientras que el control de plagas y enfermedades se lleva a cabo mediante estrategias integradas que incluyen podas sanitarias, control biológico y variedades mejoradas. Además, se realizan podas para renovar la planta, regular su altura y mejorar la aireación del cultivo. Finalmente, una cosecha selectiva y un buen manejo poscosecha incluyendo despulpado, fermentación y secado adecuado son esenciales para preservar la calidad del grano y asegurar un producto final competitivo y aromáticamente rico. (Instituto del Café de Costa Rica, 2011)

Manejo de sombra en el café

El manejo de sombra en el cultivo de café es una práctica clave para mantener un equilibrio entre productividad, salud del cafeto y sostenibilidad ambiental. La sombra regula la temperatura del microclima, conserva la humedad del suelo, reduce la erosión, mejora la fertilidad mediante el aporte de materia orgánica y protege al cafeto de radiación solar excesiva y vientos fuertes. Además, fomenta la biodiversidad en las fincas, ofreciendo hábitats para aves, insectos polinizadores y otros organismos beneficiosos. (Ordoñez & Sosa, 2020)

Existen tres tipos principales de sombra: provisional, que se utiliza en los primeros años del cafetal con plantas de crecimiento rápido como crotalaria, gandul o maíz; temporal, con especies como plátano, higuerillo o guandul que acompañan al cafeto mientras se establecen los árboles permanentes; y permanente, con árboles de gran porte que conviven con el cafeto durante todo su ciclo productivo.

Entre los árboles más recomendados para la sombra permanente se encuentran especies como *Inga* (guabo o guama), *Erythrina* (poró o cámbulo), *Grevillea robusta* (grevillea), *Leucaena leucocephala* (leucaena) y *Albizia* (albizia). Estas especies son preferidas por su capacidad de fijar nitrógeno en el suelo, su rápido crecimiento y su adaptabilidad a diferentes condiciones

climáticas. Además, proporcionan cobertura adecuada sin competir excesivamente por nutrientes con los cafetos y producen materia orgánica al caer sus hojas. (Díaz M. , 2021)

El porcentaje de sombra óptimo varía en función de la altitud y las condiciones climáticas locales. En zonas de baja altitud (por debajo de 1,000 metros sobre el nivel del mar), donde las temperaturas tienden a ser más altas, se recomienda mantener una cobertura de sombra del 50-60% para reducir el estrés térmico. A altitudes medias (entre 1,000 y 1,500 metros), un nivel de sombra entre 40% y 50% es ideal, mientras que en zonas de mayor altitud (por encima de 1,500 metros), donde las temperaturas son más frescas, la sombra puede reducirse al 30-40%, asegurando siempre una buena aireación y entrada de luz. (Díaz M. , 2021)

Un manejo adecuado de la sombra implica realizar podas periódicas para regular la densidad y evitar el sombreado excesivo, lo que podría reducir la fotosíntesis y la productividad de los cafetos. También se debe mantener una distribución equilibrada de los árboles en la finca para garantizar un crecimiento uniforme de las plantas de café. Además, los agricultores deben monitorear constantemente las condiciones de sombra y ajustarlas según las necesidades específicas de las plantas y el clima local.

Manejo de los árboles de sombra

El manejo de los árboles de sombra incluye técnicas como la poda, el desrame y el raleo. La poda se realiza para controlar la altura y la densidad de los árboles, asegurando que no bloqueen excesivamente la luz necesaria para los cafetos. El desrame, por su parte, consiste en eliminar las ramas inferiores para mejorar la circulación del aire y reducir la incidencia de enfermedades. El raleo implica reducir el número de árboles en áreas específicas para evitar la competencia excesiva por nutrientes y agua.

Además, los agricultores pueden aplicar compost o fertilizantes orgánicos alrededor de los árboles de sombra para fomentar su crecimiento saludable y su capacidad de aportar nutrientes al suelo. También es importante elegir especies de sombra que se ajusten bien al clima y a las condiciones específicas de la finca, así como realizar un monitoreo regular para identificar y tratar posibles plagas o enfermedades que puedan afectar a los árboles.

Manejo de arvenses en el café

El manejo adecuado de arvenses en cafetales es una tarea crucial que influye directamente en la productividad y sostenibilidad del cultivo. Estas plantas, comúnmente consideradas malezas, pueden competir de manera significativa con el cafeto por recursos esenciales como agua, luz

y nutrientes, afectando su crecimiento y rendimiento. Por ello, implementar estrategias eficaces y sostenibles es imprescindible para garantizar la salud del cultivo y la preservación del entorno productivo. (Gutierrez, Gomez, & Torrez, 2020)

Un control eficiente de las arvenses no solo favorece el desarrollo óptimo del cafeto, sino también contribuye a la mejora de la calidad del suelo, disminuye riesgos de erosión y optimiza el uso de recursos. Además, algunas arvenses pueden desempeñar un papel ecológico beneficioso, sirviendo como cobertura vegetal para proteger el suelo o como hábitat para insectos polinizadores y otros organismos benéficos.

Estrategias fundamentales:

- **Prevención:** La prevención es la primera línea de defensa contra las arvenses. Esto incluye prácticas como la limpieza regular de herramientas, el uso de semillas certificadas y el manejo adecuado de residuos del cultivo. Prevenir la propagación de arvenses desde el inicio reduce significativamente los costos y el esfuerzo requerido para su control en etapas posteriores.
- **Control manual y mecánico:** Este método es especialmente útil en los primeros años del cultivo, donde las plantaciones son más vulnerables a la competencia. El deshierbe manual o con herramientas como machetes, azadones y desbrozadoras permite eliminar las arvenses de forma precisa y selectiva, protegiendo las plantas jóvenes.
- **Coberturas vegetales:** Utilizar leguminosas o plantas nobles como cobertura viva suprime el crecimiento de arvenses indeseadas, mejora la fertilidad del suelo al fijar nitrógeno y proporciona una protección frente a la erosión. Esta estrategia también fomenta la biodiversidad en el cafetal.
- **Control químico selectivo:** Si bien los herbicidas pueden ser una herramienta eficaz, su uso debe ser limitado y selectivo, priorizando productos de bajo impacto ambiental. Las aplicaciones indiscriminadas pueden dañar la biodiversidad del área y generar resistencia en las arvenses, dificultando el control posterior.

Para maximizar la eficacia de estas prácticas, es crucial adoptar un enfoque integrado que combine métodos preventivos, culturales, mecánicos y químicos según las condiciones específicas de cada cafetal. Además, el monitoreo constante del estado del cultivo y del comportamiento de las arvenses permite ajustar las estrategias de control y prevenir problemas antes de que se agraven.

Más allá del rendimiento y la productividad, un manejo responsable de arvenses asegura la preservación de los recursos naturales y la biodiversidad del entorno. Esto es especialmente importante para aquellas fincas que buscan certificaciones de sostenibilidad o producen cafés orientados a mercados especializados. Por lo tanto, el manejo adecuado de arvenses no debe ser visto como una tarea secundaria, sino como un elemento clave en la gestión integral del cafetal.

Existen varios productos y estrategias que pueden utilizarse para el manejo de arvenses, dependiendo del enfoque (convencional u orgánico), el tipo de arvense y la etapa del cultivo. Cada método, ya sea químico, orgánico o mecánico, tiene sus ventajas y desventajas, y es importante adaptarlos según las necesidades específicas del cafetal.

Herbicidas químicos selectivos (uso convencional)

gutierrez (2020) habla sobre los diferentes productos y métodos que se pueden utilizar para controlar las arvenses, estos pueden ser químicos u orgánicos, algunos de los que recomienda, son los siguientes:

- Glifosato: Este herbicida sistémico y no selectivo actúa sobre la totalidad de la planta, siendo especialmente útil para el control de arvenses de raíz profunda. Su uso debe ser aplicado cuidadosamente para evitar dañar el cafeto u otras plantas asociadas.
- 2,4-D amina: Es eficaz para controlar especies específicas como *Conyza bonariensis* (venadillo) y puede ser usado en combinación con el glifosato para potenciar su efecto.
- Paraquat: Herbicida de contacto que elimina el follaje de las arvenses rápidamente. Aunque efectivo, su uso está restringido o prohibido en algunas regiones debido a su alta toxicidad y riesgos ambientales.
- Herbicidas preemergentes: Productos como Diuron o Pendimetalina previenen la germinación de nuevas arvenses, manteniendo las áreas de cultivo con menos competencia. Es esencial aplicarlos con precaución para evitar afectaciones al cafeto.

Alternativas orgánicas o de bajo impacto

- Coberturas vivas: Plantas como *Arachis pintoi* (maní forrajero) o *Desmodium* spp. son excelentes opciones para suprimir arvenses mientras mejoran la fertilidad del suelo al fijar nitrógeno. También actúan como barreras naturales contra la erosión.
- Extractos alelopáticos: Extractos naturales de plantas como ajo, ajeno o neem están en fase experimental, pero han demostrado potencial para inhibir el crecimiento de ciertas arvenses, generando un impacto menor en el ecosistema del cafetal.

- Vinagre agrícola: El ácido acético concentrado (20% o más) es un herbicida de contacto utilizado en sistemas orgánicos. Aunque menos eficaz en raíces profundas, es una opción sostenible para el control de follaje en arvenses superficiales.

Métodos complementarios

- Guadañadora o machete: Estas herramientas permiten un control mecánico preciso, especialmente útil en zonas de difícil acceso o para deshierbe selectivo durante los primeros años del cultivo.
- Mulch orgánico: Utilizar hojarasca, ramilla o paja como cobertura mejora la retención de humedad del suelo, bloquea la luz y suprime la germinación de arvenses. Además, agrega materia orgánica al suelo a medida que se descompone.
- Cobertura plástica: Aunque menos común en cultivos de café, el uso de coberturas plásticas puede proporcionar una solución eficaz contra arvenses en áreas específicas, aunque se debe evaluar su impacto ambiental.

el manejo de arvenses debe combinar diferentes métodos según las condiciones específicas del cafetal y los objetivos del productor. La integración de prácticas químicas, orgánicas y mecánicas permite un control más sostenible y eficiente, asegurando la productividad del cultivo y la preservación del entorno agroecológico.

Manejo de la fertilidad en el café (sintética)

El manejo de la fertilidad sintética en cafetales es una práctica fundamental para garantizar un crecimiento sostenido y saludable del cultivo, optimizando tanto la productividad como la calidad del grano de café. Consiste en la utilización de fertilizantes químicos diseñados para suplir los nutrientes esenciales que el suelo no puede proporcionar de forma natural o en cantidades suficientes. Estos fertilizantes son formulados específicamente para satisfacer las necesidades nutritivas del cafeto en distintas etapas de su desarrollo. (Mocca, 2022)

Los nutrientes principales que se deben considerar en el manejo de fertilidad son el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), conocidos como macronutrientes. Cada uno cumple funciones específicas en el desarrollo del cafeto. Por ejemplo, el nitrógeno es esencial para el crecimiento vegetativo, ayudando a la formación de hojas y tallos; el fósforo fortalece el sistema radicular y es crucial durante la etapa de floración; mientras que el potasio mejora la resistencia de las

plantas a enfermedades, facilita la formación de frutos y optimiza la calidad del grano. (Mocca, 2022)

Además de estos macronutrientes, los micronutrientes como el magnesio, el calcio, el zinc y el boro desempeñan roles importantes en funciones específicas del metabolismo del cafeto. Aunque requeridos en cantidades menores, su deficiencia puede afectar gravemente el rendimiento del cultivo. Por ello, es vital realizar un análisis de suelo periódico para determinar las carencias nutricionales y ajustar las dosis de fertilizante según las condiciones particulares de cada parcela.

El manejo de fertilidad sintética también debe tener en cuenta el momento adecuado para la aplicación de los fertilizantes. Por lo general, se recomienda fertilizar en fases críticas del ciclo del cafeto, como después de la poda, durante la floración y en la etapa de llenado de grano. Estos momentos son clave porque las plantas están más receptivas para absorber los nutrientes y convertirlos en un crecimiento eficiente y productivo. Asimismo, factores como la pendiente del terreno, la textura del suelo, la presencia de sombra y las condiciones climáticas pueden influir en la efectividad de los fertilizantes, por lo que deben ser cuidadosamente evaluados antes de la aplicación. (Rodas, 2023)

Para maximizar los beneficios del manejo de fertilidad sintética, es recomendable complementar el uso de fertilizantes químicos con buenas prácticas agrícolas como la incorporación de compost o fertilizantes orgánicos en el suelo. Estas prácticas ayudan a mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, promoviendo una mayor retención de nutrientes y agua. Además, contribuyen a reducir la dependencia de insumos químicos, favoreciendo un enfoque más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. (Rodas, 2023)

El manejo adecuado de la fertilidad sintética en cafetales es un elemento esencial para garantizar la sostenibilidad del cultivo, aumentar la productividad y mejorar la calidad del grano. Un enfoque integrado que combine fertilización química y prácticas agrícolas sostenibles puede llevar a resultados óptimos, preservando tanto la salud de las plantas como la del ecosistema en el que se desarrollan.

El manejo de la fertilización sintética en cafetales es fundamental para garantizar un crecimiento saludable y sostenido de las plantas, optimizar la productividad y mejorar la calidad del grano de café. A continuación, se presenta una guía más detallada sobre los productos recomendados, las etapas clave para su aplicación, la frecuencia ideal y las formas de uso. (Agro turismo, 2024)

Productos fertilizantes recomendados.

Chimical (2021) Explica que los fertilizantes químicos están diseñados para suplir los requerimientos nutricionales específicos del cafeto en distintas etapas de desarrollo. Entre los principales productos recomendados se encuentran:

- Fertilizantes NPK balanceados: Estos productos combinan nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en proporciones equilibradas para satisfacer las necesidades generales del cultivo. Algunas fórmulas destacadas incluyen:
- 15-15-15: Ideal para etapas iniciales del cafeto o para el mantenimiento general del cultivo.
- 17-6-18 + micronutrientes: Esta fórmula, enriquecida con elementos como boro y zinc, es especialmente útil durante la floración y el llenado de grano.
- Fertilizantes específicos: Son productos que aportan nutrientes clave para funciones específicas del cafeto:
- Urea (46-0-0): Fuente de nitrógeno, esencial para el desarrollo vegetativo de hojas y tallos.

Sulfato de amonio (21-0-0 + S): Proporciona nitrógeno junto con azufre, útil para corregir suelos alcalinos y mejorar la calidad de las proteínas en los tejidos de las plantas.

- Fosfato monoamónico (MAP 11-52-0): Estimula el desarrollo radicular y es crucial durante la etapa de floración.
- Cloruro de potasio (KCl 0-0-60): Beneficia la formación de frutos, mejora la resistencia a enfermedades y asegura un grano de alta calidad.
- Micronutrientes: Aunque requeridos en menores cantidades, estos elementos desempeñan roles vitales en el metabolismo y la salud del cafeto:
- Boro (B): Facilita la floración y el cuajado de frutos.
- Zinc (Zn): Participa en la síntesis de proteínas y en el crecimiento foliar.
- Magnesio (Mg): Es fundamental para la fotosíntesis y la formación de clorofila.
- Calcio (Ca): Refuerza las paredes celulares y mejora la resistencia de las plantas.

Etapas clave y frecuencia de aplicación

Para maximizar los beneficios de la fertilización, se deben identificar las etapas críticas del ciclo del cafeto y planificar la aplicación de los fertilizantes en esos momentos. Las etapas clave incluyen:

- Después de la poda: Tras podar el cafeto, las plantas necesitan nutrientes para regenerar tejido vegetativo y fortalecer su sistema radicular.
- Durante la floración: Es un momento crucial donde el cafeto requiere fósforo y potasio para garantizar una floración abundante y saludable.
- En la etapa de llenado de grano: Nutrientes como el potasio son esenciales para el desarrollo óptimo de los frutos y para asegurar una alta calidad en el grano. (Rodas, 2023)

La frecuencia ideal de aplicación puede variar según el tipo de fertilizante y las condiciones del cafetal, pero generalmente se recomienda dividir la dosis anual en varias aplicaciones para evitar desperdicios y asegurar una absorción eficiente, esto se muestra en la tabla 3.

Tabla3

Etapas y frecuencias de aplicación de fertilizacion sintetico

Etapafenológica	Producto sugerido	Frecuencia recomendada
Post-poda	NPK 15-15-15 + micronutrientes	1 aplicación
Iniciode lluvias	Urea o sulfato de amonio + MAP	Cada 45-60 días
Floración	NPK 17-6-18 + Boro y Zinc	1-2 aplicaciones
Llenadode grano	Cloruro de potasio + Mg + Ca	1 aplicación
Post-cosecha	NPK balanceado + micronutrientes	1 aplicación de recuperación

Nota. Fuente: (Gomez, 2024)

Fertilización Orgánica

El manejo de la fertilidad orgánica en cafetales se basa en fortalecer la vida del suelo para que los nutrientes estén disponibles de forma natural y sostenible, promoviendo la salud general del ecosistema del cafetal. A diferencia de la fertilización sintética que depende de químicos procesados, el enfoque orgánico utiliza procesos naturales para alimentar a las plantas, al tiempo que mejora la estructura, retención de agua y biodiversidad del suelo. (Altieri & Nicholls, Teoría y práctica para una, 2000)

Principios clave del manejo orgánico:

Altieri & Nicholls, Teoría y práctica para una (2000) detallan principios claves para el manejo de fertilización orgánicas los cuales pueden ser claves para asegurar una nutrición adecuada al cafetal.

- Aporte de materia orgánica: Este se realiza mediante la incorporación de compost, estiércol, lombricompost y residuos de poda, así como coberturas vegetales como hojas y tallos caídos. Estos materiales no solo mejoran la estructura del suelo, sino que incrementan su capacidad para retener humedad, reducen la erosión y sirven como alimento para los microorganismos, que son esenciales para la fertilidad.
- Activación microbiológica: Una mayor actividad microbiológica se logra usando biofermentos, lixiviados de lombriz, micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno como *Rhizobium* y *Azospirillum*. Estos organismos descomponen la materia orgánica y liberan nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, permitiendo que las raíces los absorban de manera eficiente.
- Mineralización del suelo: Este proceso natural implica que los microorganismos transformen los compuestos orgánicos en formas minerales disponibles para las plantas. La calidad del material orgánico, junto con factores como la temperatura y la humedad del suelo, determina la eficacia de la mineralización.
- Manejo del pH y la acidez: La corrección del pH del suelo es esencial para garantizar la disponibilidad de nutrientes. Esto puede realizarse mediante enmiendas como cal dolomítica, ceniza o incluso aplicaciones de productos orgánicos ricos en calcio y magnesio, los cuales también fortalecen la estructura celular de las plantas.
- Rotación y diversificación: Este principio se aplica mediante el uso de cultivos de cobertura como *Canavalia*, *Mucuna* o el maní forrajero (*Arachis pintoi*). Estos cultivos no solo enriquecen la fertilidad del suelo, sino que también ayudan a controlar las arvenses (malas hierbas) y mejoran la biodiversidad del cafetal.

Además de nutrir al cafeto, este enfoque regenerativo restaura el equilibrio ecológico del suelo, reduce el impacto ambiental y mejora la resiliencia del sistema agrícola frente a condiciones adversas como el cambio climático y la pérdida de fertilidad. Otro beneficio significativo es la reducción de la dependencia de insumos externos, lo que puede resultar en menores costos a largo plazo y una producción más sostenible.

El manejo orgánico de la fertilización no solo busca incrementar los rendimientos del cafeto, sino también asegurar que el cultivo y el entorno prosperen juntos, estableciendo un modelo de producción que prioriza la salud del ecosistema sin comprometer la productividad.

La tabla 4 detalla productos orgánicos que se pueden usar, así como la dosis, frecuencia, método de aplicación y etapa.

Tabla4
productos orgánicos recomendados

Producto	Dosis recomendada	Frecuencia	Método de aplicación	Etapa de aplicación
Compost o abono orgánico	5–12 kg/planta/año	2 veces al año	Al suelo, en corona o media luna	Post-poda y post-cosecha
Lombricompost	2–5 kg/planta	2–3 veces al año	Al suelo, incorporado superficialmente	Inicio de lluvias y floración
Biofermentos (tipo MM o Bocashi líquido)	1–2 L/bomba (20 L agua)	Cada 30–45 días	Foliar o al suelo	Todo el ciclo, especialmente vegetativo
Lixiviado de lombriz	1–2 L/bomba (20 L agua)	Cada 30 días	Foliar o al suelo	Crecimiento y llenado de grano
Ceniza de madera	200–300 g/planta	1–2 veces al año	Al suelo, mezclada con compost	Post-cosecha o corrección de pH
Cal dolomítica	1–2 t/ha (según análisis de suelo)	Cada 2–3 años	Al voleo, incorporada al suelo	Antes de la siembra o renovación
Micorrizas y Trichoderma	Según etiqueta (ej. 10 g/planta)	1 vez al año	En vivero o al trasplante	Siembra y establecimiento

Nota. Fuente: datos adaptados de (Cenicafe, 2025)

Recomendaciones adicionales

UNIA (2013) Sugiere algunas prácticas para poder ser más eficaz la fertilización orgánica del café.

- Cubrir siempre con materia orgánica, como hojarasca, mulch o residuos de cosecha, tras aplicar fertilizantes sólidos. Esto ayuda a conservar la humedad del suelo y mejora la estructura.
- Evitar aplicar biofermentos en horas de sol fuerte; realizarlos temprano en la mañana o al atardecer para maximizar su efectividad y evitar la evaporación.
- Rotar bioinsumos, tales como lixiviados, micorrizas o biofermentos, para fomentar la diversidad microbiana en el suelo y mejorar la salud general de las plantas.
- Ajustar dosis según análisis de suelo, etapa de desarrollo y edad del cultivo. Un monitoreo adecuado asegura que las plantas reciban los nutrientes necesarios sin excesos ni deficiencias.
- Promover la aplicación foliar en momentos estratégicos del ciclo de cultivo, como vegetación y floración, para optimizar la absorción de nutrientes.
- Considerar la corrección de pH con productos como la ceniza de madera o cal dolomítica para favorecer la disponibilidad de nutrientes en el suelo.
- Incorporar microorganismos benéficos, como Trichoderma y micorrizas, especialmente durante el trasplante o la siembra, para fortalecer el establecimiento de las plantas y protegerlas contra enfermedades.

Manejo de plagas (principales plagas, condiciones que propician su aparición, manejo convencional, manejo alternativo)

Una plaga se refiere a cualquier organismo vivo, como insectos, ácaros, nematodos o cochinillas, que ocasiona daño a las plantas al alimentarse de sus tejidos, succionar savia, perforar frutos o atacar raíces. Estos impactos reducen la salud, la productividad y la calidad de las plantas. En el cultivo del café, las plagas debilitan el crecimiento al disminuir la capacidad fotosintética, limitar la absorción de nutrientes y crear heridas que favorecen la entrada de enfermedades, afectando gravemente el rendimiento de la planta.

Principales plagas del café

1. Broca del fruto (*Hypothenemus hampei*): Esta plaga es considerada la más dañina para los cafetales en todo el mundo. La broca es un pequeño escarabajo que perfora el fruto del café para depositar sus huevos dentro del grano. Cuando las larvas nacen, se alimentan del tejido del grano, lo que disminuye su calidad y peso. Los granos afectados suelen ser rechazados en el mercado, causando pérdidas económicas significativas. Para controlar esta plaga, es importante realizar una recolección adecuada de frutos caídos y aplicar métodos biológicos como hongos entomopatógenos (por ejemplo, *Beauveria bassiana*). (Almengor, 2023).
2. Minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*): Las larvas de esta plaga forman pequeñas galerías o túneles en el interior de las hojas del cafeto, dañando el tejido foliar y reduciendo la capacidad fotosintética de la planta. Esto debilita el crecimiento del cafeto y afecta la producción de frutos. Condiciones cálidas y secas suelen favorecer su aparición. El manejo preventivo incluye implementar podas adecuadas para reducir la densidad del follaje y aplicar productos biológicos como extractos de neem o microorganismos benéficos. (Garcia & Ramirez, 2021)
3. Cochinilla de la raíz (*Geococcus coffeae*, *Dysmicoccus cryptus*): Estas pequeñas plagas succionan la savia de las raíces del cafeto, debilitando el sistema radicular y afectando la absorción de nutrientes y agua. Las cochinillas suelen aparecer en suelos mal drenados o compactados, donde las plantas están más vulnerables. Es fundamental realizar un buen manejo del suelo, incluyendo la incorporación de materia orgánica y la rotación de cultivos, además de aplicar control biológico con depredadores naturales como mariquitas. (Gonzalez & Campos, 2018).
4. Escamas y áfidos: Estas plagas atacan hojas, tallos y ramas jóvenes, succionando la savia y provocando debilitamiento general en el cafeto. Además, los áfidos pueden transmitir enfermedades virales que afectan la salud de la planta. Para prevenir su aparición, se recomienda mantener un equilibrio biológico en el cafetal, favoreciendo la presencia de enemigos naturales como avispas parasitoides y promoviendo la diversidad de plantas. (Gonzalez & Campos, 2018).
5. Nematodos: Los nematodos son microorganismos que afectan las raíces del cafeto, causando lesiones que dificultan la absorción de agua y nutrientes. Esto resulta en un crecimiento lento y una disminución en la productividad del cultivo. Suelos pobres y compactados son propensos a estos organismos, por lo que mejorar la estructura del

suelo mediante aportes de materia orgánica y técnicas de labranza es clave. Además, la aplicación de extractos de plantas como la caléndula puede ayudar en su control. (Perez, 2014)

Condiciones que favorecen la aparición de plagas

Según Cambiagro (2024) hay diversos factores que favorecen la aparición de plagas, pero, destaca 4 que son las principales causantes de que estas surjan, las cuales se describen a continuación:

- **Exceso de sombra y humedad:** Estas condiciones suelen ser el resultado de un manejo inadecuado del dosel de los cafetales, donde las plantas reciben poca luz solar directa y el suelo permanece húmedo durante largos períodos de tiempo. Esto crea un ambiente favorable para plagas como la broca del fruto, que prospera en frutos maduros expuestos a altas humedades, y la roya del café, un hongo que debilita las hojas.
- **Altas temperaturas y sequía:** Los períodos de calor intenso y falta de humedad estresan a las plantas, reduciendo su capacidad para defenderse contra plagas. El minador de la hoja, por ejemplo, encuentra un entorno perfecto para su desarrollo durante climas secos, ya que las hojas debilitadas por el estrés hídrico son más susceptibles a sus ataques.
- **Suelos compactados o mal drenados:** La compactación del suelo impide que las raíces del cafeto crezcan y absorban nutrientes adecuadamente, mientras que los problemas de drenaje favorecen la acumulación de agua, creando un entorno propicio para plagas como los nematodos y las cochinillas de la raíz.
- **Manejo deficiente del cafetal:** Un cafetal que no se somete a podas regulares, con exceso de frutos caídos y una falta de monitoreo constante, ofrece un hábitat ideal para el desarrollo de plagas. Las frutas caídas, por ejemplo, proporcionan refugio y alimento a la broca del fruto, mientras que la falta de una poda adecuada puede conducir a un dosel demasiado denso que favorece la acumulación de humedad y sombra. Guía detallada para el manejo de plagas principales del café, con gestión convencional y alternativa.

En la tabla 5, 6, 7, 8, 9 se detalla los manejos que se pueden hacer ante la aparición de plagas, los productos que se utilizarían, dosis, aplicación y como estos actúan

Tabla5

*Tabla para manejo de la Broca del café (*hypothenemus hampei*)*

Enfoque	Producto / Método	Dosis / Frecuencia	Aplicación	Cómo actúa
Convencional	Clorpirifós 48% EC	2 mL/L agua / según monitoreo	Aspersión directa sobre los frutos	Insecticida de contacto y estomacal
Alternativo	Beauveria bassiana	1–2 g/L agua / cada 15–30 días	Aspersión foliar con buena cobertura	Hongo entomopatógeno que infecta y mata a la broca
Alternativo	Trampas etológicas (etanol:metanol 1:1)	20 trampas/ha, revisión semanal	Suspendidas a 1.5 m del suelo	Capturan adultos, reducen población
Cultural	Recolección completa de frutos	Durante cosecha y repaso post-cosecha	Manual	Rompe el ciclo biológico eliminando focos de infestación

La tabla presenta un enfoque de Manejo Integrado de Plagas (MIP) centrado en el control de la Broca del Café, combinando tácticas químicas, biológicas y culturales. La estrategia Convencional emplea el insecticida Clorpirifós 48% EC mediante aspersión para un control de contacto y estomacal. Las opciones Alternativas incluyen el uso del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*, aplicado foliarmente cada 15-30 días para infectar y matar a la broca, y la colocación de trampas etológicas (etanol:metanol) para la captura y reducción de la población adulta. Finalmente, el control Cultural es fundamental, basándose en la recolección completa de todos los frutos durante el repaso de cosecha para romper el ciclo biológico de la broca y eliminar los focos de infestación.

Tabla6

Tabla para manejo del minador de la hoja (Leucoptera coffeella)

Enfoque	Producto / Método	Dosis / Frecuencia	Aplicación	Cómo actúa
Convencional	Lambda-cihalotrina 5% EC	1 mL/L agua / cada 20–30 días	Aspersión foliar	Insecticida de contacto y acción rápida
Alternativo	Extracto de neem (Azadiractina)	3–5 mL/L agua / cada 15 días	Foliar en horas frescas	Inhibe alimentación y desarrollo larval
Alternativo	Jabón potásico	20–30 mL/L agua / cada 7 días	Foliar, dirigido a las larvas	Rompe membrana protectora, reduce población
Cultural	Control de sombra excesiva	Permanente	Poda estructural	Mejora aireación y reduce hábitat favorable

La tabla resume las estrategias de control para el Minador de la Hoja del Café (*Leucoptera coffeella*), divididas en enfoques Convencionales, Alternativos y Culturales. El control Convencional se basa en la aplicación periódica del insecticida de contacto y acción rápida Lambda-cihalotrina 5% EC mediante aspersión foliar. Las opciones Alternativas incluyen el uso del Extracto de Neem (*Azadiractina*), aplicado foliarmente cada 15 días para inhibir la alimentación y el desarrollo larval, y la aplicación semanal de Jabón Potásico dirigido a las larvas, que actúa rompiendo su membrana protectora y reduciendo la población. Como medida Cultural preventiva, el Control de la sombra excesiva a través de podas permanentes es clave para mejorar la aireación y hacer el hábitat menos favorable para el desarrollo de la plaga.

Tabla7

Tabla para el manejo de la cochinilla de la raíz (geococcus coffeae)

Enfoque	Producto Método	/ Dosis / Frecuencia	Aplicación	Cómo actúa
Convencion al	Clorpirifós granulado	30–50 g/planta / 1– 2 veces/año	Al suelo, en corona	Sistémico; actúa desde raíces hacia el insecto
Alternativo	<i>Trichoderma spp.</i> + compost	10 g/planta / 1 vez al año	Mezclado con materia orgánica	Estimula raíces y compite con cochinillas
Cultural	Suelo aireado y con buena cobertura	Constante	Labores mecánicas y mulch	Crea ambiente desfavorable para la cochinilla

La tabla describe el Manejo Integrado de la Cochinilla de la Raíz, combinando enfoques Convencionales, Alternativos y Culturales enfocados en la zona radicular de la planta. El control Convencional utiliza Clorpirifós granulado, aplicado directamente al suelo en la corona de la planta una o dos veces al año, actuando de forma sistémica (el químico se absorbe por las raíces y ataca al insecto). La estrategia Alternativa se centra en la biología del suelo, aplicando *Trichoderma spp.* mezclado con compost una vez al año; este hongo benéfico estimula el desarrollo de las raíces y compite activamente con las cochinillas. Finalmente, la medida Cultural más importante es mantener un suelo aireado y con buena cobertura mediante labores mecánicas y el uso de *mulch*, lo que crea un ambiente físico desfavorable para el establecimiento y proliferación de esta plaga.

Tabla8*Tabla para el control de nematodos*

Enfoque	Producto / Método	Dosis / Frecuencia	Aplicación	Cómo actúa
Convencional	Oxamilo 24% SL	2–4 L/ha en 400–600 L agua / anual	Al suelo, banda o corona	Nematicida sistémico que actúa sobre nematodos internos
Alternativo	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	1–2 kg/ha / cada 60 días	Al suelo, con compost o riego	Parásita huevos y larvas, reduce población en rizósfera
Alternativo	<i>Trichoderma spp.</i>	10–20 g/planta / 1–2 veces/año	Incorporado al suelo	Antagonista natural que protege raíces
Cultural	Rotación de cultivos / abonos verdes	Cada ciclo agrícola	Planificación de parcela	Interrumpe ciclo de vida y recupera el suelo

La tabla detalla un Manejo Integrado de Nematodos que afecta las raíces del cafeto, combinando enfoques Convencionales, Alternativos y Culturales. El manejo Convencional utiliza el nematicida sistémico Oxamilo 24% SL, aplicado anualmente directamente al suelo en banda o corona, que actúa sobre los nematodos internos una vez absorbido por la planta. Las opciones Alternativas biológicas se basan en la aplicación de microorganismos benéficos: el hongo *Paecilomyces lilacinus*, aplicado al suelo cada 60 días (generalmente con compost o riego), que parasita los huevos y larvas para reducir la población en la rizosfera; y el hongo *Trichoderma spp.*, incorporado al suelo 1-2 veces al año, el cual actúa como antagonista natural que protege las raíces. Finalmente, la práctica Cultural más efectiva es la Rotación de cultivos o el uso de abonos verdes en cada ciclo agrícola, lo que interrumpe el ciclo de vida de los nematodos y contribuye a la recuperación y salud del suelo.

Tabla9

Tabla para el control de Áfidos del café

Enfoque	Producto / Método	Dosis / Frecuencia	Aplicación	Cómo actúa
Convencional	Imidacloprid 35% SC	0.5–1 mL/L agua / cada 20–30 días	Foliar, dirigido a brotes tiernos	Sistémico; bloquea el sistema nervioso del insecto
Convencional	Lambda-cihalotrina 5% EC	1 mL/L agua / cada 20 días	Foliar, cobertura total	Insecticida de contacto y estomacal
Alternativo	Jabón potásico	20–30 mL/L agua / cada 7–10 días	Foliar, directo sobre colonias	Disuelve la capa cerosa y asfixia al insecto
Alternativo	Extracto de neem (Azadiractina)	3–5 mL/L agua / cada 15 días	Foliar, en horas frescas	Inhibe alimentación y reproducción
Cultural	Poda de brotes infestados	Según monitoreo	Manual	Elimina focos de infestación y reduce presión poblacional
Biológico	Liberación de <i>Coccinellidae</i> (mariquitas)	Según disponibilidad / 1–2 veces por ciclo	En focos localizados	Depredadores naturales que consumen áfidos

La tabla describe el Manejo Integrado de Áfidos, el cual combina el control Convencional mediante la aplicación foliar de insecticidas sistémicos (Imidacloprid) para bloquear el sistema nervioso, o de contacto (*Lambda-cihalotrina*), con alternativas Ecológicas como el Jabón Potásico para disolver la capa cerosa del insecto y el Extracto de Neem para inhibir su alimentación y reproducción. Adicionalmente, se incluyen prácticas Culturales, como la poda manual de brotes infestados para eliminar focos de plaga, y un componente Biológico crucial, que es la liberación de *Coccinellidae* (mariquitas), depredadores naturales que consumen los áfidos en focos localizados.

Manejo de enfermedades (principales plagas, condiciones que propician su aparición, manejo convencional, manejo alternativo)

El manejo de enfermedades en cafetales es un aspecto fundamental para garantizar la sostenibilidad, productividad y calidad del cultivo a largo plazo. Las enfermedades más comunes que afectan al café suelen ser causadas por hongos fitopatógenos, que prosperan en condiciones ambientales específicas como niveles elevados de humedad, temperaturas moderadas y áreas con sombra excesiva. Además, la densidad de siembra, la falta de podas y prácticas agronómicas inadecuadas pueden incrementar la vulnerabilidad de los cultivos.

Implementar un manejo adecuado implica no solo reconocer los factores que propician el desarrollo de estas enfermedades, sino también adoptar estrategias preventivas y correctivas que reduzcan su impacto, desde métodos culturales y biológicos hasta el uso de productos alternativos y convencionales.

Principales enfermedades en café

Según Disagro (2023) el café es afectados por diversas plagas, pero nos habla de las principales que afectan el rubro del café, las cuales son las siguientes:

Roya del café: Causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, esta enfermedad se caracteriza por la aparición de manchas anaranjadas en el envés de las hojas. Su principal efecto es la defoliación, lo que disminuye significativamente la capacidad de la planta para realizar la fotosíntesis, debilitándola y reduciendo la productividad. Surge en condiciones de alta humedad y baja ventilación, lo que crea un ambiente ideal para la proliferación del hongo.

Ojo de gallo: Provocada por el hongo *Mycena citricolor*, esta enfermedad produce manchas circulares de color café-grisáceo en hojas, frutos y ramas, causando la caída prematura de estos. Esto afecta directamente la producción y calidad del café. Aparece principalmente en regiones con lluvias persistentes y alta humedad, condiciones que favorecen la actividad del hongo.

Antracnosis: El hongo *Colletotrichum gloeosporioides* es el causante de esta enfermedad, que genera necrosis en ramas, frutos y hojas. Esto compromete tanto el crecimiento como la cosecha, ya que las partes afectadas se marchitan y mueren. Suele surgir en situaciones de estrés para la planta, como daños físicos, humedad excesiva o prácticas agronómicas deficientes.

Cercospora: La enfermedad causada por el hongo *Cercospora coffeicola* se manifiesta en forma de manchas marrón-rojizas con halos amarillos en las hojas. Estas manchas reducen la capacidad fotosintética de la planta y pueden llevar a la defoliación. Las condiciones de alta

humedad y temperaturas moderadas son ideales para su desarrollo, especialmente si hay material vegetal infectado cerca.

Fusarium: Este grupo de hongos, conocido como *Fusarium spp.*, provoca síntomas como marchitez, necrosis del tallo y muerte regresiva de la planta. Es una enfermedad particularmente devastadora, ya que puede matar a la planta completamente. Aparece en suelos mal drenados o en plantas debilitadas por otros factores, como una nutrición insuficiente o prácticas de manejo inapropiadas.

Condiciones que favorecen la aparición de enfermedades en cafetales

Equipo editorial cambiagro, (2024) Explica que las condiciones ambientales y agronómicas desempeñan un papel crucial en el desarrollo y propagación de las enfermedades que afectan a los cafetales. Entre los factores principales que las favorecen se encuentran:

- **Alta humedad relativa:** Una humedad superior al 70% crea un ambiente perfecto para la proliferación de hongos fitopatógenos. Esto ocurre especialmente en regiones donde las lluvias son frecuentes, ya que las hojas y el suelo permanecen húmedos durante largos periodos, facilitando la germinación y dispersión de esporas.
- **Sombra densa y poca aireación:** Aunque la sombra es beneficiosa para proteger los cafetos de la radiación solar intensa, una cobertura demasiado tupida dificulta la circulación del aire. Esto genera microclimas húmedos y cálidos bajo el dosel, condiciones ideales para el desarrollo de patógenos como la roya y el ojo de gallo.
- **Temperaturas moderadas (18–25 °C):** Muchos hongos, como *Hemileia vastatrix* o *Mycena citricolor*, prosperan en este rango de temperatura. Estas cifras son comunes en las zonas cafetaleras de altitud media, lo que las vuelve especialmente vulnerables.
- **Densidad de siembra alta y falta de podas:** La plantación densa de cafetos puede dificultar la penetración de la luz solar y el flujo de aire entre las plantas. Además, la ausencia de podas regulares contribuye a la acumulación de material vegetal enfermo o envejecido, creando focos de infección.
- **Presencia de material vegetal infectado:** Ramas, hojas y frutos contaminados son fuentes constantes de esporas que pueden infectar plantas sanas cercanas. Si no se eliminan de forma adecuada, estos restos actúan como reservorios de enfermedades, perpetuando los ciclos de infección.

Para minimizar el impacto de estas condiciones, es esencial implementar prácticas agronómicas adecuadas, incluyendo un monitoreo constante del estado del cultivo, una correcta gestión de la sombra, podas regulares y la eliminación de restos infectados. A su vez, el uso de métodos de cultivo biológico y alternativas como extractos naturales o agentes de control biológico puede ser un complemento eficaz para el manejo integrado de las enfermedades.

Tablas detalladas para estrategias de manejo de enfermedades en café.

Tabla10

Manejo de roya del café (Hemileia vastatrix)

Tipo de manejo	Producto / Método	Dosis recomendada	Frecuencia	Forma de aplicación	Cómo actúa
Convencional	Oxicloruro de cobre 50% WP	2–3 g/L agua	Cada 30 días	Foliar, cobertura total	Inhibe germinación de esporas por contacto
Convencional	Propiconazol 25% EC	1 mL/L agua	Cada 20–30 días	Foliar	Sistémico; detiene el desarrollo del hongo
Alternativo / Biológico	Trichoderma harzianum	10–20 g/L agua	Cada 20–30 días	Foliar, cobertura total	Antagonista natural que compite con el hongo
Alternativo / Nutricional	Silicato de potasio + Boro	2–3 mL/L agua	Mensual	Foliar	Fortalece tejidos vegetales y reduce infección

Nota. Fuente: datos adaptados de (Cenicafe, 2023)

La tabla de Manejo de la Roya del Café (*Hemileia vastatrix*) combina el control Convencional con fungicidas de contacto como el Oxicloruro de cobre 50% WP (que inhibe la germinación de esporas) y sistémicos como el Propiconazol 25% EC (que detiene el desarrollo interno del hongo), aplicados foliarmente en ciclos de 20 a 30 días. Las alternativas incluyen el uso Biológico de *Trichoderma harzianum*, que actúa como un antagonista natural para competir con la roya, y una estrategia Nutricional mediante la aplicación mensual de Silicato de potasio + Boro, cuyo fin es fortalecer los tejidos vegetales y reducir la susceptibilidad a la infección por la enfermedad.

Tabla11.

Tabla para el manejo de ojo de gallo (Mycena citricolor)

Tipo de manejo	Producto / Método	Dosis recomendada	Frecuencia	Forma de aplicación	Cómo actúa
Convencional	Mancozeb 80% WP	2 g/L agua	Cada 20–30 días	Foliar	Contacto, impide reproducción del hongo
Convencional	Azoxistrobina 25% SC	1 mL/L agua	Según monitoreo	Foliar	Sistémico preventivo y curativo
Alternativo / Biológico	<i>Trichoderma spp.</i>	10–20 g/L agua	Cada 30 días	Foliar o al suelo	Coloniza tejidos y desplaza al patógeno
Alternativo / Botánico	Extracto de ajo + canela	30–50 mL/L agua	Cada 15 días	Foliar	Antifúngico natural, inhibe esporulación

Nota. Fuente: datos adaptados de (Cenicafe, 2023)

El Manejo de Ojo de Gallo (*Mycena citricolor*) se aborda mediante una combinación de estrategias Químicas y Alternativas. El control Convencional utiliza fungicidas aplicados foliarmente: el Mancozeb 80% WP, que actúa por contacto impidiendo la reproducción del hongo en ciclos de 20-30 días, y el Azoxistrobina 25% SC, un producto sistémico con acción preventiva y curativa aplicado según monitoreo. Las alternativas incluyen el uso Biológico de *Trichoderma spp.*, aplicado foliarmente o al suelo para colonizar los tejidos y desplazar al patógeno, y una opción Botánica con el Extracto de ajo + canela, que posee propiedades antifúngicas naturales que inhiben la esporulación de la enfermedad con aplicaciones quincenales.

Tabla12

Tabla para el manejo de Antracnosis (Colletotrichum gloeosporioides)

Tipo de manejo	Producto / Método	Dosis recomendada	Frecuencia	Forma de aplicación	Cómo actúa
Convencional	Clorotalonil 75% WP	2 g/L agua	Cada 20 días	Foliar	Fungicida de contacto que inhibe desarrollo del hongo
Convencional	Carbendazim 50% WP	1 g/L agua	Según monitoreo	Foliar	Sistémico curativo
Alternativo / Biológico	<i>Trichoderma spp.</i>	10–20 g/L agua	Cada 30 días	Al suelo o foliar	Inhibe colonización fúngica
Alternativo / Botánico	Extracto de neem o canela	3–5 mL/L agua	Cada 15 días	Foliar	Inhibe reproducción del hongo

Nota. Fuente: datos adaptados de (campos, 2021)

El Manejo de la Antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*.) se implementa mediante estrategias Convencionales y Alternativas. El control Convencional utiliza fungicidas aplicados foliarmente: el Clorotalonil 75% WP, que actúa por contacto inhibiendo el desarrollo del hongo, y el Carbendazim 50% WP, un producto sistémico curativo aplicado según monitoreo. Las alternativas se centran en el uso de bioinsumos y extractos naturales, incluyendo el control Biológico con *Trichoderma spp.*, aplicado foliarmente o al suelo para inhibir la colonización fúngica al desplazar al patógeno, y una opción Botánica mediante la aplicación quincenal del Extracto de neem o canela, que actúa como antifúngico natural al inhibir la reproducción del hongo.

Tabla13*Manejo de Mancha de hierro (Cercospora Coffeicola)*

Tipo de manejo	Producto / Método	Dosis recomendada	Frecuencia	Forma de aplicación	Cómo actúa
Convencional	Tebuconazol 25% EC	1 mL/L agua	Cada 25–30 días	Foliar	Sistémico; interrumpe ciclo reproductivo fúngico
Convencional	Oxicloruro de cobre	2–3 g/L agua	Preventivo	Foliar	Contacto; impide esporulación
Alternativo / Biológico	<i>Trichoderma spp.</i>	1–2 kg/ha	Cada 30 días	Foliar o edáfica	Induce resistencia y compite por espacio
Alternativo / Botánico	Extracto de ortiga o ajo	30–50 mL/L agua	Cada 15 días	Foliar	Fungicida natural de contacto

Nota. Fuente: datos adaptados de (campos, 2021)

El manejo de mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) combina el control químico Convencional con alternativas Biológicas y Botánicas. El control convencional utiliza el fungicida Tebuconazol 25% EC, que actúa de forma sistémica interrumpiendo el ciclo reproductivo fúngico, y el Oxicloruro de cobre, aplicado preventivamente como fungicida de contacto para impedir la esporulación. Las alternativas incluyen el uso biológico de *Trichoderma spp.*, aplicado foliar o edáficamente para inducir resistencia en la planta y competir con el patógeno, y una opción botánica mediante el extracto de ortiga o ajo, aplicado quincenalmente como un fungicida natural de contacto.

Tabla 14

Manejo de Fusariosis (Fusarium spp)

Tipo de manejo	Producto / Método	Dosis recomendada	Frecuencia	Forma de aplicación	de	Cómo actúa
Convencional	No hay fungicidas eficaces directos	—	—	—		Se prioriza prevención en vivero
Alternativo / Biológico	<i>Trichoderma spp.</i>	10–20 g por planta	Cada 2–3 meses	Mezclado en compost o sustrato		Coloniza raíces y desplaza al hongo en el suelo
Alternativo / Cultural	Compost enriquecido con microbiota	5–10 kg/planta	1–2 veces al año	Al suelo		Mejora estructura y vida microbiana del suelo

Nota. Fuente: datos adaptados de (Cenicafe, 2023)

El manejo de la fusariosis (*Fusarium spp.*) se centra casi exclusivamente en la prevención y el control biológico debido a la ausencia de fungicidas convencionales eficaces para el control directo en campo, priorizando la prevención en el vivero. Las estrategias alternativas se basan fuertemente en la biología del suelo: el control biológico utiliza *Trichoderma spp.*, aplicado al sustrato o compost cada 2-3 meses para colonizar las raíces y desplazar al hongo patógeno en el suelo. Complementariamente, la práctica cultural clave es la aplicación anual de compost enriquecido con microbiota, que mejora la estructura del suelo y potencia la vida microbiana benéfica, creando un ambiente desfavorable para el desarrollo del hongo causante de la enfermedad.

Diseño metodológico

Tipo de diseño mixto

La presente investigación se desarrolló bajo un diseño metodológico mixto, que combina enfoques cuantitativos y cualitativos con el propósito de obtener una comprensión integral del fenómeno estudiado. Esta estrategia permite abordar tanto los aspectos medibles del sistema agroecológico como las dimensiones subjetivas y contextuales que influyen en su dinámica.

El enfoque cuantitativo se fundamenta en la recopilación y análisis de datos numéricos que pueden ser medidos de manera objetiva, permitiendo establecer relaciones estadísticas entre variables y evaluar el impacto de los tratamientos aplicados. En este estudio, dicho enfoque se concretó mediante:

- La implementación de un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) para la evaluación experimental de los tratamientos agroecológicos, lo que permitió controlar la variabilidad ambiental y asegurar la validez interna del experimento.
- La recolección sistemática de datos sobre variables morfológicas y fitosanitarias del cultivo de café, como el número de hojas, la incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) y mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), entre otros indicadores.

Complementariamente, el enfoque cualitativo se orientó a explorar y comprender fenómenos sociales complejos, como las percepciones, experiencias y conocimientos de los actores involucrados en el proceso de transición agroecológica. Esta metodología se basa en el análisis interpretativo desde la perspectiva del investigador, utilizando técnicas de recolección de datos no estructuradas que permiten captar la riqueza del contexto (Trujillo, Naranjo, Lomas, & Merlo, 2019).

En este caso, se aplicaron entrevistas semiestructuradas y encuestas participativas a productores, técnicos y actores locales, con el objetivo de caracterizar el nivel de transición agroecológica en la finca Buena Vista. Estas herramientas permitieron identificar prácticas, valores, motivaciones y barreras que inciden en la adopción de enfoques agroecológicos, así como validar el uso del instrumento TAPE como marco de referencia para el análisis.

La integración de ambos enfoques metodológicos fortalece la robustez del estudio, al combinar la precisión de los datos cuantificables con la profundidad interpretativa del análisis cualitativo, generando así una visión holística del proceso de transformación agroecológica.

Diseño experimental

Para la evaluación de los tratamientos agroecológicos, se implementó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), reconocido por su capacidad para controlar la variabilidad experimental en condiciones de campo. El experimento contempló cinco tratamientos distintos, cada uno aplicado en dos niveles de dosis, los cuales fueron asignados aleatoriamente dentro

de cada bloque para garantizar la independencia de los efectos y minimizar sesgos. Cada tratamiento fue replicado adecuadamente para asegurar la robustez estadística del análisis.

La unidad experimental estuvo conformada por plantas individuales de café (*Coffea arabica* L.), permitiendo una evaluación precisa de las respuestas fisiológicas y fitosanitarias ante los bioinsumos aplicados. Esta estructura experimental facilitó la comparación directa entre tratamientos, así como la medición de variables clave como el desarrollo foliar, la incidencia de enfermedades y el desempeño agroecológico general.

Según Avelino, Sotelo, Coca, (2021) el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) es una metodología experimental que permite reducir la variabilidad inherente a los datos, facilitando una evaluación más precisa de los efectos de los tratamientos aplicados. En este diseño, las unidades experimentales se agrupan en bloques homogéneos según características relevantes que puedan influir en la respuesta, como la ubicación geográfica, tipo de suelo, pendiente, fertilidad o condiciones agronómicas en estudios agrícolas. Posteriormente, los tratamientos se asignan aleatoriamente dentro de cada bloque, lo que garantiza la independencia estadística y mejora la validez del análisis comparativo entre tratamientos.

Este enfoque es especialmente útil en ensayos de campo donde las condiciones no son completamente uniformes, ya que permite controlar factores de confusión y aumentar la sensibilidad del experimento para detectar diferencias significativas entre tratamientos.

Modelo de diseño DBCA

Gráfico1

Diseño de distribución de los tratamientos aplicados en los diferentes bloques

T1 D1	Tratamiento 1 dosis1
T1 D2	Tratamiento 1 dosis2
T2 D1	Tratamiento 2 dosis 1
T2 D2	Tratamiento 2 dosis 2
T3 D1	Tratamiento 3 dosis 1
T3 D2	Tratamiento 3 dosis 2
T4 D1	Tratamiento 4 dosis 1
T4 D2	Tratamiento 4 dosis 2

Tratamientos

A continuación, se presenta la descripción detallada de los tratamientos agroecológicos evaluados en el presente estudio, los cuales fueron diseñados para analizar su efecto sobre el cultivo de café (*Coffea arabica* L.). Cada tratamiento se basa en un tipo específico de

bioinsumo, aplicado en dos niveles de dosis mediante dos métodos complementarios: foliar, dirigido a la parte aérea de la planta, y drench, aplicado directamente al suelo para favorecer la actividad microbiana en la rizosfera.

Esta sección tiene como objetivo exponer las características de cada tratamiento, incluyendo el tipo de insumo utilizado, las dosis aplicadas y su propósito dentro del diseño experimental. La implementación de estos tratamientos busca generar evidencia sobre la eficacia de alternativas agroecológicas frente al manejo convencional, contribuyendo al fortalecimiento de sistemas agrícolas más sostenibles y resilientes.

Tabla15

Descripción de las dosis de los tratamientos aplicados

Tratamiento	Descripción	Dosis 1	Dosis 2
T1	Microorganismo de montaña líquido	1 Lt Foliar	2 Lt Drench
T2	Microorganismo de montaña líquido más gramínea más minerales	1 Lt Foliar	2 Lt Drench
T3	Caldo sulfocálcico	300 ml/bombada	400 ml/bombada
T4	APICHI (ajo + chile + cebolla)	300 ml/bombada	400 ml/bombada
T5	Testigo (sin aplicación)	—	—

Tratamientos que se utilizaran

Microorganismos de Montaña Líquidos (MML)

Los microorganismos de montaña líquidos son una mezcla fermentada de bacterias, hongos, actinomicetos, levaduras y micorrizas recolectadas de suelos forestales sanos, especialmente de zonas donde no se han aplicado agroquímicos. Estos microorganismos se reproducen en un medio líquido a base de melaza, salvado, agua no clorada y otros ingredientes naturales. (INIFAP, 2022).

Funciones principales:

- Mejoran la fertilidad del suelo al descomponer materia orgánica y liberar nutrientes.
- Estimulan el crecimiento radicular y la absorción de nutrientes.
- Favorecen el control biológico de plagas y enfermedades al competir con microorganismos patógenos.
- Aumentan la resiliencia del cultivo frente a condiciones adversas.

Aplicación: Se pueden aplicar al suelo (en drench o riego) o vía foliar, cada 15–30 días.

Microorganismos de montaña líquidos con gramíneas y enriquecidos con rocas mineral (harina de roca basáltica)

Los microorganismos de montaña líquidos (MM) son preparados biológicos obtenidos a partir de la reproducción de comunidades microbianas presentes en suelos forestales no intervenidos. Estos microorganismos hongos, bacterias, actinomicetos, levaduras y micorrizas se colectan de hojarasca y suelos ricos en materia orgánica, y se multiplican en condiciones controladas mediante fermentación aeróbica o anaeróbica. (ANEC, 2021)

Según ANEC (2021) cuando se combinan con extractos de gramíneas frescas (como pasto estrella, caña de azúcar o maíz) y se enriquecen con harina de rocas minerales (basalto, fosforita, dolomita), el resultado es un biofertilizante líquido altamente funcional, que actúa como activador biológico del suelo, estimulante vegetal y corrector nutricional.

Composición y propiedades

- Microbiología activa: poblaciones vivas de microorganismos benéficos que promueven la regeneración del suelo.
- Macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K).
- Micronutrientes: calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn), silicio (Si).
- Fitorreguladores naturales: auxinas, giberelinas y citoquininas, derivados de la fermentación vegetal.
- Minerales de lenta liberación: provenientes de rocas molidas, que mejoran la nutrición a largo plazo.

Beneficios agronómicos

- Regeneración biológica del suelo: mejora la estructura, aireación, retención de humedad y actividad microbiana.
- Estimulación fisiológica del cultivo: favorece la germinación, el enraizamiento, el crecimiento vegetativo y la floración.
- Fortalecimiento de defensas naturales: incrementa la resistencia a plagas y enfermedades mediante activación de respuestas inducidas.
- Solubilización de nutrientes bloqueados: los microorganismos liberan fósforo, potasio y micronutrientes no disponibles en el suelo.
- Reducción de dependencia de insumos sintéticos: mejora la eficiencia metabólica del sistema productivo.

Formas de aplicación

- Foliar: 1–2 litros por bomba de 20 litros, cada 15–30 días, especialmente en etapas vegetativas.
- Drench (suelo): 3–5 litros por bomba, aplicado directamente a la base de la planta.

Caldo sulfocálcico

El caldo sulfocálcico es un bioinsumo tradicional elaborado con azufre, cal viva y agua no clorada, cocido a alta temperatura. Es un potente fungicida, insecticida y acaricida natural, aprobado para su uso en agricultura orgánica.

DICTA (2018) nos describe la preparación, ingredientes y la cantidad que se necesitan. La preparación requiere cocción y la proporción de los ingredientes puede variar ligeramente, pero el método más común y sencillo es la relación 2:1:20 (Azufre: Cal: Agua). A continuación, se describe la preparación y las cantidades para un lote pequeño, que permitirá obtener aproximadamente 10-12 litros de concentrado listo para diluir:

Tabla 16

Ingredientes y cantidades para la elaboración del caldo sulfocálcico

Ingrediente	Cantidad (para 12 Litros de Agua)	Función
Azufre	2 kg	Agente fungicida y acaricida principal.
Cal viva o hidratada (óxido de calcio)	1 kg	Aporta calcio y reacciona con el azufre para formar los polisulfuros.
Agua (sin cloro)	12 litros	Medio de reacción y cocción.

Pasos para la Elaboración:

1. **Materiales de Seguridad:** Es fundamental usar guantes, mascarilla y gafas protectoras, ya que la cal viva genera calor y el azufre desprende vapores durante la cocción.
2. **Calentar el Agua:** Coloca los 12 litros de agua en un depósito metálico (caldero) sobre un fogón o parrilla. Calienta el agua hasta que esté a punto de hervir o hirviendo suavemente.
3. **Mezclar la Cal:** Agrega cuidadosamente el 1 kg de cal al agua caliente. Remueve constantemente con un bastón de madera hasta que se disuelva completamente.
4. **Añadir el Azufre:** Incorpora lentamente el 2 kg de azufre a la mezcla.
5. **Cocción:** La mezcla debe hervir suavemente de forma constante durante 40 a 60 minutos, o hasta que la mezcla cambie de color. Es vital remover continuamente con el bastón para evitar que los sólidos se asienten y se quemen.
6. **Punto Final:** El caldo estará listo cuando adquiera un color rojizo oscuro, café ladrillo o vino tinto. Esto indica que el azufre y la cal han reaccionado correctamente, formando los polisulfuros de calcio.
7. **Enfriamiento y Filtrado:** Retira del fuego, deja enfriar y luego filtra el líquido concentrado (para retirar los sólidos o "borra") y almacénalo en recipientes oscuros y cerrados.

Propiedades destacadas:

- Controla enfermedades como roya, oídio, antracnosis y cercospora.
- Actúa contra plagas como ácaros, trips, cochinillas y pulgones.
- Aporta calcio y azufre, esenciales para el metabolismo vegetal.
- Mejora el pH del suelo y la cicatrización de heridas en plantas.

Aplicación: Se diluye en agua (1–2 L en 20 L) y se aplica foliarmente cada 10–15 días, en horas frescas. (Farosagroecologicos, 2024)

Apichi (Insecticida natural)

El Apichi es un insecticida orgánico elaborado con ajo, pimienta negra, chile picante y alcohol etílico. Su nombre proviene de la combinación de sus ingredientes: A (ajo), Pi (pimienta), Chi (chile). Es un preparado fermentado que actúa como repelente, insecticida y antifúngico.

García, C. A, Gámez, L. A., & Rincón, G. G (2018) nos describe la preparacion e ingredientes para la preparacion del apichi, el apichi se prepara machacando y macerando los ingredientes para extraer sus compuestos activos. La cantidad se ajusta para obtener un concentrado que luego se diluirá.

Tabla 17
Ingredients y cantidades para elanorar el apichi

Ingrediente	Cantidad Estándar (por 1 Litro de Concentrado)	Función Principal
Ajo (dientes sin pelar)	100 gramos	Repelente de amplio espectro, bactericida y fungicida.

Pimienta o Chile Picante (frutos o polvo)	50 gramos	Efecto irritante y repelente contra plagas succionadoras.
Cebolla (bulbo)	50 gramos	Repelente fuerte y antifúngico (compuestos azufrados).
Jabón Potásico o blanco rallado (Insinuante)	50 gramos	Emulsionante (ayuda a mezclar el extracto con el agua) e insecticida suave (asfixia).
Agua (para la mezcla concentrada)	1 litro	Medio de extracción.

Pasos para la Elaboración:

1. Maceración: Tritura o licúa los 100g de ajo, los 50g de cebolla y los 50g de pimienta/chile con una pequeña cantidad de agua. Si usas ortiga o chile, incorpóralos aquí.
2. Reposo (Opcional): Coloca la pasta obtenida en un recipiente con el resto del agua (1 \text{ litro}) y déjalo reposar por 24 horas en un lugar fresco y oscuro para una mejor extracción.
3. Filtrado: Cuela la mezcla para separar los sólidos (la pulpa) del extracto líquido.
4. Emulsificación: Disuelve los 50 gramos de jabón en una pequeña cantidad de agua caliente y luego incorpóralo al extracto líquido. El jabón es el *insinuante* que permite que el concentrado se pegue a las hojas y se mezcle bien al diluirlo.

Plagas que controla:

- Mosca blanca, áfidos, araña roja, orugas, escamas, trips.
- También tiene efecto sobre hongos superficiales y bacterias.

Modo de acción:

- Irrita el sistema nervioso de los insectos.
- Disuelve la capa cerosa de su exoesqueleto.
- Estimula las defensas naturales de la planta.

Aplicación: Se diluye (ej. 50 mL/L) y se aplica foliarmente cada 7–10 días. Se recomienda usar guantes y mascarilla al prepararlo. (suelofertil, 2022)

Tipo de investigación

El presente estudio se enmarca en una metodología descriptiva, explicativa y experimental, lo que permite abordar el fenómeno investigado desde múltiples dimensiones analíticas.

En primer lugar, se clasifica como descriptivo porque se orienta a observar, documentar y caracterizar el comportamiento del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) frente a la aplicación de bioinsumos agroecológicos desarrollados bajo el modelo UTOPIA. Para ello, se registraron variables morfológicas y fitosanitarias clave, como el número de hojas por planta y la incidencia de enfermedades como la roya y la mancha de hierro.

En segundo lugar, el estudio es explicativo, ya que busca analizar la relación causa–efecto entre los tratamientos aplicados y las respuestas fisiológicas del cultivo. Este enfoque permite interpretar cómo los bioinsumos influyen en el desarrollo vegetativo y la sanidad de las plantas, aportando evidencia sobre su funcionalidad y eficacia en condiciones reales de campo.

Finalmente, se considera experimental debido a la implementación de tratamientos específicos bajo condiciones controladas en campo, utilizando un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Esta estrategia metodológica permitió evaluar de manera rigurosa el efecto de los bioinsumos en comparación con un testigo sin manejo agronómico, garantizando la validez estadística de los resultados obtenidos.

Población y muestra

La población de estudio estuvo conformada por el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), variedad maragogipe, establecido en una superficie de una manzana dentro de la finca LA envidia, perteneciente al productor Herminio Palacios, ubicado en la comunidad de las Escaleras 1.

La muestra experimental consistió en las parcelas distribuidas en bloques, organizadas bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Se evaluaron cinco tratamientos: cuatro formulaciones de bioinsumos agroecológicos y un testigo sin manejo agronómico, cada uno

aplicado en dos niveles de dosis (foliar y drench), con sus respectivas repeticiones. Esta estructura permitió analizar de forma rigurosa el efecto de los tratamientos sobre variables morfológicas y fitosanitarias del cultivo, en condiciones reales de campo.

Tabla18

Población y muestra en el estudio con DBCA

Elemento	Descripción
Población	Cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.) variedad Maragogipe, establecido en 1 manzana de la finca La Envidia, Las Escaleras 1.
Muestra	Parcelas experimentales de café distribuidas en bloques bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA).
Tratamientos	5 en total: 4 bioinsumos + 1 testigo.
Dosis	2 dosis por tratamiento.
Repeticiones	Con sus respectivas repeticiones para cada bloque y tratamiento - dosis.

Variables y categorías (operacionalización de variables)

La definición precisa de las variables y sus respectivas categorías constituye un componente esencial en el diseño de cualquier investigación científica, ya que permite delimitar con claridad los aspectos que serán objeto de observación, medición y análisis (Hernandez, Fernandez, & Lucio, 2014). En el presente estudio, la variable principal se orienta al análisis de las características morfológicas y fitosanitarias de las plantas de café (*Coffea arabica* L.), con el propósito de evaluar el impacto de distintos tratamientos agroecológicos sobre su desarrollo vegetativo y sanidad foliar.

La operacionalización de esta variable implicó la identificación de subvariables específicas, tales como el número de hojas por planta y la incidencia de enfermedades foliares comunes en

el cultivo de café, entre ellas la roya del café (*Hemileia vastatrix*), la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) y ojo de gallo (*Mycena citricolor*). A partir de estas subvariables se establecieron indicadores medibles, que permitieron recolectar información objetiva, confiable y estadísticamente válida para el análisis de los efectos de los tratamientos aplicados.

Descripción de variables evaluadas

- Número de hojas por planta: se evaluó la tasa de desarrollo vegetativo asociada a la aplicación de MML. La medición principal fue el número de hojas por planta, el cual se contabilizó manualmente en cada unidad experimental para detectar variaciones en el desarrollo foliar. Este tratamiento se aplicó en dos dosis distintas: una dosis 1 de 1 litro mediante aspersión foliar y una dosis 2 de 2 litros aplicada directamente al drench, buscando identificar la mejor estrategia de bioestimulación y su efecto en la estructura de la planta.

Al igual que con el MML, la efectividad del MMLE se determinó mediante la medición del número de hojas por planta. Esta variable se utilizó para contrastar si el enriquecimiento del mml con minerales quelatados produce un cambio morfológico superior en el desarrollo vegetativo del cafeto. Las dosis evaluadas fueron una dosis 1 de 1 litro en aplicación foliar y una dosis 2 de 2 litros aplicada al drench, con el fin de comparar su influencia nutricional en el vigor de la planta.

- Incidencia de roya (*hemileia vastatrix*): se evaluó mediante muestreo fitosanitario, registrando la presencia de síntomas visibles en las hojas y calculando el porcentaje de plantas afectadas por tratamiento.
- Incidencia de mancha de hierro (*cercospora coffeicola*): se determinó a través de inspección visual, estimando el porcentaje de infección por planta en cada parcela experimental.
- Incidencia de ojo de gallo (*mycena citricolor*): se identificó mediante observación directa de lesiones circulares características en las hojas, típicamente de color grisáceo con bordes oscuros. Se registró el porcentaje de plantas afectadas en cada tratamiento, considerando la severidad y extensión de los síntomas.

Estas mediciones se realizaron para dos concentraciones del caldo sulfocalcico : una Dosis 1 de 300 ml y una Dosis 2 de 400 ml, ambas aplicadas vía foliar, buscando establecer la dosis

óptima para el manejo integrado de estas enfermedades fúngicas y así reducir la incidencia de estas enfermedades.

A través de la definición de subvariables específicas, se busca identificar, cuantificar y analizar el estado foliar del cultivo, considerando tanto el número total de hojas como aquellas afectadas por enfermedades comunes en sistemas cafetaleros.

Las enfermedades evaluadas incluyen la roya del café (*Hemileia vastatrix*), la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) y el ojo de gallo (*Mycena citricolor*), todas relevantes por su impacto en la productividad y sanidad del cultivo. Para cada subvariable se establecieron indicadores medibles, así como los instrumentos de recolección de datos utilizados en campo, con el fin de garantizar una medición objetiva, sistemática y replicable.

Este proceso de operacionalización permite traducir conceptos abstractos en variables observables, facilitando el análisis estadístico y la interpretación de los efectos de los tratamientos agroecológicos aplicados.

Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

La recolección de datos se realizó en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), variedad maragogipe establecido en la finca La Envidia, perteneciente al productor Herminio Palacios, bajo un esquema experimental basado en el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Este diseño permitió evaluar el efecto de los tratamientos agroecológicos aplicados en condiciones reales de campo.

Para garantizar la rigurosidad del proceso, se implementaron diversos procedimientos de recolección de datos, entre ellos:

- Entrevista semiestructurada al productor: Como parte del proceso de recolección de información contextual, se aplicó un instrumento tipo encuesta al productor responsable del manejo de la finca, en este caso al cuidador de la finca Buena Vista. Esta encuesta fue diseñada para recopilar datos generales sobre la unidad productiva, incluyendo aspectos como la estructura del cultivo, el manejo agronómico aplicado, y las prácticas agrícolas tradicionales y agroecológicas implementadas en el sistema cafetalero.

Además, el instrumento incluyó secciones específicas para el levantamiento de información económica, orientadas a identificar los costos asociados a la producción, tales como el gasto en insumos, la inversión en mano de obra, y otros rubros relevantes para el análisis de la viabilidad económica de los tratamientos aplicados.

- Registro sistemático de variables agronómicas y fitosanitarias: El modelo de registro implementado en este estudio constituye una herramienta clave para llevar un control sistemático y detallado del estado fitosanitario del cultivo de café (*Coffea arabica* L.). A través de este formato estructurado, se documentan de manera organizada las principales afectaciones foliares, lo que permite cuantificar la incidencia y severidad de las enfermedades evaluadas en cada tratamiento.

Este tipo de monitoreo no solo facilita la identificación temprana de problemas fitosanitarios, sino que también permite evaluar la eficiencia de los bioinsumos agroecológicos aplicados. La información recolectada mediante este instrumento aporta datos confiables y comparables, fundamentales para la toma de decisiones en el manejo integral del cafetal, así como para el ajuste de estrategias de control y prevención en futuras campañas agrícolas.

El modelo incluye campos específicos para registrar variables como número de hojas, presencia de síntomas de roya (*Hemileia vastatrix*), mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) y ojo de gallo (*Mycena citricolor*), además de observaciones complementarias sobre el estado general de las plantas.

Tabla19

Tabla de aplicación y muestra de los tratamientos.

Tratamiento	PLANTA	HT	Mhn	Mhv	Antn	Antv	Ogn	Ogv	Rn	Rv	Dn
1	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
2	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
	PLANTA	HT	Mhn	Mhv	Antn	Antv	Ogn	Ogv	Rn	Rv	Dn
3	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
4	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
5	PLANTA	HT	Mhn	Mhv	Antn	Antv	Ogn	Ogv	Rn	Rv	Dn
	1										
	2										
	3										
	4										
TOTALES											

La evaluación de parámetros morfológicos y fisiológicos en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) es un componente esencial para determinar el efecto de los tratamientos agroecológicos aplicados y comprender la respuesta integral de las plantas frente a distintas condiciones de manejo. Este proceso permite establecer relaciones entre el desarrollo vegetativo, la sanidad foliar y el potencial productivo del cultivo.

El registro sistemático de variables como altura de planta, número total de hojas, coloración y estado sanitario del follaje, así como la presencia de estructuras reproductivas (flores y frutos), proporciona información clave para identificar el estado general del cultivo. Además, facilita la detección temprana de limitantes nutricionales o fitosanitarias, permitiendo ajustar oportunamente las estrategias de manejo.

La tabla correspondiente constituye una guía metodológica para la toma de datos en campo, diseñada para aplicarse de forma periódica y estandarizada, lo que garantiza la obtención de datos objetivos, confiables y comparables entre los distintos tratamientos evaluados.

Registro de muestreo y cálculo de índice de área foliar (IAF): realizado mediante observación directa y anotación en tablas de registro, con el fin de evaluar el desarrollo vegetativo y detectar síntomas asociados a enfermedades foliares como roya, mancha de hierro y ojo de gallo.

El IAF constituye un indicador fisiológico fundamental en la evaluación del desempeño agronómico del cultivo de café (*Coffea arabica* L.). Este índice representa la superficie foliar expuesta por unidad de área de suelo, lo que permite estimar la capacidad de la planta para captar radiación solar y realizar el proceso de fotosíntesis, directamente vinculado con la producción de biomasa y el rendimiento final del cultivo.

Un IAF adecuado refleja un equilibrio entre el desarrollo vegetativo y la eficiencia en el uso de recursos, mientras que valores extremos pueden indicar estrés, deficiencias nutricionales o desequilibrios en el manejo agronómico. En este estudio, el IAF se considera una variable complementaria para interpretar el efecto de los tratamientos agroecológicos sobre el crecimiento foliar y la productividad potencial del cafeto.

Tabla 20

Cálculos de variables morfológicas en café.

Fecha de muestreo	Altura de planta (cm)	N de hojas por planta	Ancho promedio de hoja (cm)	Area foliar promedio por hoja	Area foliar promedio por planta	Area foliar total por planta	Area de suelo asignada por planta	Indice de area foliar

La aplicación de esta tabla constituye una herramienta metodológica esencial para organizar y sistematizar el registro de variables morfológicas en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), tales como altura de planta, número de hojas, dimensiones foliares y área asignada por planta. Estos datos permiten calcular de manera precisa el Área Foliar Total y el Índice de Área Foliar (IAF), indicadores clave para evaluar la eficiencia fisiológica del cultivo.

El uso de esta tabla facilita la comparación del desarrollo foliar entre los diferentes tratamientos agroecológicos, proporcionando información valiosa sobre la capacidad de las plantas para captar radiación solar y transformar energía en biomasa. Además, permite establecer relaciones entre el crecimiento vegetativo y la productividad potencial, lo que contribuye a interpretar el comportamiento del cultivo bajo condiciones reales de manejo.

En conjunto, esta herramienta fortalece el análisis técnico del sistema cafetalero, apoyando la toma de decisiones agronómicas orientadas a mejorar el rendimiento y la sostenibilidad del cultivo.

Formulas y cálculos para completar los datos de la tabla 8:

- Altura de planta: Medir con regla desde la base hasta el ápice.
- N.º de hojas por planta: Conteo manual.
- Largo y ancho promedio de hoja: Medir una muestra de hojas representativas.
- Área foliar promedio por hoja: Usar la fórmula lineal específica para café, por ejemplo:
- Área foliar (cm^2) = $a+b \times (\text{largo} \times \text{ancho})$ Área foliar (cm^2) = $a+b \times (\text{largo} \times \text{ancho})$
- (El valor de a y b depende del modelo local, consulta la literatura o usa el modelo validado para tu variedad)610.
- Área foliar total por planta: Multiplica el área foliar promedio por el número total de hojas.
- Área foliar total por planta (m^2): Divide el valor anterior entre 10,000.
- Área de suelo asignada por planta (m^2): Calcula según la distancia de siembra (por ejemplo, $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} = 0.25 \text{ m}^2$).
- Índice de área foliar (IAF):
- $\text{IAF} = \frac{\text{Área foliar total por planta (m}^2\text{)}}{\text{Área de suelo asignada por planta (m}^2\text{)}}$
- $\text{IAF} = \frac{\text{Área de suelo asignada por planta (m}^2\text{)}}{\text{Área foliar total por planta (m}^2\text{)}}$

Aplicación de instrumento para la Evaluación del Desempeño Agroecológico (TAPE)

La herramienta TAPE (Tool for Agroecology Performance Evaluation) representa un instrumento estratégico para la evaluación integral de sistemas agroproductivos, al considerar no solo los niveles de rendimiento, sino también los diez principios fundamentales de la agroecología, que abarcan dimensiones ambientales, sociales, culturales y económicas.

Su implementación permite identificar fortalezas y debilidades en las fincas, orientando la toma de decisiones hacia prácticas más sostenibles, resilientes y adaptativas frente al cambio climático y la dependencia de insumos externos. Además, TAPE facilita la comparación de experiencias entre comunidades y territorios, generando evidencia útil para el diseño de políticas públicas agroecológicas.

Uno de los aportes más significativos de esta herramienta es su capacidad para reconocer y valorar el conocimiento local, las tradiciones campesinas y la identidad cultural, promoviendo la participación comunitaria y el fortalecimiento de la economía territorial mediante el impulso de mercados locales, redes de productores y esquemas de economía circular.

En este sentido, TAPE trasciende la medición de productividad convencional, convirtiéndose en una guía metodológica y estratégica para avanzar hacia sistemas agroecológicos más equilibrados, equitativos y sostenibles.

A continuación, se presenta la tabla con la valoración obtenida en la finca “La envidia” tras la aplicación de la herramienta TAPE, considerando los indicadores definidos por la FAO para el análisis de desempeño agroecológico.

Tabla21

Valoración de los principios agroecológicos en la finca “La envidia”

Principio	Variable	Valoración (16puntos)	Obtenido	Promedio (%)
Diversidad	Cultivos presentes en el área cultivada	4	12	75
	Animales (incluyendo peces o insectos)	1		
	Árboles (y otras plantas perennes)	4		
	Diversidad de actividades, productos y servicios	3		
Sinergias	Integración cultivo-ganadería-acuicultura	1	12	75
	Gestión del sistema Suelo-Planta	3		
	Integración con árboles (Agroforestería, silvopastoreo, agrosilvopastoreo)	4		
	Conectividad entre elementos del agroecosistema y del paisaje	4		
Eficiencia	Uso de insumos externos	1	10	62.5
	Gestión de la fertilidad del suelo	2		

	Control y/o manejo preventivo de plagas y enfermedades	4		
	Productividad y necesidades del hogar	3		
Reciclaje	Reciclaje de biomasa y nutrientes	4	11	68.75
	Ahorro de agua	4		
	Manejo de semillas y razas	2		
	Uso y producción de energías renovables	1		
Resiliencia	Estabilidad de ingresos / producción y capacidad de recuperación	3	13	81.25
	Existencia de mecanismos para reducir la vulnerabilidad	4		
	Resiliencia ambiental y capacidad de adaptación al cambio climático	4		
	Endeudamiento	2		
Cultura y tradición alimentaria	Dieta adecuada y conciencia nutricional	3	6	56.25
	Identidad y conciencia local o tradicional	4		
	Uso de variedades / razas locales y conocimiento tradicional	2		
Creación conjunta e intercambio de conocimientos	Plataformas para la creación y transferencia horizontal de conocimientos	4	12	75
	Acceso al conocimiento agroecológico e interés de los productores	4		

	Participación de los productores en redes y organizaciones de base	4		
Valores humanos y sociales	Empoderamiento de las mujeres	4	14	87.5
	Trabajo (condiciones productivas, desigualdades sociales)	3		
	Empoderamiento juvenil y emigración	4		
	Bienestar de los animales	4		
Economía circular y solidaria	Productos y servicios comercializados localmente	3	9	56.25
	Redes de productores empoderados	4		
	Sistema alimentario local	3		
Gobernanza responsable	Empoderamiento de los productores	4	12	75
	Organizaciones y asociaciones de productores	4		
	Participación de los productores en la gobernanza de la tierra y recursos naturales	4		

Confiabilidad y validez de los instrumentos

Para asegurar que los instrumentos utilizados en esta investigación midieran con precisión las variables definidas, se implementaron mecanismos de validación teóricos y prácticos. Todos los formatos fueron diseñados, revisados y ajustados bajo la supervisión del tutor académico, en conjunto con la colaboración activa del propietario de la finca La Envidia.

Esta participación directa permitió adaptar los contenidos y procedimientos a las condiciones reales del sistema productivo, garantizando que los datos recolectados fueran pertinentes, claros y coherentes con los objetivos planteados en el estudio. La validación práctica en campo

también contribuyó a mejorar la comprensión y aplicabilidad de los instrumentos, fortaleciendo la calidad metodológica del proceso de recolección de información.

Con el propósito de garantizar la precisión, pertinencia y coherencia en la medición de las variables definidas en esta investigación, se diseñaron y validaron diversos instrumentos metodológicos. La validación se realizó mediante un enfoque multidisciplinario, que integró la revisión académica especializada, la observación directa en campo y la participación activa de actores clave, asegurando la calidad de los datos recolectados y su alineación con los objetivos del estudio.

Encuesta al productor

Este instrumento fue estructurado para recopilar información detallada sobre el manejo agronómico del cultivo de café, incluyendo prácticas de fertilización, uso de bioinsumos, y aspectos relacionados con la organización de la unidad productiva. Su diseño se realizó con el acompañamiento de docentes expertos en agroecología y metodología de la investigación, quienes verificaron la claridad semántica de las preguntas, su relevancia temática y su correspondencia con los indicadores definidos. Además, se incorporaron secciones orientadas al análisis económico, como costos de insumos, mano de obra y producción, con el fin de contextualizar el sistema productivo desde una perspectiva integral.

Modelo de registro y monitoreo fitosanitario

Este instrumento fue aplicado para documentar la incidencia y severidad de enfermedades foliares en el cultivo de café, específicamente roya del café (*Hemileia vastatrix*) y mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*). Su diseño se basó en protocolos técnicos de monitoreo fitosanitario, adaptados a las condiciones agroecológicas locales. Se incluyeron fichas de observación directa, conteo sistemático de síntomas y registros fotográficos, lo que permitió validar visualmente los datos obtenidos y fortalecer la precisión diagnóstica del instrumento. Esta herramienta fue clave para evaluar la respuesta del cultivo frente a los tratamientos aplicados.

Registro de muestreo y cálculo del Índice de Área Foliar (IAF)

El formato fue elaborado siguiendo estándares metodológicos reconocidos para la medición de variables morfológicas en café, tales como altura de planta, número de hojas, ancho y largo promedio de hoja, y área asignada por planta. Estos datos permitieron calcular el Área Foliar Total y el Índice de Área Foliar (IAF), indicadores fundamentales para evaluar la eficiencia fisiológica del cultivo y su capacidad de captación de radiación solar. La estructura del instrumento garantizó la coherencia interna entre las variables registradas y permitió comparar el desarrollo vegetativo entre los distintos tratamientos agroecológicos.

Aplicación de la herramienta TAPE (Tool for Agroecology Performance Evaluation)

La herramienta TAPE, desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), fue aplicada para evaluar el nivel de transición agroecológica alcanzado en la finca “La Envidia”. El proceso se llevó a cabo mediante sesiones participativas, que facilitaron la interpretación colectiva de los diez principios de la agroecología, abarcando dimensiones ambientales, sociales, culturales y económicas. Esta herramienta permitió identificar fortalezas y debilidades del sistema productivo, valorar el conocimiento local y las prácticas tradicionales, y promover la sostenibilidad territorial mediante el fortalecimiento de redes locales, mercados cercanos y esquemas de economía circular. Su aplicación aportó una visión integral del desempeño agroecológico de la finca.

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

La Aplicación de análisis de varianza (ANOVA) en la investigación

La tabla ANOVA (Análisis de la Varianza) es una herramienta estadística que organiza los componentes clave del análisis de varianza en formato tabular. Su propósito es determinar si existen diferencias significativas entre las medias de dos o más grupos.

Marc (2023) explica que “la tabla ANOVA contiene toda la información de un análisis de la varianza. Al representar los cálculos en una tabla, se pueden extraer conclusiones fácilmente y calcular el valor del estadístico F”

En este estudio se hizo uso de ANOVAS como herramienta para medir la diferencia ocurrida entre cada uno de los tratamientos en comparación de los testigos, para eso, se espera que el valor de la probabilidad no sea mayor a un 5%, siendo que si este es mayor al valor

determinado, se llegara a la conclusión de que aun haciendo uso de las estaciones UTOPIA un hubo cambio alguno, pero, si el valor no supera el 5% estimado, se considerara que hubo cambio haciendo uso de las estaciones en cada variable medida.

Se aplicó la prueba de Tukey al 95% de confianza se aplica tras un ANOVA para identificar diferencias significativas entre las medias de tres o más grupos. Requiere que las muestras sean independientes y aleatorias, y controla el error tipo I mediante la Diferencia Significativa Honesta (HSD), lo que asegura que las diferencias detectadas no se deban al azar. (Cajal, 2025)

Aplicación de la prueba de Tukey al 95% en la investigación

En el marco de esta investigación, una vez realizado el Análisis de Varianza (ANOVA) para las variables evaluadas en plantas de café (*Coffea arabica* L.), se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey con un nivel de confianza del 95 %, con el propósito de identificar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos agroecológicos aplicados.

Las variables analizadas incluyeron el número total de hojas, así como la incidencia de enfermedades foliares como roya del café (*Hemileia vastatrix*), mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) y ojo de gallo (*Mycena citricolor*). La prueba de Tukey permitió realizar una comparación simultánea de las medias de los tratamientos, estableciendo grupos homogéneos que reflejan con precisión las diferencias reales entre ellos.

Este procedimiento estadístico minimizó el riesgo de error tipo I (detección de diferencias falsas), asegurando que las variaciones observadas fueran atribuibles a los efectos de los tratamientos y no al azar. El resultado fue un agrupamiento estadístico confiable, que facilitó la interpretación objetiva del comportamiento del cultivo bajo distintas condiciones de manejo agroecológico.

Procesamiento estadístico utilizando software especializado (Microsoft Excel).

Microsoft Excel es una herramienta versátil y poderosa para el análisis estadístico, que permite ejecutar procedimientos como ANOVA y la prueba de Tukey sin necesidad de software especializado. Su funcionalidad se extiende desde cálculos básicos hasta análisis avanzados mediante complementos como “Análisis de datos”.

Microsoft Excel se ha consolidado como una herramienta integral para la organización, procesamiento y análisis estadístico de datos, ampliamente utilizada en entornos académicos, empresariales y científicos. Su interfaz accesible y sus funciones integradas permiten realizar desde operaciones estadísticas básicas como medidas de tendencia central, dispersión y generación de gráficos hasta procedimientos avanzados como el Análisis de Varianza (ANOVA), regresión lineal y pruebas post-hoc, incluyendo la prueba de Tukey. (Faster capital, 2025)

Una de sus principales ventajas es la disponibilidad del complemento “Herramientas para análisis” (Data Analysis ToolPak), que facilita la ejecución de estos procedimientos sin requerir software estadístico especializado como SPSS, R o SAS. Este complemento permite aplicar ANOVA de uno o dos factores, realizar comparaciones múltiples y generar informes estadísticos automatizados, lo que lo convierte en una solución eficiente para investigadores, docentes y profesionales que buscan resultados confiables con recursos accesibles. (Thevapalan, 2024)

Excel también permite la creación de tablas dinámicas, gráficos interactivos y el uso de funciones estadísticas personalizadas, lo que amplía su utilidad en estudios cuantitativos y análisis comparativos entre tratamientos experimentales.

Aplicación de la prueba de Microsoft Excel en la investigación

En la presente investigación sobre el impacto de diversos tratamientos biológicos en plantaciones de café, Microsoft Excel fungió como la herramienta principal para la organización, procesamiento y análisis de los datos obtenidos en campo.

Organización y Procesamiento Inicial de Datos

Los datos de variables clave para la salud vegetal, tales como número total de hojas, hojas afectadas por roya (*Hemileia vastatrix*), mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) y ojo de gallo (*Mycena citricolor*), se ingresaron meticulosamente en hojas de cálculo. Esta estructura permitió una rápida y precisa generación de estadísticas descriptivas fundamentales:

- Medias ($\bar{x}$): Para determinar el rendimiento o afectación promedio por tratamiento.

- Desviaciones Estándar (s): Para cuantificar la dispersión y variabilidad de los datos.
- Errores Estándar (EE): Para estimar la precisión de las medias de la muestra.

Análisis Estadístico Inferencial Avanzado

La capacidad analítica de Excel fue potenciada mediante el uso del complemento "Análisis de datos". Este módulo avanzado se empleó para ejecutar rigurosos análisis estadísticos inferenciales:

1. Análisis de Varianza (ANOVA): Se aplicó para determinar si existían diferencias significativas globales entre las medias de los grupos de tratamientos agroecológicos.
2. Prueba *Post-Hoc* de Tukey: Una vez confirmado el efecto significativo por ANOVA, esta prueba se ejecutó a un nivel de confianza del 95 % ($\alpha=0.05$) para realizar comparaciones múltiples por pares, identificando con precisión qué tratamientos específicos diferían significativamente entre sí.

Visualización e Interpretación de Resultados

Finalmente, Excel se utilizó para transformar los datos procesados en formatos visuales claros y concisos. La creación de gráficos de barras (con inclusión de barras de error) y tablas comparativas facilitó la interpretación directa de los efectos diferenciales de los tratamientos biológicos. Este proceso agilizó la identificación de los tratamientos más efectivos en el manejo integrado de las enfermedades y en la mejora de las características agronómicas de las plantas de café.

Criterios de calidad

La validez del presente estudio se estableció mediante una metodología robusta, centrada en el control experimental y la relevancia contextual de los hallazgos.

Validez Interna: Control Experimental y Causalidad

La validez interna se garantizó a través de la implementación de un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA).

- **Objetivo:** Este diseño experimental permitió minimizar la variabilidad intrínseca del suelo y otras condiciones de campo, distribuyendo de forma homogénea los factores de confusión.
- **Aseguramiento:** Al controlar las fuentes de error, se pudo asegurar con mayor certeza que las diferencias observadas en las variables agronómicas fueran directamente atribuibles a los tratamientos biológicos aplicados, estableciendo una relación de causalidad clara.

Validez Externa: Relevancia y Extrapolación

La validez externa se buscó al ejecutar la investigación en condiciones reales de producción.

- **Contexto de Estudio:** El trabajo de campo se desarrolló en la Finca La Envidia, un entorno operativo representativo de la caficultura local.
- **Aplicabilidad:** Esto facilita la extrapolación y transferencia directa de los resultados concernientes a la efectividad de los tratamientos biológicos a contextos productivos similares dentro de la caficultura actual de Matagalpa y las comunidades aledañas que dependen de este rubro.

Fundamentación de la Validez

La solidez general del estudio se fundamentó en dos pilares:

1. **Definición de Variables:** Se establecieron definiciones operacionales precisas para las variables agronómicas clave, como el número de hojas y la incidencia de enfermedades (roya, mancha de hierro y ojo de gallo).
2. **Coherencia Metodológica:** Se mantuvo una estricta coherencia entre los instrumentos de recolección de datos y los objetivos de la investigación, asegurando que los datos capturados respondieran fielmente a las preguntas planteadas.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El productor Herminio Palacios, al frente de la finca “La Envidia”, ha adoptado un enfoque de manejo regenerativo que prioriza la salud del suelo y la autonomía del ecosistema. En contraste con los modelos de producción convencionales, el productor se abstiene de realizar prácticas de fertilización exógena (mediante insumos externos). En su lugar, el sistema de nutrición del cultivo se basa intrínsecamente en la descomposición natural de la materia orgánica generada *in situ* por los propios cultivos y la vegetación de la finca. Esta estrategia no solo busca la sostenibilidad del suelo y un equilibrio biológico, sino que también reduce la dependencia de insumos externos, alineándose con principios agroecológicos de autosuficiencia y resiliencia.

A pesar de esta filosofía orgánica en la nutrición, el productor mantiene una vigilancia activa sobre los factores que amenazan directamente la productividad. Con el objetivo de proteger la cosecha y garantizar la rentabilidad, Herminio Palacios realiza aplicaciones puntuales y dirigidas para el control de malezas y plagas. Los insumos y costos asociados a estas prácticas fitosanitarias se detallan a continuación, y representan el principal egreso técnico en el manejo de la finca.

Tabla 22

Gastos de insumos químicos usados para el control de arvenses

Nombre del Insumo	Aplicación	por	Cantidad	de	Cantidad	Frecuencia de Uso
	Manzana		Manzanas		Comprada por Año (Litros)	
Gramoson	No aplica/Dosis total		4		9.00	Cada 2 meses
Sipermetrina	200 cc (0.20 L)		4		21.60	Cada 10 días (27 veces)
TOTAL						

La evaluación económica inicial de la finca "La Envidia" demuestra que, a pesar de la firme filosofía de manejo orgánico en la nutrición del suelo, el productor Herminio Palacios incurre

en un gasto anual total de C\$ 8,532 en insumos químicos. Esta cifra, sustancialmente mayor a la proyectada inicialmente, representa una vulnerabilidad económica crítica y una profunda divergencia en su modelo de sostenibilidad, ya que es destinada al control de plagas y malezas.

El mayor egreso dentro de este rubro es el destinado al control de plagas con el insecticida Cipermetrina, cuyo costo anual asciende a C\$ 6,912. Este gasto se deriva de la necesidad de realizar 27 aplicaciones al año (una cada 10 días durante el periodo productivo), utilizando una dosis de 200 cc por manzana en sus 4 manzanas de café. Esta frecuencia de uso y el elevado costo asociado evidencian una alta y costosa dependencia química para proteger el rendimiento. La inversión en Cipermetrina es el principal punto de conflicto financiero y sugiere la urgente necesidad de implementar un manejo biológico que pueda ofrecer un control de plagas sostenido y reducir este egreso recurrente.

Adicionalmente, el gasto en el herbicida Gramosone (C\$ 1,620) sigue representando una divergencia crítica con los principios agroecológicos, aunque su impacto económico ahora es secundario. La necesidad de aplicar este producto cada dos meses para el control de malezas pone en conflicto la estrategia de nutrición orgánica del suelo, ya que su uso impacta la microflora y podría comprometer la descomposición de materia orgánica, base de la fertilización agroecológica de Herminio.

Tabla 23

Costo de mano de obra

Actividad	Cantidad de jornales	Costo de jornales	Cantidad de aplicaciones anual	Costo total
Aplicacion de gramoxone	2	150	6	1800
Aplicacion de	1	150	21.60	3,240

cipermetrin	
a	
total	5,040

La evaluación económica de la estrategia de control químico revela un costo operativo anual de C\$ 13,572 (C\$ 8,532 en insumos + C\$ 5,040 en mano de obra).

Si bien el costo de los Insumos Químicos (C\$ 8,532) es la carga económica principal, el costo de la mano de obra (C\$ 5,040) representa una carga significativa que potencia la ineficiencia de este modelo, destacando que el tiempo y el esfuerzo humano están siendo dedicados a actividades contrarias a la agroecología.

La distribución de estos C\$ 5,040 en la fuerza laboral revela la gran demanda de tiempo generada por el manejo químico:

Manejo Intensivo de Plagas (Cipermetrina)

Costo de Mano de Obra: C\$ 3,240 anuales.

Esta actividad consume la mayor proporción de jornales (21.6 al año) y representa el 64% del costo total de mano de obra para control químico.

Implicación Agroecológica y Económica: La alta frecuencia de intervención (27 aplicaciones al año) se traduce en un gasto combinado de C\$ 10,152 (C\$ 6,912 en insumo + C\$ 3,240 en mano de obra). Este uso intensivo del tiempo y el capital subraya la gestión reactiva y demuestra la urgente necesidad de sustituir el control químico por un manejo biológico estable que libere estos jornales y reduzca drásticamente los gastos.

Control de Arvenses (Gramoxone)

Costo de Mano de Obra: C\$ 1,800 anuales.

El uso de dos jornales por aplicación (para 6 aplicaciones al año) requiere un gasto considerable de tiempo (12 jornales anuales) en una labor que es opuesta a la filosofía de Herminio.

Implicación Agroecológica: Este esfuerzo de mano de obra y el costo del insumo (C\$ 1,620) se eliminan al implementar prácticas como el establecimiento de coberturas vegetales, permitiendo que el productor reasigne su tiempo a labores productivas que sí aporten al ciclo orgánico de la finca.

Tabla 24

Costo del rubro de café (Coffea Arabica L)

actividad	fecha	Numero de jornales	Costo de jornal	Costo total
1-precorte				
chapia	mayo	2	150	300
Regulacion de sombra	mayo	2	150	300
Poda sanitaria	mayo	2	150	300
recepó	mayo	2	150	300
Muestreo la de plagas y enfermedades	mayo	2	150	300
desbejuca	mayo	2	150	300
pepena	mayo	2	150	300
Aplicacion de pulpa	mayo	2	150	300
2-resiembra				
ahoyado	mayo	2	150	300
Distribucion de planta	mayo	2	150	300

siembra	mayo	2	150	300
3- corte, transporte y beneficiado				
Cosecha	octubre	10	150	5,000
canastos	octubre	10	150	1500
sacos	octubre	10	150	1500
total				11,300

El análisis de la estructura de costos de la finca "La Envidia" revela que la inversión en Capital Humano (Mano de Obra) asciende a C\$ 11,300 anuales en labores de manejo, constituyéndose en un componente de costo fijo significativo. Esta cifra subraya la naturaleza intensiva en mano de obra de la caficultura tradicional y la alta dependencia del productor Herminio Palacios en el recurso humano para la ejecución de sus prácticas.

Desglose de la Demanda de Jornales y Costo Operativo

Inversión en Establecimiento y Desarrollo Vegetativo (Mayo)

La concentración de 22 jornales en mayo para actividades de Pre-Corte y Resiembra genera una inversión total de C\$ 3,300.

- **Crítica Agroecológica Positiva:** El gasto se dirige a labores que mejoran la sanidad y estructura (poda sanitaria, recepo) y reafirman el compromiso orgánico (aplicación de pulpa), demostrando una inversión preventiva en la salud futura de la plantación.
- **Significancia:** El alto número de tareas simultáneas en esta fase (11 actividades) indica una gestión compleja y demandante de tiempo, donde la eficiencia en la ejecución es crucial para el rendimiento posterior. La presencia del muestreo de plagas es un indicativo de un manejo técnico basado en la vigilancia, aunque luego se complementa con químicos.

La Carga Máxima: Concentración del Riesgo Financiero (octubre)

La fase de Cosecha, Transporte y Beneficiado acapara la mayor proporción del costo operativo total, con C\$ 8,000 destinados únicamente a 30 jornales.

- **Identificación de Gasto Crítico:** La actividad de Cosecha reporta un gasto de C\$ 5,000, lo que distorsiona el costo estándar por jornal y sugiere un componente de costo variable alto asociado a la urgencia, selectividad y bonificación de la recolección.
- **Vulnerabilidad Económica:** La concentración del 70.8% del costo de mano de obra en esta fase (C\$ 8,000 de C\$ 11,300) expone a la finca a una vulnerabilidad extrema. Cualquier ineficiencia o pérdida de grano durante la cosecha tiene un impacto multiplicador, ya que el capital humano movilizado es masivo y de alto costo.

Tabla 25

Comercialización del rubro

rubro	Cantidad vendida	Costo	total
cafe	50qq	3600	180,000

El esfuerzo productivo anual de la finca “La Envidia” se traduce en una cosecha comercializable de 50 quintales (qq) de café, rubro que logra colocarse en el mercado a un precio de C\$ 3,600 por quintal. Esto genera un Ingreso Bruto (IB) total de C\$ 180,000.

La producción de 50 quintales es el logro tangible de toda la inversión en mano de obra y costos de insumos, cuyo Costo Operativo Total asciende a C\$ 19,832 (C\$ 11,300 en mano de obra + C\$ 8,532 en insumos químicos).

El precio de venta de C\$ 3,600 por quintal es el factor crítico externo que determina la viabilidad económica de la finca.

La inversión en costos de manejo y cosecha (C\$ 19,832) compromete el 11% del Ingreso Bruto (C\$ 180,000). A pesar de que la Utilidad Bruta es alta bajo las condiciones de precio actuales, la ineficiencia reside en la distribución de ese gasto.

- C\$ 8,532 se destinan a insumos químicos (cipermetrina y Gramoxone), comprometiendo la filosofía orgánica.
- C\$ 11,300 se gastan en mano de obra, con una sobrecarga en la cosecha y en la aplicación de químicos.

El costo operativo actual (manejo y cosecha) es de C\$ 396.64 por quintal. Este costo unitario, siendo bajo respecto al precio de venta, proporciona un margen de ganancia bruto significativo.

Cualquier volatilidad o baja en el precio de C\$ 3,600 impacta directamente el Ingreso Bruto, lo que podría reducir el colchón financiero de Herminio, obligándolo a reducir el costo operativo. Es crucial que la estrategia agroecológica propuesta se centre en reducir los C\$ 19,832 de costos externos (insumos químicos y jornales de aplicación) para blindar a la finca contra la volatilidad del precio, en lugar de depender únicamente de este para la rentabilidad.

Tabla 26

Rentabilidad del rubro

Descripción	Monto total (C\$)
Gastos totales	19,832
Ganancias del rubro del café	180,000
Ganancia neta total	160,168

El análisis financiero confirma que el productor Herminio Palacios goza de una alta rentabilidad actual, registrando una Utilidad Neta de C\$ 160,168. Esta eficiencia económica a corto plazo se debe a un Costo de Producción por Quintal (CPQ) de C\$ 396.64. Este bajo CPQ se logra principalmente mediante una gestión simplificada que omite costos críticos de fertilización y manejo preventivo de enfermedades.

Sin embargo, esta rentabilidad es insostenible y altamente riesgosa debido a la omisión técnica y la mala distribución del gasto. El productor no implementa ningún manejo (ni químico, ni biológico) para controlar enfermedades endémicas del café como la roya, el ojo de gallo y mancha de hierro. Esto significa que el cultivo está completamente expuesto a los ciclos epidémicos de las enfermedades fúngicas, lo cual amenaza directamente la producción futura y la estabilidad de los 50 quintales cosechados.

Deterioro de la Fertilidad y Riesgo de Rendimiento: La dependencia exclusiva en la descomposición de materia orgánica sin reponer activamente los nutrientes extraídos, combinada con la ausencia de control de enfermedades que afectan la capacidad fotosintética de la hoja, está socavando la capacidad productiva del suelo.

La alta ganancia actual de C\$ 160,168 es un ahorro forzado por la omisión de prácticas técnicas (nutrición y sanidad). Esta omisión compromete el rendimiento y el ingreso a largo plazo, convirtiendo el modelo de alta utilidad actual en un modelo de alta fragilidad técnica.

El modelo de Herminio Palacios está en un punto de tensión crítica. La investigación se basa en la necesidad de implementar un sistema de tecnologías agroecológicas (UTOPIA) que permita al productor mantener su rentabilidad, pero reemplazando el riesgo inherente a la omisión y el costo químico por una inversión estratégica en la resiliencia biológica y sanitaria del cultivo.

Efecto de incidencia de enfermedades.

En esta investigación se presentan los resultados obtenidos durante la evaluación de la efectividad de diversos insumos biológicos aplicados en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) desarrollado en la finca La Envidia, bajo condiciones agroecológicas. Los tratamientos evaluados incluyeron microorganismos de montaña líquidos (Estación 2 de UTOPIA), microorganismos de montaña líquidos enriquecidos con leguminosas y harina de roca (Estación 5), caldo sulfocálcico y APICHI (extracto fermentado de plantas).

El análisis se estructuró en torno a las variables definidas en el diseño metodológico, entre ellas: número de hojas por planta, incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*), mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), y ojo de gallo (*Mycena citricolor*), además de la evaluación del Desempeño Agroecológico mediante la herramienta TAPE.

Se examinan las tendencias de crecimiento foliar, el comportamiento de las principales enfermedades que afectan al café, y la eficacia de los tratamientos biológicos como alternativas sostenibles frente al manejo químico convencional. Asimismo, se identifican las limitaciones experimentales que pudieron incidir en los resultados, y se plantean proyecciones para futuras investigaciones orientadas a validar con mayor precisión la eficacia de estas tecnologías agroecológicas en sistemas cafetaleros de pequeña escala.

Análisis número de hojas en plantas de café (*Coffea arabica* L.)

El desarrollo foliar es un parámetro morfológico fundamental para evaluar el crecimiento vegetativo de las plantas de café, ya que las hojas constituyen el principal órgano fotosintético responsable de captar la energía solar y transformarla en compuestos orgánicos esenciales para el metabolismo de la planta. La cantidad, distribución y estado fisiológico de las hojas influyen directamente en la eficiencia de la fotosíntesis, el intercambio gaseoso y la producción de carbohidratos, procesos que sustentan funciones vitales como la floración, el llenado de frutos, la formación de nuevos brotes y la resistencia a enfermedades (Marin Romero, 2021).

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de bioestimulantes foliares puede mejorar significativamente el desarrollo foliar, aumentando el número de hojas activas, el área foliar y la masa seca de las plantas. Por ejemplo, investigaciones realizadas en viveros de café en Cuba evidenciaron que el uso de Codafol 14-6-5 incrementó en promedio la altura de las plantas en un 6.3%, el diámetro del tallo en un 12.5%, la masa seca en un 23.8% y el área foliar en un 10.6%. Estos resultados reflejan cómo el manejo nutricional foliar puede potenciar el crecimiento vegetativo y preparar a la planta para una mejor productividad en etapas posteriores. (Feras, Bustamante , & Perez, 2024)

Desde una perspectiva agroecológica, el desarrollo foliar también puede interpretarse como un indicador de la salud del agroecosistema. Un follaje vigoroso sugiere una buena actividad microbiana en el suelo, una adecuada disponibilidad de nutrientes y una interacción positiva entre la planta y los insumos biológicos aplicados. Por ello, este parámetro se convierte en una herramienta clave para validar el impacto de prácticas sostenibles en el manejo del café, especialmente en contextos donde se busca reducir el uso de agroquímicos y fortalecer la resiliencia del cultivo.

Tabla 26

Indice de area foliar en café.

Tratamientos	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Promedio IAF
t1d1	1.64	1.27	1.25	1.25	1.3525
t2d1	0.91	1.01	1.07	1.1	1.0225
t3d1	0.69	0.86	0.95	0.74	0.81
t4d1	1.01	0.94	1.08	0.98	1.0025
Testigo d1	1.1	0.87	0.9	0.8	0.9175
t1d2	1	1.2	1.4	1.26	1.215

t2d2	1	1.04	1.08	0.77	0.9725
t3d2	0.91	0.96	1.05	1.07	0.9975
t4d2	1.03	0.98	1.04	0.82	0.9675
Testigo d2	0.81	0.89	1.07	0.89	0.915
promedio general					1.01725

Con el objetivo de determinar si existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos agroecológicos aplicados, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores con una sola muestra de grupo, centrado en la variable número de hojas por planta como indicador del desarrollo vegetativo en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.).

Este procedimiento estadístico permitió evaluar la interacción entre los tratamientos y las unidades experimentales, identificando posibles efectos diferenciados en la respuesta fisiológica del cultivo. El análisis se desarrolló bajo un nivel de significancia del 5 % ($p \leq 0.05$), lo que garantiza un alto grado de confiabilidad en la detección de diferencias reales entre grupos.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla, donde se detallan los valores de sumas de cuadrados, grados de libertad, cuadrados medios, estadístico F y valor p, permitiendo interpretar con precisión el comportamiento de la variable evaluada en función de los tratamientos aplicados:

Tabla 27

Análisis de varianza ANOVA índice de área foliar de café.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	1.09984063	9	0.12220451	11.591377	2.8025E-08	2.15260747
Columnas	0.0785875	4	0.01964688	1.8635510	0.13815189	2.63353209
Error	0.3795375	36	0.01054271	3		
Total	1.55796563	49				

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el **Análisis de Varianza (ANOVA)** para el **Índice de Área Foliar (IAF)**, se evidenciaron **diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados** ($F = 11.59$; $p = 2.80 \times 10^{-8} < 0.05$). En consecuencia, se **rechaza la hipótesis nula (H_0)**, la cual planteaba que no existirían diferencias estadísticas entre los tratamientos y el testigo, y se **acepta la hipótesis alternativa (H_a)**, que establece que al menos uno de los tratamientos agroecológicos genera una respuesta diferente en el desarrollo foliar del cultivo de café.

Por otro lado, el efecto de los bloques no resultó estadísticamente significativo ($F = 1.86$; $p = 0.138 > 0.05$), lo que indica que las condiciones ambientales entre bloques fueron homogéneas y que la variación observada en el Índice de Área Foliar se atribuye principalmente a los tratamientos aplicados.

El Gráfico 2 presenta la comparación del número de hojas por planta en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), como resultado de la aplicación de distintos tratamientos agroecológicos con bioinsumos. Se observa un comportamiento diferenciado entre los tratamientos evaluados, destacándose aquellos que incorporaron microorganismos de montaña en su formulación.

En contraste, los tratamientos testigo, tanto en dosis 1 como en dosis 2, presentaron valores promedio de IAF inferiores al promedio general, con registros de 0.9175 y 0.915, respectivamente. Asimismo, el tratamiento T3D1 mostró el menor índice de área foliar (0.81), lo que sugiere que dicha formulación o dosis no favoreció de manera eficiente el desarrollo foliar.

Estos hallazgos coinciden con lo señalado por el Análisis de Varianza (ANOVA), donde se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, respaldando la hipótesis alternativa (H_a) de que los bioinsumos influyen de forma positiva en el índice foliar. El incremento en la superficie foliar representa una mejora en la capacidad fotosintética de la planta, lo que se traduce en un mayor potencial productivo y en una respuesta favorable del cultivo bajo condiciones de manejo agroecológico.

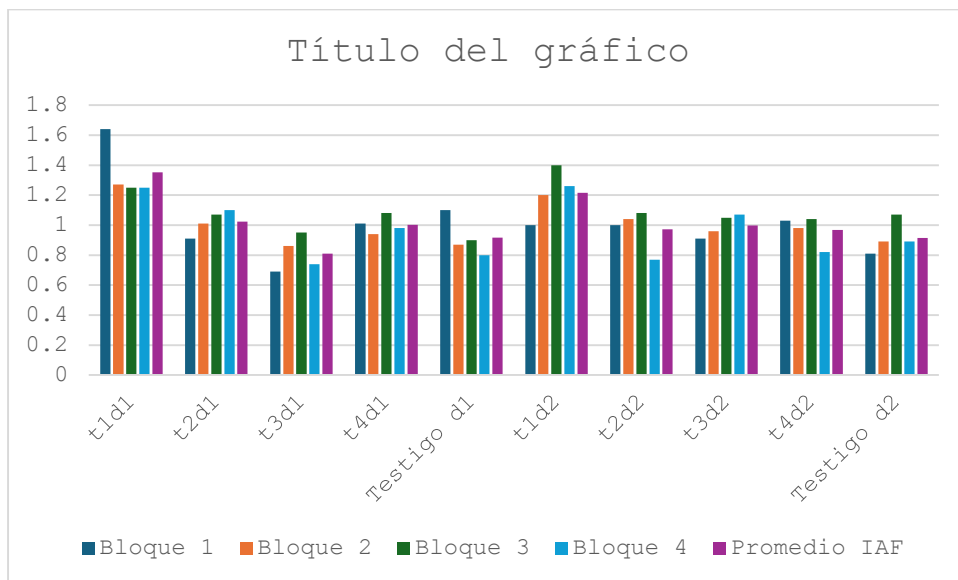


Gráfico2

Comparación de variables de índice de area foliar por tratamiento

Análisis de incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

La *incidencia de roya del café* (*Hemileia vastatrix*) constituye un indicador fitosanitario crítico para evaluar el estado de salud y la resiliencia fisiológica de las plantas de café (*Coffea arabica* L.). Esta enfermedad fúngica afecta directamente el tejido foliar funcional, provocando una reducción en la capacidad fotosintética y, en consecuencia, una disminución en la producción de biomasa y rendimiento del cultivo. (Morales, Monterroso, Rodad, & Cordon, 2019)

La presencia y severidad de la roya reflejan tanto la susceptibilidad genética del material vegetal como la eficacia de las prácticas de manejo agronómico implementadas. En contextos agroecológicos, donde se busca minimizar el uso de agroquímicos sintéticos, el monitoreo de esta enfermedad adquiere especial relevancia, ya que permite evaluar la efectividad de alternativas biológicas y el nivel de resiliencia del sistema productivo frente a presiones bióticas. (IPSA, 2024)

Además, la roya puede actuar como un indicador indirecto de equilibrio agroecosistémico, revelando el grado de vulnerabilidad del cultivo ante condiciones ambientales adversas, deficiencias nutricionales o desequilibrios en la regulación de sombra y humedad. Por ello, su

análisis es fundamental para orientar decisiones técnicas en el marco de la transición hacia sistemas cafetaleros sostenibles.

En el contexto de los sistemas agroecológicos, la disminución en la incidencia de roya del café (*Hemileia vastatrix*) adquiere una relevancia estratégica, ya que evidencia la capacidad de los bioensayos para estimular mecanismos de defensa fisiológicos y fortalecer la resiliencia natural de las plantas. Esta enfermedad fúngica, considerada una de las más destructivas en cultivos de *Coffea arabica*, compromete directamente la superficie foliar funcional, afectando la fotosíntesis y reduciendo el rendimiento. (Hernandez, Lopez, & Sanchez, 2021)

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de biopreparados orgánicos, como microorganismos benéficos y extractos minerales, mejora la salud del suelo, incrementa la diversidad microbiana en la rizósfera y promueve el desarrollo de plantas más vigorosas y menos susceptibles al ataque de patógenos. Estos tratamientos han mostrado reducciones significativas en la incidencia de roya, con efectos que superan el 50 % en algunos casos, dependiendo del tipo de biofungicida y las condiciones de manejo. (Ramirez, y otros, 2021)

En este estudio, el análisis de la incidencia de roya permite evaluar la efectividad de los tratamientos con microorganismos de montaña como alternativa agroecológica frente al control convencional. La comparación con el testigo sin aplicación ofrece evidencia sobre el potencial de estos insumos para reducir la presión de enfermedad, mejorar la sanidad vegetal y contribuir a la estabilidad productiva del sistema cafetalero a mediano plazo.

Este parámetro no solo refleja el impacto directo sobre la planta, sino que también permite proyectar el nivel de sostenibilidad del sistema, al reducir la dependencia de insumos s

La siguiente tabla presenta los resultados obtenidos para la incidencia de roya del café (*Hemileia vastatrix*), expresados como el número de hojas afectadas por tratamiento en los distintos bloques experimentales. Este indicador fitosanitario permite evaluar el comportamiento de la enfermedad en función de las alternativas agroecológicas aplicadas, así como la eficacia relativa de cada tratamiento en la reducción del daño foliar.

Tabla 28

Numero de hojas afectadas por Roya (Hemileia Vastatrix) Bajo los diferentes tratamientos de bioinsumos

Tratamientos	Bloques				Promedio
	1	2	3	4	
T1D1	41	33	37	22	33.25
T2D1	34	45	27	49	38.75
T3D1	23	29	31	25	27
T4D1	34	39	47	28	37
Testigo	38	49	41	38	41.5
T1D2	38	41	58	44	45.25
T2D2	36	44	38	21	34.75
T3D2	17	24	31	22	23.5
T4D2	31	25	39	36	32.75
Testigo	43	38	53	57	47.75
					36.15

Con el propósito de determinar si existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos agroecológicos aplicados, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores con una sola muestra de grupo, centrado en la variable incidencia de roya del café (*Hemileia vastatrix*), expresada como el número de hojas afectadas por planta.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla, donde se detallan los valores de sumas de cuadrados, grados de libertad, cuadrados medios, estadístico F y valor p, permitiendo interpretar con precisión el comportamiento de la enfermedad en relación con los tratamientos evaluados.

Tabla 29

Análisis de varianza ANOVA para roya del café (Hemileia vastatrix)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	2076.6	9	230.733333	4.12241927	0.00199432	2.25013148
Columnas	275.3	3	91.7666667	1.63955797	0.20355824	2.96035132
Error	1511.2	27	55.9703704			
Total	3863.1	39				

De acuerdo con los resultados obtenidos en el Análisis de Varianza (ANOVA) presentado en la Tabla 27, se identificaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) los tratamientos, dosis aplicadas y el testigo en relación con la incidencia de roya del café (*Hemileia vastatrix*), medida como el número de hojas infectadas por planta. Estos hallazgos respaldan la hipótesis alternativa (H_a) planteada en el estudio, al confirmar que los tratamientos agroecológicos evaluados ejercieron un efecto positivo sobre la sanidad vegetal del cultivo durante el periodo experimental.

La reducción en la incidencia de roya observada en los tratamientos con bioinsumos sugiere una estimulación de mecanismos de defensa fisiológicos, posiblemente asociados a la mejora en la microbiota del suelo, el equilibrio nutricional y la activación de respuestas inducidas por microorganismos benéficos. Estos efectos reflejan el potencial de los insumos aplicados para fortalecer la resiliencia del cafeto frente a enfermedades fúngicas, especialmente en sistemas de manejo agroecológico.

Si bien algunos tratamientos mostraron una respuesta más marcada que otros, los resultados generales permiten inferir que la aplicación de bioinsumos contribuye a la reducción de la presión de roya, incluso en condiciones agronómicas limitadas. Este comportamiento positivo es relevante considerando que el cultivo se encuentra en una finca con manejo técnico mínimo, lo que resalta aún más la capacidad de los tratamientos para generar impactos favorables.

En consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa (H_a), estableciendo que los tratamientos aplicados influyeron significativamente en la incidencia de roya durante el periodo de observación. Se recomienda prolongar el tiempo de aplicación, ajustar las dosis y considerar

etapas fenológicas más avanzadas del cultivo en futuras evaluaciones, con el fin de validar y optimizar el efecto de estas tecnologías agroecológicas en el control sostenible de enfermedades.

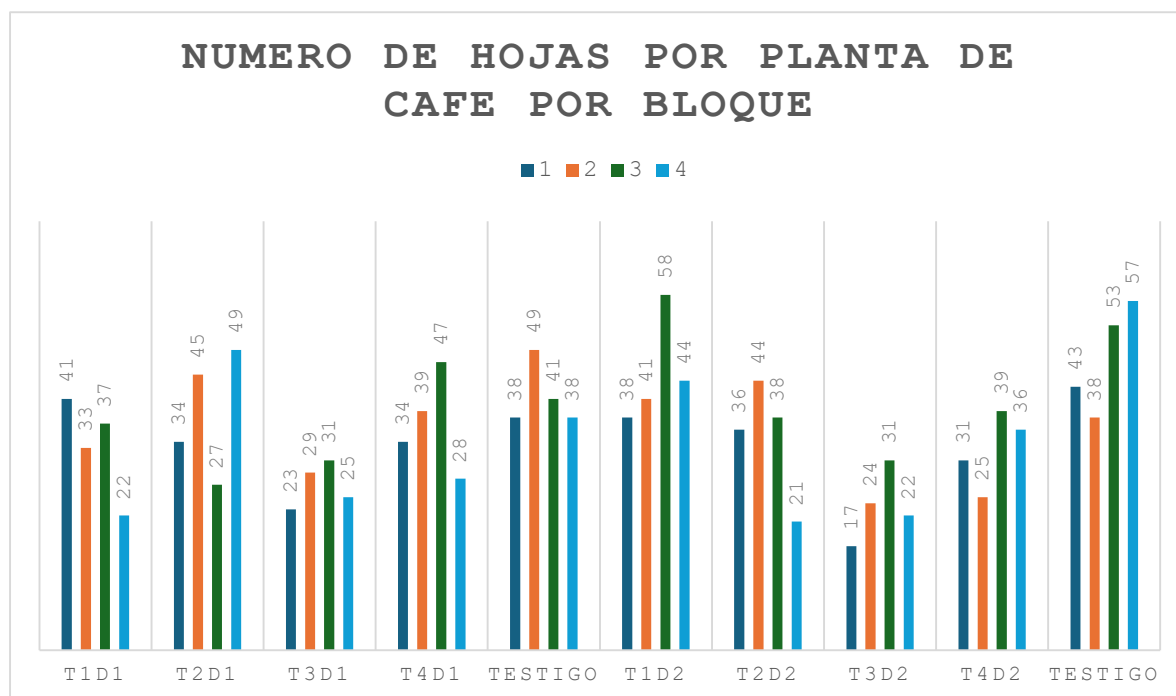


Gráfico3

Numero de hojas por planta de café por bloque

El grafico muestra los valores obtenidos para la incidencia de roya del café (*Hemileia vastatrix*), expresados como el número de hojas afectadas por tratamiento en los distintos bloques experimentales. El promedio general de incidencia fue de 36.15 hojas afectadas por planta, lo que sirve como referencia para comparar el comportamiento de cada tratamiento.

Los tratamientos T1D2 (Microorganismos líquidos, dosis 2: 2 L/bombada al drenaje) y T2D1 (Microorganismos líquidos + gramíneas, dosis 1: 1 L/bombada foliar) mostraron valores promedio elevados de incidencia (45.25 y 38.75, respectivamente), lo que podría indicar una respuesta limitada en el control de la enfermedad bajo las condiciones evaluadas. En contraste, T3D2 (Caldo sulfocálcico, dosis 2: 300 ml/bombada) presentó el valor más bajo (23.5 hojas afectadas), lo que sugiere un efecto potencialmente positivo en la reducción de la roya.

Los testigos sin aplicación registraron los promedios más altos (41.5 y 47.75), lo que refuerza la hipótesis de que la aplicación de bioinsumos puede contribuir a disminuir la incidencia de la enfermedad, aunque con variabilidad entre formulaciones y dosis.

Este comportamiento evidencia la necesidad de ajustar las estrategias de aplicación, considerando factores como el tipo de bioinsumo, la dosis, el método de aplicación (foliar vs. drenche) y las condiciones agronómicas del cultivo. Los datos también sugieren que algunos tratamientos podrían fortalecer la resistencia fisiológica del cafeto, mientras que otros requieren optimización para mejorar su eficacia fitosanitaria.

Análisis de incidencia de Mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

La Mancha de Hierro (*Cercospora coffeicola*) es una enfermedad foliar clave en el cultivo de café, caracterizada por generar lesiones necróticas en la superficie de las hojas. Esta afectación compromete directamente la capacidad fotosintética de la planta y, consecuentemente, su desarrollo vegetativo y productividad (Gonzales & Perez, 2023)

Relevancia como Indicador Agroecológico

La evaluación de la Mancha de Hierro permite identificar la vulnerabilidad del cultivo frente a condiciones ambientales específicas y la idoneidad de las prácticas de manejo. En sistemas de transición agroecológica donde se busca la reducción o eliminación de fungicidas químicos, la incidencia de esta enfermedad se convierte en un indicador práctico fundamental. Refleja la salud general de los cafetos y la eficacia real de los tratamientos orgánicos aplicados.

Análisis de Resultados y Desempeño de los Tratamientos

El análisis de los datos obtenidos evidencia claras diferencias significativas en la severidad de la enfermedad entre los distintos bioinsumos aplicados y el testigo (control sin tratamiento).

Los resultados demuestran que el caldo sulfocalcico logro una reducción significativa de la Mancha de Hierro, superando el desempeño del grupo testigo. Esta tendencia sugiere la efectividad de formulaciones específicas para el manejo de esta patología. Los tratamientos

más efectivos no solo mantuvieron la incidencia de la enfermedad a niveles bajos, sino que también fortalecieron la capacidad de las plantas para mitigar su impacto negativo.

Resultados de Incidencia de mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*)

A continuación, la Tabla 25 presenta los resultados obtenidos para la incidencia por mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), desglosados como el número de hojas con afectaciones por tratamiento dentro de los distintos bloques experimentales evaluados.

Tabla30

Numero de incidencia de hojas con Mancha de hierro (Cercospora coffeicola) bajo los diferentes tratamientos de bioinsumos.

Numero de hojas con mancha de hierro					
	1	2	3	4	Promedio
T1D1	21	34	26	21	25.5
T2D1	22	24	30	25	25.25
T3D1	16	10	21	22	17.25
T4D1	23	31	33	24	27.75
Testigo	31	26	38	30	31.25
T1D2	26	33	36	21	29
T2D2	30	41	28	33	33
T3D2	21	29	17	23	22.5
T4D2	31	29	37	33	32.5
Testigo	31	44	36	29	35
					27.9

Con el objetivo de determinar si existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos agroecológicos aplicados, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores con una sola muestra de grupo, centrado en la variable *incidencia de mancha de hierro* (*Cercospora coffeicola*), expresada como el número de hojas afectadas por planta.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla, donde se detallan los valores de sumas de cuadrados, grados de libertad, cuadrados medios, estadístico F y valor p, permitiendo

interpretar con precisión el comportamiento de la enfermedad en relación con los tratamientos evaluados.

Tabla 31

Análisis de varianza (ANOVA) para la incidencia de Mancha de hierro (*cercospora coffeicola*)

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	1061.6	9	117.955556	4.8152404	0.00069035	2.25013148
Columnas	206.6	3	68.866667	2.81130934	0.05832721	2.96035132
Error	661.4	27	24.4962963			
Total	1929.6	39				

Los resultados obtenidos mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) revelaron la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0.05$) en relación con la *incidencia de mancha de hierro* (*Cercospora coffeicola*) en plantas de café (*Coffea arabica* L.). Este hallazgo confirma la hipótesis alternativa (H_a) planteada en el estudio, al demostrar que la aplicación de caldo sulfocalcico tuvo un efecto positivo en la reducción de la enfermedad, en comparación con el testigo sin aplicación.

La disminución en el número de hojas afectadas por mancha de hierro sugiere que al menos uno de los tratamientos agroecológicos evaluados logró inducir mecanismos de defensa fisiológicos o mejorar las condiciones sanitarias del cultivo, posiblemente a través de la estimulación de la microbiota del suelo, el equilibrio nutricional y la interacción benéfica entre microorganismos y tejido vegetal.

Estos resultados refuerzan el potencial de los bioensayos como estrategias sostenibles de manejo fitosanitario, especialmente en sistemas agroecológicos donde se busca minimizar el uso de fungicidas sintéticos. Además, permiten proyectar la viabilidad de los tratamientos aplicados como alternativas eficaces para el control de *Cercospora coffeicola*, contribuyendo a la estabilidad productiva y resiliencia del sistema cafetalero.

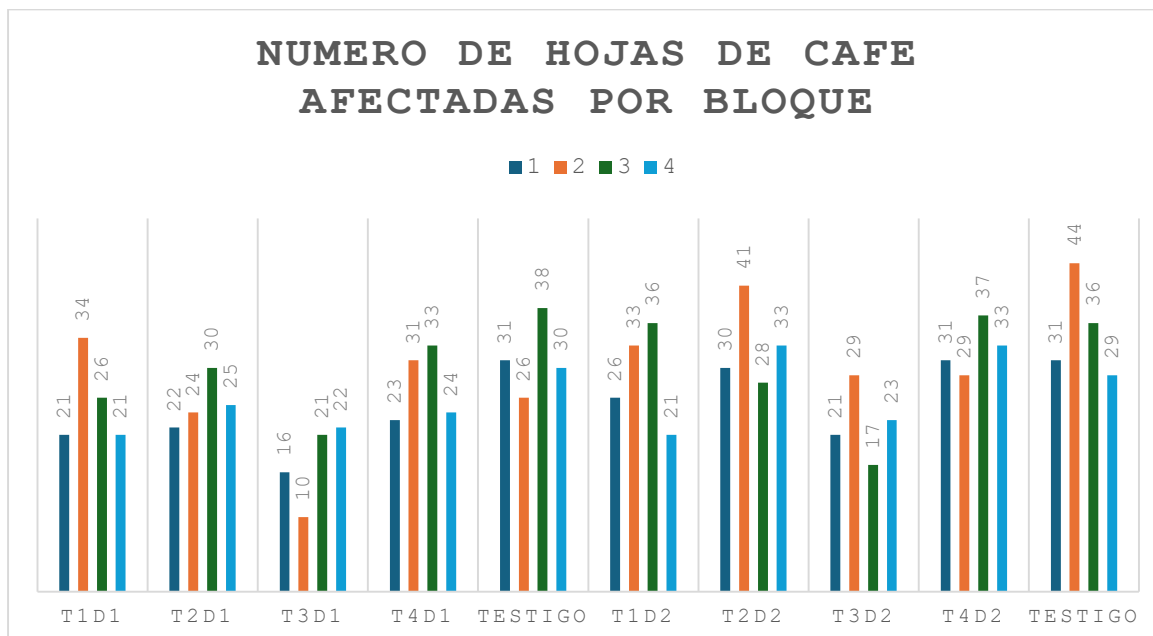


Gráfico4

Numero de hojas de café afectadas por Mancha de hierro (cercospora coffeicola).

La tabla presenta los valores obtenidos para la *incidencia de mancha de hierro* (*Cercospora coffeicola*), expresados como el número de hojas afectadas por tratamiento en los cuatro bloques experimentales. El promedio general de incidencia fue de 27.9 hojas afectadas por planta, lo que sirve como referencia para evaluar el comportamiento de cada tratamiento frente al testigo.

Los tratamientos T3D1 (Caldo sulfocálcico, dosis 1: 300 ml/bombada) y T3D2 (Caldo sulfocálcico, dosis 2: 400 ml/bombada) presentaron los valores más bajos de incidencia, con promedios de 17.25 y 22.5 hojas afectadas, respectivamente. Estos resultados sugieren una respuesta positiva en el control de la enfermedad, posiblemente atribuida a las propiedades fungistáticas del caldo sulfocálcico bajo condiciones específicas del cultivo.

En contraste, los testigos sin aplicación registraron los valores más altos, con promedios de 31.25 y 35 hojas afectadas, lo que evidencia la efectividad relativa de los tratamientos agroecológicos en la reducción de la mancha de hierro. Otros tratamientos como T2D2 y T4D2 también mostraron valores elevados (33 y 32.5, respectivamente), lo que indica que la eficacia puede depender de la formulación, dosis y método de aplicación.

Estos datos respaldan los resultados del ANOVA, que identificó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, confirmando que la aplicación de bioinsumos influyó positivamente en la incidencia de mancha de hierro. La comparación entre tratamientos permite proyectar el potencial de los insumos evaluados como alternativas sostenibles para el manejo fitosanitario en sistemas cafetaleros agroecológicos.

Análisis de incidencia de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en el cultivo de café (*Coffea arabica* L)

La incidencia de ojo de gallo representa un indicador fitosanitario clave para evaluar tanto el estado de salud del cafeto como su estabilidad productiva. Esta enfermedad fúngica, causada por *Mycena citricolor*, afecta hojas y frutos, generando lesiones circulares que se necrosan y desprenden, dejando orificios visibles. Este daño provoca una reducción drástica del área foliar funcional, comprometiendo la capacidad fotosintética de la planta y afectando negativamente la acumulación de reservas para la siguiente cosecha. (Abarca & Quiros , 2020)

Importancia en sistemas agroecológicos

En contextos agroecológicos, el manejo de ojo de gallo representa un reto técnico relevante, ya que su desarrollo se ve favorecido por altos niveles de humedad y bajas temperaturas, condiciones comunes en zonas cafetaleras de montaña. La reducción en su incidencia sin el uso de fungicidas sintéticos constituye una evidencia del potencial de los bioinsumos para fortalecer la resiliencia fisiológica del cultivo y activar mecanismos de defensa natural.

Investigaciones recientes destacan que la aplicación de biopreparados orgánicos, como microorganismos de montaña, extractos vegetales y caldos minerales, puede mejorar la microbiota del suelo, optimizar la nutrición de la planta y estimular la síntesis de fitoalexinas y compuestos antifúngicos, lo que se traduce en plantas más vigorosas y menos susceptibles al ataque de *Mycena citricolor*. (Vargas, Castro, & Solis, 2023)

Análisis y proyecciones del estudio

El análisis de la incidencia de ojo de gallo en este estudio permitirá determinar la efectividad comparativa de los tratamientos agroecológicos aplicados, en especial aquellos basados en microorganismos de montaña, frente al testigo sin aplicación.

Resultados de incidencia de ojo de gallo

A continuación, la Tabla 30 presenta los resultados obtenidos para la *incidencia de ojo de gallo* (*Mycena citricolor*), expresados como el número de hojas afectadas por tratamiento en los distintos bloques experimentales. Estos datos permiten identificar tendencias, evaluar la eficacia relativa de cada formulación y orientar futuras estrategias de manejo fitosanitario sostenible.

Tabla 32

Numero de hojas afectadas por ojo de gallo (Myceta citricolor) bajo los diferentes tratamientos de bioinsumos.

Tratamientos	Bloques				Promedio
	1	2	3	4	
T1D1	61	56	72	33	55.5
T2D1	41	45	62	41	47.25
T3D1	25	27	31	21	26
T4D1	43	55	39	46	45.75
Testigo	55	41	67	58	55.25
T1D2	41	49	57	39	46.5
T2D2	42	55	43	61	50.25
T3D2	31	23	29	30	28.25
T4D2	41	33	39	40	38.25
Testigo	44	64	51	58	54.25
					44.725

Con el objetivo de determinar si existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos agroecológicos aplicados, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores con una sola muestra de grupo, centrado en la variable *incidencia de ojo de gallo* (*Mycena citricolor*), expresada como el número de hojas afectadas por planta.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla, donde se detallan los valores de sumas de cuadrados, grados de libertad, cuadrados medios, estadístico F y valor p, permitiendo interpretar con precisión el comportamiento de la enfermedad en función de los tratamientos evaluados.

Tabla 33

Análisis de varianza (ANOVA) para la incidencia de ojo de gallo (Mycena citricolor)

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	4090.725	9	454.525	5.7470818	0.0001842	2.2501314
				9		8
Columnas	277.875	3	92.625	1.1711643	0.33902674	2.9603513
				2		2
Error	2135.375	27	79.087963			
Total	6503.975	39				

Los resultados obtenidos mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) revelaron la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0.05$) en relación con la *incidencia de ojo de gallo (Mycena citricolor)* en plantas de café (*Coffea arabica L.*). Este hallazgo confirma la hipótesis alternativa (H_a) planteada en el estudio, al demostrar que la aplicación de caldo sulfocalcico tuvo un efecto positivo en la reducción de esta enfermedad fúngica, en comparación con el testigo sin aplicación.

La disminución en el número de hojas afectadas sugiere que al menos uno de los tratamientos agroecológicos evaluados logró activar mecanismos de defensa fisiológicos o mejorar las condiciones sanitarias del cultivo. Este efecto puede estar asociado a la estimulación de la microbiota del suelo, el equilibrio nutricional alcanzado mediante biofertilización, y la interacción benéfica entre microorganismos y tejido vegetal, que en conjunto fortalecen la resiliencia del cafeto frente a patógenos.

Estos resultados refuerzan el potencial de los bioensayos como estrategias sostenibles de manejo fitosanitario, especialmente en sistemas agroecológicos donde se busca minimizar el

uso de fungicidas sintéticos. Además, permiten proyectar la viabilidad de los tratamientos aplicados como alternativas eficaces para el control de *Mycena citricolor*, contribuyendo a la estabilidad productiva, la sanidad vegetal y la sostenibilidad del sistema cafetalero en el mediano y largo plazo.

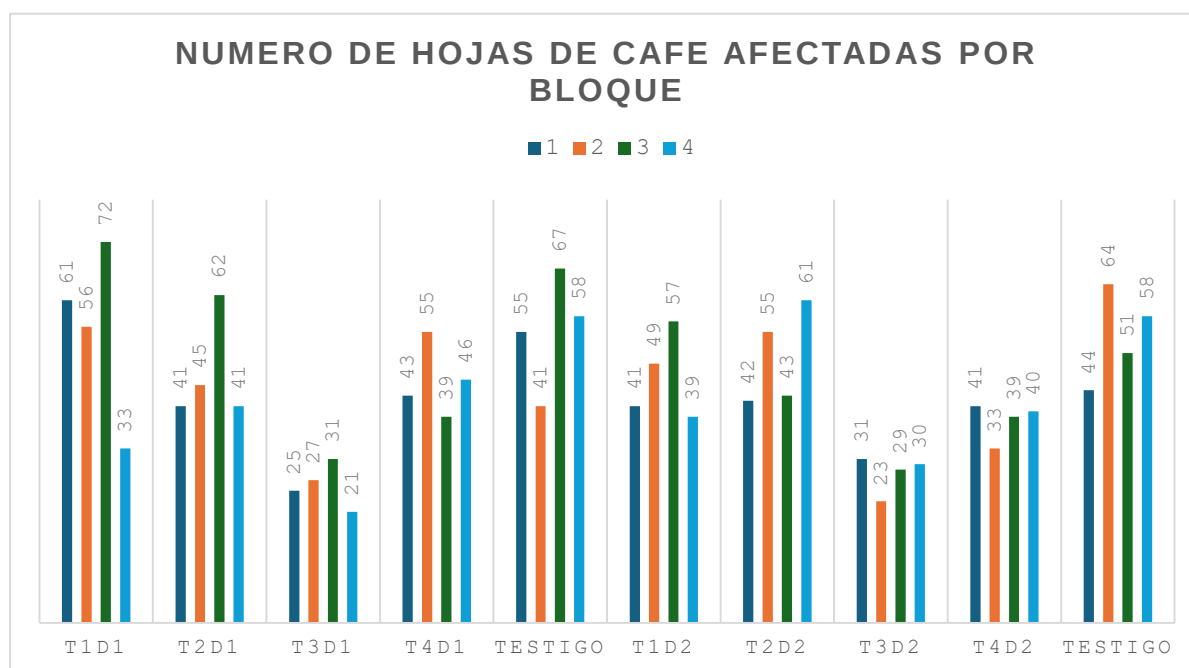


Gráfico5

Numero de hojas de café afectadas por ojo de gallo (Mycena citricolor).

La tabla presenta los valores obtenidos para la incidencia de ojo de gallo, expresados como el número de hojas afectadas por tratamiento en los cuatro bloques experimentales. El promedio general de incidencia fue de 44.73 hojas afectadas por planta, lo que sirve como referencia para evaluar el comportamiento de cada tratamiento frente al testigo.

Los tratamientos T3D1 (Caldo sulfocálcico, dosis 1: 300 ml/bombada) y T3D2 (Caldo sulfocálcico, dosis 2: 400 ml/bombada) presentaron los valores más bajos de incidencia, con promedios de 26 y 28.25 hojas afectadas, respectivamente. Estos resultados sugieren una respuesta positiva en el control de la enfermedad, posiblemente atribuida a las propiedades antifúngicas del caldo sulfocálcico y su capacidad para inducir mecanismos de defensa en el tejido vegetal.

En contraste, los testigos sin aplicación registraron los valores más altos, con promedios de 55.25 y 54.25 hojas afectadas, lo que evidencia la efectividad relativa de los tratamientos agroecológicos en la reducción de ojo de gallo. Otros tratamientos como T1D1 y T2D2 también mostraron valores elevados (55.5 y 50.25, respectivamente), lo que indica que la eficacia puede depender de la formulación, dosis y método de aplicación.

Estos datos respaldan los resultados del ANOVA, que identificó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, confirmando que la aplicación de bioinsumos influyó positivamente en la incidencia de ojo de gallo. La comparación entre tratamientos permite proyectar el potencial de los insumos evaluados como alternativas sostenibles para el manejo fitosanitario en sistemas cafetaleros agroecológicos.

Análisis y resultados del instrumento para la Evaluación del Desempeño Agroecológico (TAPE)

Tras la aplicación de la herramienta TAPE (Tool for Agroecology Performance Evaluation), se realizó una valoración integral del nivel de transición agroecológica en la finca La Envidia, perteneciente al productor Herminio Palacios. Esta evaluación permitió analizar el desempeño del sistema productivo en relación con los principios agroecológicos fundamentales, considerando aspectos como la biodiversidad, la eficiencia en el uso de recursos, la resiliencia, la co-creación de conocimiento, la equidad social y la gobernanza participativa.

Los resultados obtenidos reflejan el grado de avance hacia un modelo de producción más sostenible, resiliente y socialmente justo, y ofrecen una base técnica para orientar futuras acciones de fortalecimiento agroecológico en la finca.

Tabla 34

Valores obtenidos con TAPE, en la finca La envidia.

Principio	Promedio principio (%)	/ Promedio general de la finca
Diversidad	75	
Sinergias	75	
Eficiencia	62.5	

Reciclaje	68.75	
Resiliencia	81.25	
Cultura y tradición alimentaria	56.25	71.25
Creación conjunta e intercambio de conocimientos	75	
Valores humanos y sociales	87.5	
Economía circular y solidaria	56.25	
Gobernanza responsable	75	

Análisis de los Indicadores de Transición Agroecológica - Finca La envidia

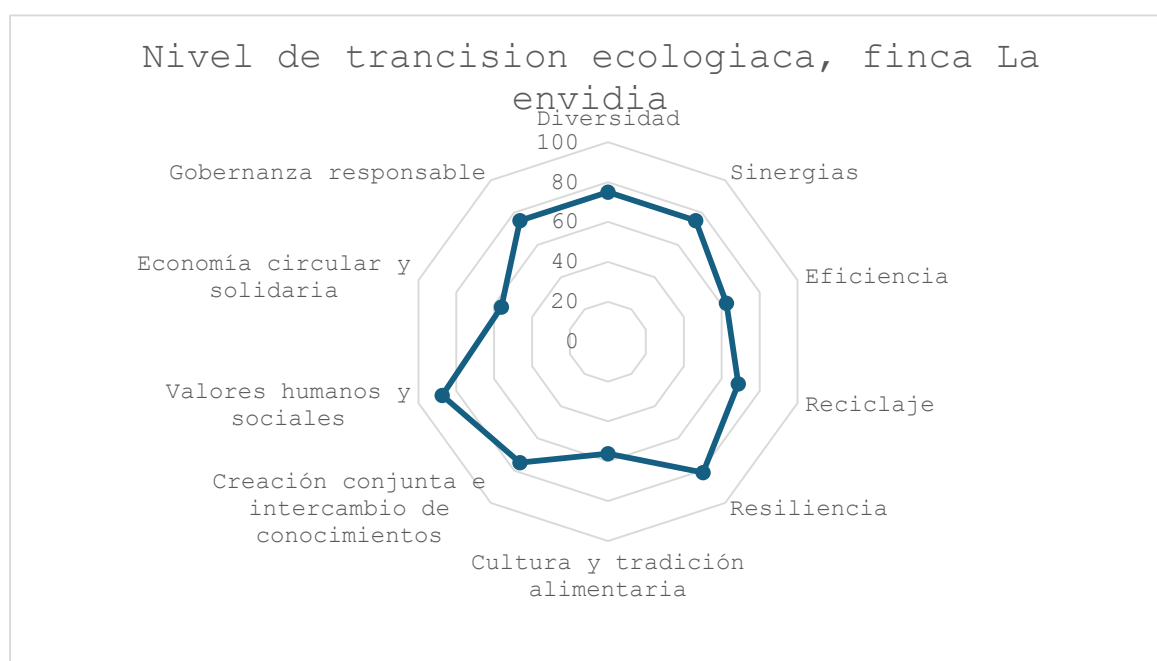


Gráfico6

Análisis de los indicadores de transición agroecológica en la finca La envidia.

Tabla 33

Análisis de los indicadores de transición agroecológica en la finca La envidia.

Principio Agroecológico	Valor (%)	Análisis técnico
Diversidad	75	La finca presenta una estructura agroecológica diversa, con integración de cultivos, árboles, cobertura vegetal y fauna

		funcional. Esta diversidad contribuye a la regulación natural de plagas, mejora la resiliencia ecológica y favorece la multifuncionalidad del sistema.
Sinergias	75	Se evidencian interacciones positivas entre componentes del agroecosistema (plantas, microorganismos, suelo y fauna), lo que indica un diseño que favorece procesos ecológicos como la fijación de nitrógeno, el control biológico y la eficiencia energética.
Eficiencia	62.5	El uso de recursos como agua, nutrientes y energía muestra un nivel moderado de optimización. Aunque existen prácticas de ahorro y reutilización, se recomienda fortalecer el diseño técnico para reducir pérdidas y mejorar la eficiencia metabólica del sistema.
Reciclaje	68.75	Se aplican prácticas de reciclaje de biomasa y nutrientes (compostaje, uso de residuos orgánicos), pero aún hay oportunidades para cerrar ciclos de manera más integral, especialmente en el manejo de efluentes y subproductos de cosecha.
Resiliencia	81.25	El sistema muestra alta capacidad de respuesta ante perturbaciones climáticas y biológicas, gracias a la diversidad funcional, el manejo ecológico del suelo y la baja dependencia de insumos externos. Este indicador posiciona a la finca como un modelo de estabilidad agroecológica.
Cultura y tradición alimentaria	56.25	La vinculación con saberes locales, prácticas tradicionales y consumo de alimentos propios es limitada. Se recomienda revalorizar cultivos patrimoniales, recetas ancestrales y fortalecer la identidad alimentaria como eje cultural del sistema.
Creación conjunta e intercambio de conocimientos	75	Existe una dinámica activa de aprendizaje colectivo, intercambio de saberes entre productores, técnicos y

		académicos, y participación en redes locales. Este principio fortalece la innovación social y la adaptabilidad del sistema.
Valores humanos y sociales	87.5	El sistema destaca por su enfoque inclusivo, equitativo y cooperativo. Se promueve el bienestar de las familias productoras, la equidad de género y la cohesión comunitaria, lo que refuerza la sostenibilidad social del agroecosistema.
Economía circular y solidaria	56.25	Aunque existen prácticas de reutilización y colaboración, el sistema aún depende de canales comerciales convencionales. Se recomienda fortalecer circuitos cortos, redes de intercambio solidario y estrategias de valorización de excedentes.
Gobernanza responsable	75	La finca cuenta con mecanismos de toma de decisiones participativas, planificación territorial y gestión colectiva. Este principio es clave para garantizar la sostenibilidad institucional y la autonomía del sistema productivo.

La finca La Envidia se encuentra en una fase intermedia-avanzada de transición agroecológica, con fortalezas notables en resiliencia, valores sociales, diversidad y sinergias ecológicas. Los indicadores más bajos eficiencia, cultura alimentaria y economía circular representan áreas estratégicas para el rediseño técnico y sociocultural del sistema.

Recomendaciones Técnicas – Finca La Envidia

Tabla 35

Recomendaciones técnicas en base a los principios agroecológicos.

Principio Agroecológico	Recomendación Técnica	¿Por qué? (Justificación técnica)	¿Para qué? (Objetivo agroecológico)
Eficiencia (62.5 %)	Diseñar biofiltros y zanjales de infiltración.	Estas estructuras mejoran la infiltración, reducen escorrentías y evitan erosión.	Para conservar el suelo y aumentar la eficiencia en el manejo del agua.

		Introducir tecnologías apropiadas de bajo consumo energético.	Minimiza el uso de energía fósil y reduce costos operativos.	Para transitar hacia un sistema energéticamente sostenible y autónomo.
		Monitorear indicadores de eficiencia metabólica del sistema.	Permite identificar cuellos de botella y oportunidades de mejora en el uso de recursos.	Para optimizar el rendimiento ecológico y económico del agroecosistema.
Cultura y tradición alimentaria (56.25 %)		Recuperar variedades criollas y cultivos patrimoniales.	Estas especies están adaptadas localmente y tienen valor cultural y nutricional.	Para fortalecer la soberanía alimentaria y preservar el patrimonio genético local.
		Promover huertos familiares con especies nativas.	Diversifican la dieta y conectan a las familias con prácticas tradicionales.	Para mejorar la nutrición y revitalizar el vínculo cultural con la tierra.
		Fortalecer la identidad alimentaria con educación nutricional.	La pérdida de identidad alimentaria afecta la salud y la cultura.	Para empoderar a las comunidades en la elección de alimentos saludables y propios.
Economía circular y solidaria (56.25 %)		Establecer circuitos cortos de comercialización agroecológica.	Reducen intermediarios, aumentan ingresos y fortalecen la economía local.	Para mejorar la rentabilidad del productor y acercar al consumidor al origen de sus alimentos.
		Crear alianzas con cooperativas y redes de consumidores conscientes.	Facilita la comercialización justa y estable de productos agroecológicos.	Para consolidar mercados solidarios y sostenibles.

Valorar subproductos como insumos para compostaje o bioenergía.	Aprovecha residuos que de otro modo serían desechados.	Para cerrar ciclos productivos y reducir la huella ecológica del sistema.
---	--	---

Conclusiones

Conclusión general

La evaluación de las alternativas agroecológicas UTOPIA (Microorganismos de Montaña Líquidos, Caldo Sulfocálcico y) demostró eficacia agronómica, y ecológica significativa en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la Finca La Envidia. Al comparar los tratamientos con el manejo convencional, se validó que la incorporación de bioinsumos y prácticas sustentables es una opción viable y superior para mejorar el desarrollo, el control integrado de enfermedades y, consecuentemente, el rendimiento del rubro, ofreciendo una ruta de producción más resiliente y de bajo costo.

Conclusiones Específicas

Se determinó que la finca "La Envidia" presenta una rentabilidad económica alta pero insostenible, con una **Utilidad Neta de C\$ 160,168** y un **Costo de Producción por Quintal (CPQ) de C\$ 396.64**. Esta aparente eficiencia se basa en un abandono agronómico por la omisión total de manejo preventivo de enfermedades fúngicas (roya, ojo de gallo, mancha de hierro), lo que expone el cultivo a una **vulnerabilidad fitosanitaria extrema** y amenaza la estabilidad de la producción futura.

El uso continuado y sistemático de alternativas agroecológicas, con especial énfasis en los Microorganismos de Montaña Líquidos (MML), generó cambios morfológicos y físicos positivos y estadísticamente significativos en las plantas de café. Esto se evidenció en un índice foliar diferencial a los testigos, lo que valida la eficacia del MML como bioestimulante que contribuye a la salud y capacidad productiva de los cafetos tratados.

El Caldo Sulfocálcico demostró ser una alternativa agroecológica eficaz para el manejo fitosanitario, logrando una reducción significativa en la incidencia de enfermedades clave como la roya (*Hemileia vastatrix*), el ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*). La evaluación de dos dosis de aplicación (300 ml y 400 ml) permite establecer un protocolo de bajo costo para el control preventivo y curativo de estas patologías, subsanando el déficit de manejo fitosanitario actual del productor.

La aplicación de la herramienta TAPE evidenció que la finca de Herminio Palacios se encuentra en una etapa avanzada de Transición Agroecológica, con un alto puntaje en los principios de Resiliencia (81.25%), Diversidad (75%) y Sinergias (75%). No obstante, se identificaron áreas críticas con bajo desempeño, siendo el principio de Cultura y Tradición Alimentaria (56.25%) el que presenta mayor rezago, seguido por Eficiencia (62.5%).

La evaluación integral realizada (agronómica, económica y ecológica) permitió implementar y validar un sistema de tecnologías agroecológicas completamente adaptado y viable a las condiciones edafoclimáticas y socioeconómicas de la Finca La Envidia. Dicha propuesta, basada en la producción local y el uso de bioinsumos, constituye un modelo replicable para otros pequeños y medianos productores de café interesados en la sostenibilidad en la región.

Recomendaciones

Recomendación General

- Implementar y escalar el Modelo de Gestión Agroecológica UTOPIA (basado en MML, Caldo Sulfocálcico y Apichi) con ayuda de CONATRADEC, Instituciones del Sistema de Producción Consumo y Comercio (MAGFOR, INTA, MEFCCA), Instituciones Financieras como una práctica de fomento productivo a nivel nacional para el cultivo de café.

Recomendaciones Específicas

- Fomentar la adopción de un "Calendario de Mantenimiento Básico Agroecológico" de bajo costo. Este calendario debe ser simple, visual y práctico, centrándose exclusivamente en las aplicaciones críticas y preventivas de MML y Caldo Sulfocálcico en momentos clave del ciclo (inicio de lluvias y floración), asegurando un manejo mínimo, pero sistemático, para superar el estado de abandono y estabilizar la productividad
- Priorizar la aplicación preventiva y sistemática de los Microorganismos de Montaña Líquidos (MML). Se sugiere que los Productores y Asociaciones de Cafetaleros realicen una estandarización de calendarios de aplicación que sincronicen estas prácticas con las fases fenológicas clave del cafeto (brotación y floración).
- Establecer y dotar de recursos a biofábricas comunales o cooperativas para la producción local, a gran escala y bajo estándares de calidad, de los bioinsumos validados (MML, Caldo Sulfocálcico). Esto minimiza los costos de transporte y adquisición, asegurando la autonomía
- Institucionalizar el uso de la herramienta TAPE (o similar) para el monitoreo, evaluación y certificación de la transición agroecológica de la mano de Instituciones Financieras, Universidades (para validación y extensión), Organismos Certificadores. Esto permitirá ofrecer incentivos diferenciados (créditos blandos, mejores precios) a las fincas que demuestren un avance en el rediseño agroecológico.
- Con ayuda de Instituciones del Sistema (INTA/MAGFOR), ONGs de Desarrollo Rural, crear un paquete tecnológico simple y replicable ("Paquete Tecnológico UTOPIA Café") y utilizar la Finca La Envidia como "Finca Escuela" demostrativa.

- Ampliar la cartera de validación científica y participativa para consolidar un "Paquete Tecnológico UTOPIA Café"; esto implica evaluar rigurosamente el impacto agronómico y el análisis de costo-beneficio de nuevos bioinsumos de producción local, como biofertilizantes avanzados (biol enriquecido, inoculantes microbianos) para maximizar el índice foliar, y agentes de control biológico (ej. *Beauveria bassiana*) para el manejo de plagas, utilizando la herramienta TAPE para un monitoreo preciso de su eficacia y rentabilidad.

Bibliografía

- Universida Nacional Autonoma de Nicaragua, U. (20 de agosto de 2025). *repositorio unan*. Obtenido de <https://www.unan.edu.ni/index.php/reportajes/desarrollo-de-la-caficultura-area-a-que-aporta-la-unan-managua-cur-matagalpa-desde-la-formacion-e-investigacion.odp>
- IICA, i. i. (9 de 11 de 2021). *repositorio IICA*. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/items/5dc44548-f1f6-4921-a122-702d6bc9d65e/full>
- Experienciacafe. (s.f.). *experienciacafe.com*. Obtenido de <https://experienciacafe.com/cafe-caturra/>
- Alvarez, S. (11 de marzo de 2025). *cafes de colombia*. Obtenido de <https://cafesdecolombia.co/que-es-cafe-caturra/>
- world coffee research. (15 de agosto de 2024). *world coffee research*. Obtenido de <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/variedades/pacamara>
- Almengor, O. G. (abril de 2023). *anacafe*. Obtenido de <https://www.anacafe.org/uploads/file/63bc1c69bb064bfc8df9e89cea3d4d94/Boletin-Broca-Abril-2023.pdf>
- Gonzalvez, V., Salmeron Miranda, F., & Zamora, E. (2015). *LA AGROECOLOGÍA EN NICARAGUA*. managua. Obtenido de <file:///C:/Users/jasse/Downloads/editum,+19-28.pdf>
- Velardes, K., Roman, F., Amangandi, o., & Verdezoto, F. (2023). Microorganismos en tierra de montaña, datos preliminares. *T E S L A*, 11.
- Castro, L., & Gonzales, J. (06 de 2021). *scielo*. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242021000100081
- Pilar a Diario. (05 de 01 de 2022). *Pilar a Diario*. Obtenido de <https://www.pilaradiario.com/lapancha/2022/1/5/apichi-un-potente-insecticida-natural-116816.html>
- Martinez, C. (2015). *ANALISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS*. toluca.
- Pita, A. (12 de 02 de 2021). *scrib*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/503600681/5-Analisis-de-varianza-DBCA>
- INIFAP. (s.f.). Reproduccion de microorganismos de montaña. *Manuales practicos para la elaboracion de bioinsumos*, 25.
- Zegers, G., Cercano, J., Aguila, K., & Leod, C. (2021). *Elaboración y usos del BIOL un abono natural en la agricultura sostenible*. california: Portalfrutícola.

Farosagroecologicos. (27 de 09 de 2024). *Farosagroecologicos*. Obtenido de <https://farosagroecologicos.ciad.mx/que-es-el-caldo-sulfocalcico-y-como-beneficia-los-cultivos/>

suelofertil. (2022). *suelofertil*. Obtenido de <https://suelofertil.net/apichi-insecticida-organico/>

Marc, J. (2023). *probabilidadyestadistica.net*. Obtenido de <https://www.probabilidadyestadistica.net/tabla-anova/>

Cenicafe. (2023). *Cenicafe*. Obtenido de https://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/manejo_de_enfermedades

campos, o. (2021). *anacafe*. Obtenido de https://www.anacafe.org/uploads/file/9ca51328e6734c6b8e0d88f604266591/09_Manejo_integrado_de_plagas.pdf

Avelino, N., Sotelo, E., & Coca, D. (2021). *sites.google*. Obtenido de <https://sites.google.com/view/dbca-dis/inicio>

lopez, J. (marzo de 2015). *1Library*. Obtenido de <https://1library.co/document/7q0vjmlz-diseno-en-bloques-completos-al-azar-dbca.html>

Vargas, P. (2020). *aplicacion de la agricultura tecnologica 4.0*. 4.

Isan, A. (06 de 06 de 2024). *ecologia verde*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-agroecologia-y-su-importancia-452.html>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (11 de 08 de 2023). *gobierno de mexico.net*. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/que-es-la-transicion-agroecologica-experiencias-y-origenes>

FAO. (2018). *openknowledge.fao.org*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/43d98a63-c41d-45c7-aa2e-995a6c814f8d/content>

Instituto del Café de Costa Rica. (junio de 2011). *infoagro*. Obtenido de <https://infoagronomo.net/guia-tecnica-cultivo-de-cafe-pdf/>

castellano, m. (28 de 02 de 2020). *perfect daily grind*. Obtenido de <https://perfectdailygrind.com/es/2020/02/28/variedad-de-cafe-bourbon-guia-para-productores-y-tostadores/>

world coffee research. (2025). *worldcoffeeresearch*. Obtenido de <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/variedades/maragogipe>

world coffeere search. (2024). *worldcoffeeresearch*. Obtenido de <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/variedades/catuai>

kaniah, j. (08 de 04 de 2020). *perfectdailygrind*. Obtenido de <https://perfectdailygrind.com/es/2020/04/08/explorando-la-variedad-de-cafe-catuai/>

cafes de colombia. (2020). *cafes de colombia*. Obtenido de <https://cafesdecolombia.co/variedad/cafe-catimor/>

Ordoñez, M., & Sosa, M. (2020). Uso y manejo de sombra en los cafetales. 79-85. Obtenido de <file:///C:/Users/User/Downloads/Tec%20Guia%20Uso%20Manejo%20Sombra.pdf>

Diaz, M. (17 de 05 de 2021). Obtenido de <https://asa.crs.org/wp-content/uploads/2021/05/La-Sombra-en-el-Cafe.pdf>

Gutierrez, S., Gomez, H., & Torrez, A. (2020). *biblioteca cenicafe*. Obtenido de <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4232/1/Cap5.pdf>

gutierrez, I. (20 de 05 de 2020). Obtenido de cenicafe: https://www.cenicafe.org/es/documents/PR_Arvenses.pdf

Ambientum Portal Ambiental. (15 de 03 de 2024). *Ambientum* . Obtenido de <https://www.ambientum.com/ambientum/agricultura-lunar-como-afectan-las-fases-lunares-a-la-agricultura-mitos-y-realidades.asp>

Rodas, R. (2023). *anacafe*. Obtenido de <https://www.anacafe.org/uploads/file/b04fcafce8a54b5d804dde3462b59828/03-Fertilizaci%C3%B3n-al-suelo.pdf>

Disagro. (2023). *Disagro*. Obtenido de principales enfermedades del rubro del cafe: https://www.disagro.co.cr/wp-content/uploads/2022/03/53._principales_enfermedades_del_cultivo_de_cafe_05-21.pdf

Equipo editorial cambiagro. (20 de 12 de 2024). *cambiagro*. Obtenido de Principales enfermedades del café: <https://blog.cambiagro.com/cafe/principales-enfermedades-del-cafe/>

Fonseca, J. (19 de 02 de 2024). *repositorio UNAD*. Obtenido de OVA : Impacto de la revolución verde en la agricultura: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/60320>

Feras, Y., Bustamante, C., & Perez, V. (10 de 06 de 2024). *Scielo*. Obtenido de Ciclos de aplicación de un bioestimulante sobre el desarrollo de plantas de café en viveros:

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242024000200143

Marin Romero, M. A. (2021). *EVALUACIÓN DEL DESARROLLO VEGETATIVO Y FLORACIÓN EN PLANTAS DE CAFÉ (Coffea arábica L.) BAJO LA APLICACIÓN DE TRES BIORREGULADORES*. Heredia: universidad nacional de costarrica.

Altieri, M., & Toledo, V. (07 de 2011). *ecoagricultor*. Obtenido de La Revolución Agroecológica en América Latina* rescatar la naturaleza, asegurar la soberanía alimentaria y empoderar al campesino:

<https://new.ecoagricultor.com/wp-content/uploads/2016/08/REVOLUCION-AGROECOLOGIA-ALTIERI-TOLEDO.pdf>

Tittonell, P. (2019). *Repositorio INTA*. Obtenido de Las transiciones agroecológicas: múltiples escalas, niveles y desafíos:

https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/6696/INTA_CRP_atagoniaNorte_EEABariloche_Tittonell_PA_Las_Transiciones_Agroecologicas_Multiples_Escalas_Niveles_Y_desafios.pdf?sequence=1&isAllowed=y

FAO. (2022). *FAO.org*. Obtenido de instrumento para la Evaluación del Desempeño Agroecológico (TAPE): <https://www.fao.org/agroecology/tools-tape/es/>

Trujillo, C., Naranjo, M., Lomas, K., & Merlo, M. (2019). *INVESTIGACIÓN CUALITATIVA EPISTEMOLOGÍA, MÉTODOS CUALITATIVOS, EJEMPLOS PRÁCTICOS, ENTREVISTAS EN PROFUNDIDAD*. Chile: Universidad Tecnica del Norte.

Hernandez, R., Fernandez, C., & Lucio, M. (2014). *Metodologia de la investigacion*. Mexico: McGRAW-HILL.

Cajal, A. (29 de 09 de 2025). *Lifeder*. Obtenido de Prueba de Tukey: <https://www.lifeder.com/prueba-de-tukey/>

Thevapalan, A. (30 de 07 de 2024). *Datacamp*. Obtenido de Guía completa para utilizar ANOVA en Excel: <https://www.datacamp.com/es/tutorial/excel-anova-guide>

Faster capital. (26 de 04 de 2025). *faster capital.org*. Obtenido de Prueba de Tukey Refinamiento de comparaciones Prueba de Tukey y sinergia ANOVA de Excel: <https://fastercapital.com/es/contenido/Prueba-de-Tukey--Refinamiento-de-comparaciones--Prueba-de-Tukey-y-sinergia-ANOVA-de-Excel.html>

- Morales, S., Monterroso, J., Rodad, R., & Cordon, L. (2019). *Monitoreo de la Roya en Variedades Mejoradas de Coffea arábica L., en las Siete Regiones de Guatemala* . Guatemala: Cedicafe.
- IPSA. (2024). *ipsa.gob.ni*. Obtenido de MONITOREO DE ROYA Y BROCA DEL CAFÉ Monitoreo de Roya del cafeto (Hemileia vastratix):
<https://www.ipsa.gob.ni/Portals/0/4%20Sanidad%20Vegetal%20y%20Semillas/Vigilancia%20Fitosanitaria/Vigilancia/monitoreo%20de%20roya%20y%20broca%20del%20cafe.pdf>
- Ramirez, R., Castañeda , E., Robles, C., Martinez, G., Perez, M., & Trejo, S. (11 de 10 de 2021). *Scielo*. Obtenido de Efectividad de biofunguicidas para el control de la roya en plántulas de café:
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342020000601403
- Hernandez, C., Lopez, L., & Sanchez, L. (2021). *SMBB.mx*. Obtenido de Agentes de control biológico de la roya del café Cómo funcionan y qué tan efectivos son?:
<https://smbb.mx/wp-content/uploads/2021/05/Hernandez-et-al.-2021.pdf>
- Gonzales , M., & Perez, A. (2023). estrategias de manejo orgánico para la reducción de Cercospora coffeicola en sistemas agroforestales de café. *Revista Latinoamericana de Caficultura Sostenible*, 45-60.
- Abarca, J., & Quiros , F. (2020). Estrategias para el manejo integrado de la mancha del ojo de gallo (Mycena citricolor) en cafetales de altura. *Revista de Agronomía Tropical*, 110-125.
- Vargas, L., Castro, R., & Solis, H. (2023). Evaluación de biopreparados orgánicos para el control de enfermedades foliares en café en sistemas de bajos insumos. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria Sostenible*. 22-38.
- ANEC. (2021). Reproduccion de microorganismos de montaña. *Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos*, 6-21.
- Gonzales, V., Salmeron, M., & Zamora, E. (2015). *Digitum.com*. Obtenido de La agroecología en Nicaragua: la praxis por delante de la teoría:
<https://digitum.um.es/entities/publication/589260c3-97c9-409d-929d-f91ce4bee48b>
- Benavides, S., & Acevedo, A. (05 de 04 de 2021). *redalyc*. Obtenido de
<https://www.redalyc.org/journal/5600/560068358003/html/>
- Infoagro. (s.f.). *Infoagro.com*. Obtenido de LOS QUELATOS DE MICROELEMENTOS:
https://www.infoagro.com/abonos/microelementos_quelatados.htm

- Corpenca. (2014). *Aplicación de quelatos, harinas de roca, fosfitos y caldos minerales para el mejoramiento agroecológico de fincas campesinas*. medellin.
- Agroproyectos. (31 de 10 de 2023). *Agroproyectos*. Obtenido de Caldo sulfocalcico, ¿Qué es y cómo prepararlo?: <https://agroproyectos.org/que-es-el-caldo-sulfocalcico/>
- Diaz, R. (2017). *Dicta.gob*. Obtenido de Elaboracin y uso del caldo sulfocalcico: <https://dicta.gob.hn/files/2017-Elaboracion-y-uso-del-caldo-sulfocalcico,-F.pdf>
- Alturazza, J. (2023). *Scribd*. Obtenido de Apichi(mejorado): <https://es.scribd.com/document/667248829/Apichi-Mejorado>
- Cobo, E. (18 de 06 de 2021). *Casacobo*. Obtenido de Cómo hacer apichi, un insecticida natural muy eficiente: <https://www.semillascasacobo.com/post/c%C3%B3mo-hacer-apichi-insecticida-natural>
- Carmona, S. (2017). *Ingeniería Ecológica: efecto del uso de*. costa rica.
- Corpenca. (2014). *Aplicación de quelatos, harinas de roca, fosfitos y caldos minerales para el mejoramiento agroecológico de fincas campesinas*. medellin.
- Paniagua, M. (julio de 2019). *repositorio UNAN*. Obtenido de “FACTORES QUE AFECTAN LA COMERCIALIZACIÓN DE CAFÉ, CALIDAD Y MERCADO EN PEQUEÑOS Y MEDIANOS PRODUCTORES DEL MUNICIPIO DE JINOTEGA EN EL CICLO PRODUCTIVO 2017 - 2018”.: <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/11018/7/19736.pdf>
- Agrawdata. (05 de 03 de 2024). *agrawdata.net*. Obtenido de La Revolución Verde: Definición, Historia y su Impacto en la Agricultura Moderna: <https://agrawdata.com/blog/que-es-la-revolucion-verde/>
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2000). *Teoría y práctica para una*. mexico: SOCLA. Obtenido de <https://copilot.microsoft.com/chats/rwjHsSTG8wJPHgxoQ2gSx>
- Marasas, M., Blandi, M., Berensztein, N., & Fenardez, V. (2017). TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA: CARACTERÍSTICAS, CRITERIOS Y ESTRATEGIAS. DOS CASOS EMBLEMÁTICOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA. *Ageoecologia*, 49-60.
- Cafe Porte. (30 de 08 de 2020). *porte coffee*. Obtenido de <https://www.porte.coffee/post/cafe-variedad-maragogipe>

- Canal 4. (11 de 09 de 2018). *canal 4*. Obtenido de <https://www.canal4.com.ni/matagalpa-inta-plantas-cafe-calidad-tolerancia/>
- Cafemalist. (2025). *cafemalist*. Obtenido de <https://cafemalist.com/cafe-de-nicaragua/>
- Mocca. (2022). *mocca.org*. Obtenido de <https://mocca.org/wp-content/uploads/2022/12/MANUAL-Nutricion-I-Fertilizando-para-la-productividad.pdf>
- Agro turismo. (27 de 10 de 2024). *youtube*. Obtenido de Qué Fertilizantes Aplicar Al Café En Etapa De Floración: <https://www.youtube.com/watch?v=LiiAUdK7zAs>
- Chimical, R. (13 de 06 de 2021). *risso chemical*. Obtenido de <https://es.risso-chemical.com/El-mejor-fertilizante-para-el-caf%C3%A9/>
- Gomez, S. (12 de 11 de 2024). *quecafe*. Obtenido de <https://quecafe.info/guia-fertilizacion-cafe-intensificacion-sostenible/>
- Cenicafe. (2025). *cenicafe*. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/documents/cartillaCafeteraCapitulo8.pdf>
- Garcia, D., & Ramirez, F. (10 de 02 de 2021). *scielo*. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242021000200143
- Gonzalez, E., & Campos, O. (junio de 2018). *1library*. Obtenido de <https://1library.co/document/zkwreveen-manejo-integrado-cochinillas-ra%C3%ADz-caf%C3%A9.html>
- Perez, D. (jilio de 2014). *repositorio UNA*. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/3847/>
- Cambiagro. (20 de 12 de 2024). *cambiagro*. Obtenido de <https://blog.cambiagro.com/cafe/plagas/principales-plagas-del-cafe/>
- Asociación ecología, Tecnología y Cultura en los andes. (2024). Biodiversidad y agricultura campesina. *Leisa: revista agroecologica*, 36-37.
- Rojas Meza, J., Chavarria Arauz, F., & Salazar Centeno, D. (2021). *LA AGROECOLOGÍA Y AGROINDUSTRIA BASES PARA EL DESARROLLO RURAL EN NICARAGUA*. Managua: UNAN-Managua.
- Tablaso lunar. (2021). *tablaso lunar*. Obtenido de <https://tablasolunar.com/blog/la-luna-y-la-agricultura/>

- UNIA. (01 de 02 de 2013). *inia*. Obtenido de https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/tecnologia/cafe/Rehab_Fert_PlantCafe.pdf
- DICTA. (2018). *Elaboración y uso del caldo sulfocálcico*. Mexico.
- García, C. A, Gámez, L. A., & Rincón, G. G. (2018). *UDENAR*. Obtenido de Evaluación de extractos vegetales (ajo y ají) para el control de plagas en un sistema de producción orgánica. *Rev. de Ciencias Agrícolas.*: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfac/article/view/3618>
- Group, U. C. (15 de 09 de 2025). *YouTube*. Obtenido de Introducción al Control de calidad a la Biofábrica Modelo Utopía: <https://www.youtube.com/watch?v=9xkhIbHHrBc>
- Debajo De la piedra. (09 de 08 de 2025). *Youtube*. Obtenido de ELABORACIÓN DE LA ESTACIÓN 2 MODELO UTOPIA : <https://www.youtube.com/watch?v=LBvWx6Gh5A0>
- INIFAP. (2021). elaboracion de caldo sulfocalcico. *manuales practicos para la elanoracion de bioinsumos*, 28. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737327/5_Caldo_sulfoca_lci_co.pdf

Anexos

Preparación y aplicación del modelo UTOPIA



Calendario de aplicaciones de tratamientos

A continuación, presenta un cronograma de aplicación de los tratamientos previstos para el estudio. La siguiente tabla detalla las fechas específicas de aplicación para cada uno de los tratamientos (Caldo sulfocálcico, Estación 2, Estación 5 y Apichi) durante los meses de abril y mayo. La información contenida en esta tabla servirá de guía para monitorear y registrar la evolución de los cultivos, asegurando la consistencia en el seguimiento de cada una de las variables del ensayo. Este calendario es fundamental para garantizar que las aplicaciones se

Tratamientos	Mes de abril					Mes de Mayo			
	1 de abril	8 de abril	15 de abril	22 de abril	29 de abril	6- may	13- may	20- may	27- may
Caldo sulfocálcico						*	*	*	*
Estación 2 MOL	*	*	*			*			
Estación 5 MOL + Harina de roca				*	*	*	*		
Apichi Ajo+Chile+ Cebolla						*	*	*	*

realicen en los intervalos correctos y se eviten sesgos en los resultados finales del proyecto.

Modelo del DBCA

T1 D1	Testigo	T1 D2	T3 D2
T1 D2	T4 D2	T1 D1	T2 D2
T2 D1	T4 D1	T2 D2	T1 D1
T2 D2	T3 D1	T4 D1	T4 D2
T3 D1	T3 D2	T2 D1	T4 D1
T3 D2	T2 D2	T3 D1	T2 D1
T4 D1	T2 D1	T3 D2	Testigo
T4 D2	T1 D2	Testigo	T3 D1
Testigo	T1 D1	T4 D2	T1 D2

HERRAMIENTA PARA LA EVALUACION DEL DESEMPEÑO (TAPE)

CARACTERIZACIÓN DE LAS TRANSICIONES AGROECOLÓGICAS (CAET)

Productor/ra: _____

DIVERSIDAD

Cultivos presentes en el área cultivada	Valoración
Monocultivo (o sin cultivos).	0
Un cultivo cubre más del 80% del área cultivada.	1
De 2 a 3 cultivos con área cultivada significativa.	2
Más de 3 cultivos con un área cultivada significativa adaptada a las condiciones climáticas locales	3
Más de 3 cultivos de diferentes variedades adaptados a las condiciones locales, espacialmente diversificada con cultivos múltiples, poli o inter-cultivos.	4

Animales (incluyendo peces o insectos)	Valoración
No se crían animales	0
Una sola especie	1
De 2 a 3 especies con pocos animales	2
Más de 3 especies con un número significativo de animales	3
Más de 3 especies con diferentes razas bien adaptadas a las condiciones climáticas locales y cambiantes.	4

Árboles (y otras plantas perennes)	Valoración
Sin árboles (ni otras plantas perennes)	0
Pocos árboles (y/u otras plantas perennes) de una sola especie.	1
Pocos árboles (y/u otras plantas perennes) de más de una especie.	2
Número significativo de árboles (y/u otras plantas perennes) de diferentes especies.	3
Gran cantidad de árboles (y/u otras plantas perennes) de diferentes especies integradas dentro del sistema productivo	4

Diversidad de actividades, productos y servicios	Valoración
--	------------

Sólo una actividad productiva genera ingresos (p.ej. vender una sola cosecha).	0
Dos o tres actividades que generan ingresos (p.ej. vender 2 cultivos o un cultivo y un tipo de animal)	1
Más de 3 actividades productivas que generan ingresos	2
Más de 3 actividades productivas y al menos un servicio brindado (p.ej. procesamiento de productos en la finca, ecoturismo, transporte de productos agrícolas, capacitación, etc.).	3
Más de 3 actividades productivas que generan ingresos y varios servicios prestados	4

2. Sinergias

El investigador debe considerar los recursos compartidos a nivel comunitario. Por ejemplo, en el caso de los pastos comunales, por ejemplo, los insumos de alimentación correspondientes para los animales no se consideran externos. Solo los alimentos comprados en el mercado se consideran externos.

Integración cultivo-ganadería-acuicultura	Valoración
Sin integración: Los animales, incluidos los peces, se alimentan con alimento comprado y su estiércol no se utiliza para la fertilidad del suelo; o no hay animales en el agroecosistema.	0
Baja integración: Los animales se alimentan principalmente con alimento comprado y su estiércol se usa como fertilizante.	1
Integración Media: Los animales se alimentan principalmente con piensos producidos en la finca y /o pastoreo, su estiércol se usa como fertilizante.	2
Alta Integración: Los animales se alimentan principalmente con piensos producidos en la finca, residuos de cultivos y subproductos y/o pastoreo, su estiércol se usa como fertilizante y proporcionan al menos un servicio (p.ej. tracción animal).	3
Integración completa: Los animales se alimentan exclusivamente con piensos producidos en la finca, residuos de cultivo y subproductos y/o pastoreo, todo su estiércol se recicla como fertilizante y proporcionan más de un servicio (alimentos, productos, tracción, etc.).	4

Gestión del sistema Suelo-Planta	Valoración
---	-------------------

El suelo esta descubierto después de la cosecha. Sin cultivos intercalados. Sin rotación de cultivos (o sistemas de pastoreo de rotacionales). Perturbaciones intensas del suelo (biológicas, químicas o mecánicas).	0
Menos del 20% de la tierra cultivable está cubierta de residuos o con cultivos de cobertura. Más del 80% de los cultivos se producen en monos y continuos (o sin pastoreo rotativo).	1
50% del suelo está cubierto de residuos o cultivos de cobertura. Algunos cultivos se rotan o se intercalan (o se realiza un pastoreo rotativo).	2
Más del 80% del suelo está cubierto de residuos o cultivos de cobertura. Los cultivos se rotan regularmente o intercalados (o el pastoreo rotativo es sistemático). Se minimiza la alteración del suelo.	3
Todo el suelo está cubierto de residuos o cultivos de cobertura. Los cultivos se rotan regularmente y el cultivo intercalado es común (o el pastoreo rotativo es sistemático). Poca o ninguna alteración del suelo.	4

Integración con árboles (Agroforestería, silvopastoreo, agrosilvopastoreo)	Valoración
Sin Integración. Los árboles (y otras plantas perennes) no tienen uso para los humanos o en la producción de cultivos o animales.	0
Integración baja: Un pequeño número de árboles (y otras plantas perennes) solo proporcionan un producto (por ejemplo, frutas, madera, forraje, sustancias medicinales o biopesticidas) o servicios (p.ej. sombra para los animales, mayor fertilidad del suelo, retención de agua, barrera para el suelo) para los cultivos, para uso humano o animal.	1
Integración media: Un número significativo de árboles (y otras plantas perennes) proporcionan al menos un producto o servicio.	2
Integración Alta: Un número significativo de árboles (y otras plantas perennes) proporcionan varios productos y servicios.	3
Integración completa: Muchos árboles (y otras plantas perennes) proporcionan varios productos y servicios.	4

Conectividad entre elementos del agroecosistema y del paisaje	Valoración
Sin conectividad: Alta uniformidad dentro y fuera del agroecosistema. Sin entornos semi-naturales, ni zonas de compensación ecológica.	0

Conectividad baja: Se puede encontrar algunos elementos aislados en el agroecosistema, como árboles, arbustos, cercas naturales, un estanque o una pequeña zona de compensación ecológica.	1
Conectividad media: Varios elementos son adyacentes a cultivos y/o pastizales o una gran zona de compensación ecológica.	2
Conectividad significativa: Se pueden encontrar varios elementos entre parcelas de cultivos y/o pastizales o varias zonas de compensación ecológica (árboles, arbustos, vegetación natural, pastos, setos, canales, etc.).	3
Conectividad alta: El agroecosistema presenta un mosaico de paisajes diversificados, muchos elementos como árboles, arbustos, cercas o estanques se pueden encontrar entre cada parcela de tierra de cultivo o pasto, o varias zonas de compensación ecológica.	4

3. Eficiencia

Tenga en cuenta todos los insumos necesarios para la producción, incluidos energía, combustibles, fertilizantes, semillas, animales jóvenes, inseminación artificial, mano de obra, sustancias fitosanitarias, etc. Si los insumos se intercambian con otros agricultores, no se consideran externos. En el caso que existan tierras comunales, los recursos proporcionados gratuitamente por esas, no se consideran externos.

Uso de insumos externos <i>Tenga en cuenta todos los insumos que se requieren para la producción, incluyendo energía, combustible, fertilizantes, semillas, etc.</i>	Valoración
Todos los insumos se compran en el mercado	0
La mayoría de los insumos se compran en el mercado	1
Algunos insumos se producen en la finca/dentro del agroecosistema o se intercambian con otros miembros de la comunidad.	2
La mayoría de los insumos se producen en la finca/dentro del agroecosistema o se intercambian con otros miembros de la comunidad.	3
Todos los insumos se producen en la finca/dentro del agroecosistema o se intercambian con otros miembros de la comunidad	4

Gestión de la fertilidad del suelo	Valoración
Los fertilizantes sintéticos se usan regularmente en todos los cultivos y/o pastizales (o no se usan fertilizantes por falta de acceso, pero no se usa ningún otro sistema de gestión de la fertilidad).	0
Los fertilizantes sintéticos se usan regularmente en la mayoría de los cultivos y algunas prácticas orgánicas (p.ej. estiércol o compost) se aplican en algunos cultivos y/o pastizales.	1
Los fertilizantes sintéticos se usan solo en algunos cultivos específicos. Las prácticas orgánicas se aplican a los otros cultivos y/o pastizales.	2
Los fertilizantes sintéticos solo se usan excepcionalmente. Una variedad de orgánicas son la norma.	3
No se usan fertilizantes sintéticos, la fertilidad del suelo se maneja solo a través de una variedad de prácticas orgánicas.	4

Control y/o manejo preventivo de plagas y enfermedades	Valoración
Los pesticidas químicos y medicamentos se usan regularmente para el manejo de plagas y enfermedades. No se usa ninguna otra gestión.	0
Los pesticidas químicos y medicamentos se usan solo para un cultivo/animal específico. Algunas sustancias biológicas y prácticas orgánicas se aplican esporádicamente.	1
Las plagas y enfermedades se manejan a través de prácticas orgánicas, pesticidas químicos se usan solo en casos específicos y muy limitados.	2
No se usan pesticidas químicos ni medicamentos. Las sustancias biológicas son la norma.	3
No se utilizan pesticidas químicos ni medicamentos. Las plagas y enfermedades se manejan a través de una variedad de sustancias biológicas y medidas de prevención.	4

Productividad y necesidades del hogar. Considere todos los tipos de activos, incluidos los animales, árboles y otras plantas perennes, etc.	Valoración
No se satisfacen las necesidades del hogar en cuanto a alimentos ni a otros elementos esenciales.	0
La producción cubre las necesidades de alimentos del hogar. No hay excelente para generar ingresos.	1

La producción cubre las necesidades de alimento del hogar y el excedente genera efectivo para comprar lo esencial, pero no permite ahorros.	2
La producción cubre las necesidades de alimento del hogar y el excedente genera efectivo para comprar lo esencial y tener ahorros esporádicos.	3
Se satisfacen todas las necesidades del hogar, tanto de alimentos como de dinero en efectivo para comprar los elementos esenciales y tener ahorros regulares.	4

4. Reciclaje

El reciclaje de biomasa, nutrientes y energía contribuye a la transición agroecológica y, en última instancia, reduce la dependencia de los recursos externos y empodera a los productores al aumentar su capacidad de recuperación.

Reciclaje de biomasa y nutrientes	Valoración
Los residuos o subproductos no se reciclan (p. ej. se queman). Se descargan o queman cantidades de desechos.	0
Una pequeña parte de los residuos y subproductos se reciclan (p. ej. residuos de cultivos como alimento para animales, uso de estiércol como fertilizante, producción de compost a partir de estiércol y desechos domésticos, abono verde). Los residuos se descargan o se queman.	1
Más de la mitad de los residuos o subproductos no se reciclan. Algunos desechos se descargan o se queman.	2
La mayoría de los residuos o subproductos se reciclan. Solo se descargan o se quema un poco de desperdicio.	3
Todos los residuos o subproductos son reciclados. No se descargan, ni se queman residuos.	4

Ahorro de agua	Valoración
Sin equipos ni técnicas para la recolección o ahorro de agua	0
Un tipo de equipo para la recolección o ahorro de agua (p.ej. riego por goteo, tanque)	1

Un tipo de equipo para la recolección o ahorro de agua y el uso de una práctica para optimizar el uso de agua (p.ej. cronometraje de riego o cultivos de cobertura).	2
Un tipo de equipo para la recolección o ahorro de agua y varias prácticas para optimizar el uso del agua (incluidos cultivos menos exigentes)	3
Varios tipos de equipos para la recolección o ahorro de agua y diversas prácticas para optimizar el uso del agua (incluidos cultivos menos exigentes al agua).	4

Manejo de semillas y razas	Valoración
Todas las semillas y/o recursos genéticos animales (por ejemplo, pollos, animales jóvenes, semen) se compran en el mercado.	0
Más del 80% de las semillas / recursos genéticos animales se compran en el mercado	1
Aproximadamente la mitad de las semillas son de producción propia o intercambiada, la otra mitad se compra en el mercado. Aproximadamente la mitad de la cría se realiza en fincas vecinas.	2
La mayoría de las semillas / recursos genéticos animales son de producción propia o intercambiados. Algunas semillas específicas se compran en el mercado.	3
Todas las semillas / recursos genéticos animales son de producción propia, se intercambian con otros agricultores o se gestionan colectivamente, lo que garantiza una renovación y diversidad suficiente.	4

Uso y producción de energías renovables	Valoración
No se utiliza ni se produce energía renovable.	0
La mayoría de la energía se compra en el mercado. Una pequeña cantidad es de producción propia (por ejemplo, tracción animal, viento, turbina, hidráulica, biogás madera...).	1
La mitad de la energía utilizada es de producción propia, la otra mitad se compra.	2
Producción significativa de energía renovable, uso insignificante de combustible y otras fuentes no renovables.	3

Toda la energía utilizada es renovable y/o de producción propia. El hogar es autosuficiente para el suministro de energía, la cual está garantizada en todo momento. El uso de combustibles fósiles es insignificante.	4
--	---

5. Resiliencia

Estabilidad de ingresos / producción y capacidad de recuperación después de perturbaciones (sequías, lluvias extremas, otros). No se considera la variación de precios en el mercado, la que será valorada en el paso 2.	Valoración
Los ingresos disminuyen año tras año, la producción es muy variable a pesar del nivel constante de insumos. No hay capacidad de recuperación después de impactos/perturbaciones.	0
Los ingresos están en tendencia decreciente, la producción es variable de año en año (con insumos constantes) y hay poca capacidad de recuperación después de impactos/perturbaciones.	1
El ingreso es estable en general, pero la producción es variable de año en año (con insumos constantes). Los ingresos y la producción se recuperan principalmente después de impactos/perturbaciones.	2
Los ingresos son estables y la producción varía poco de año en año (con insumos constantes). Los ingresos y la producción se recuperan principalmente después de impactos/perturbaciones.	3
Los ingresos y la producción son estables y aumentan con el tiempo. Se recuperan total y rápidamente después de los impactos/perturbaciones.	4

Existencia de mecanismos para reducir la vulnerabilidad.	Valoración
Sin acceso al crédito, sin aseguramiento, sin mecanismos de apoyo comunitario	0
La comunidad no es muy solidaria y su capacidad para ayudar después de las crisis es muy limitada. Y/o el acceso a crédito y/o aseguramiento es limitada.	1
La comunidad es solidaria, pero su capacidad para ayudar después de las crisis es muy limitada. Y/o el acceso a créditos está disponible, pero es difícil de obtener en la práctica. El aseguramiento es escaso y no permite una cobertura completa de los riesgos.	2

La comunidad es muy solidaria tanto para hombres como para mujeres, pero su capacidad para ayudar después de las crisis es muy limitada. Y/o el acceso a créditos está disponible y el aseguramiento cubre solo productos y riesgos específicos.	3
La comunidad es muy solidaria tanto para hombres y puede ayudar significativamente después de las crisis. Y/o el acceso a créditos es casi sistemático y el aseguramiento cubre la mayor parte de la producción.	4

Resiliencia ambiental y capacidad de adaptación al cambio climático	Valoración
El entorno local es muy propenso a impactos climáticos y el sistema tiene poca capacidad para adaptarse al cambio climático.	0
El medio ambiente local sufre impactos climáticos y el sistema tiene poca capacidad para adaptarse al cambio climático	1
El entorno local puede sufrir impactos climáticos pero el sistema tiene una buena capacidad de adaptación al cambio climático	2
El medio ambiente local puede sufrir impactos climáticos pero el sistema tiene una gran capacidad de adaptación al cambio climático	3
El medio ambiente local tiene un capital natural sólido, los impactos climáticos son raros y el sistema tiene una gran capacidad para adaptarse al cambio climático.	4

Endeudamiento	Valoración
La deuda es más alta que el ingreso	0
La deuda es más de la mitad de los ingresos. La capacidad de reembolso es limitada.	1
La deuda es más de la mitad de los ingresos.	2
La deuda es limitada y la capacidad de reembolso es total.	3
Sin deuda.	4

6. Cultura y tradición alimentaria.

Dieta adecuada y conciencia nutricional - A nivel de finca y hogar	Valoración
Alimentos sistemáticos insuficientes para satisfacer necesidades nutricionales y falta conciencia sobre las buenas prácticas nutricionales	0
La alimentación periódica es insuficiente para satisfacer las necesidades nutricionales y/o la dieta se basa en un número limitado de grupos de alimentos. Falta de conocimiento de buenas prácticas nutricionales.	1
En general hay seguridad alimentaria a lo largo del tiempo, pero insuficiente diversidad de los grupos de alimentos. Se conocen las buenas prácticas nutricionales, pero no siempre se aplican.	2
La alimentación es suficiente y diversa. Se conocen buenas prácticas nutricionales, pero no siempre se aplican.	3
Dieta sana, nutritiva, diversificada. Las buenas prácticas nutricionales son bien conocidas y aplicadas.	4

Identidad y conciencia local o tradicional (campesina / indígena)	Valoración
No se siente identidad local o tradicional (campesina o indígena).	0
Poco conocimiento de la identidad local o tradicional.	1
Identidad local o tradicional que se siente en parte, o que concierne solo a una parte del hogar.	2
Buena conciencia de la identidad local o tradicional y el respeto de las tradiciones o costumbres en general.	3
Identidad local o tradicional fuertemente sentida y protegida, gran respeto por las tradiciones y/o costumbres.	4

Uso de variedades / razas locales y conocimiento tradicional (campesino e indígena) para la preparación de alimentos	Valoración
No se utilizan variedades / razas locales ni conocimientos tradicionales para la preparación de los alimentos.	0
Se consume la mayoría de las variedades/razas exóticas/introducidas, o se utiliza poco el conocimiento y las prácticas tradicionales para la preparación de alimentos	1

Se producen y consumen variedades/razas exóticas/introductory. Se identifican los conocimientos y prácticas o tradicionales para la preparación de alimentos, pero no siempre se aplican.	2
La mayoría de los alimentos consumidos proviene de variedades/razas locales y se implementan los conocimientos y prácticas tradicionales para la preparación de alimentos.	3
Se producen y consumen varias variedades/razas locales. Los conocimientos y prácticas o tradicionales para la preparación de alimentos se identifican, aplican y reconocen en marcos oficiales y/o eventos específicos.	4

7. Creación conjunta e intercambio de conocimientos

Plataformas para la creación y transferencia horizontal de conocimientos y buenas prácticas - A nivel de comunidad (con perspectiva de género) – Organizaciones formales o informales, escuelas de campo para agricultores, reuniones periódicas, capacitaciones, etc.	Valoración
Los productores no disponen de mecanismos sociales de co-creación y transferencia de conocimiento.	0
Existe al menos un mecanismo social de co-creación y transferencia de conocimiento, pero no funciona bien y/o no se utiliza en las prácticas	1
Existe y está funcionando al menos un mecanismo social para la co-creación y transferencia de conocimientos, pero no se utiliza para compartir conocimientos sobre agroecología específicamente.	2
Existen uno o varios mecanismos sociales de co-creación y transferencia de conocimientos, están funcionando y se utilizan para compartir conocimientos sobre agroecología, incluidas las mujeres.	3
Varios mecanismos sociales bien establecidos y en funcionamiento para la co-creación y transferencia de conocimientos están disponibles, y generalizados dentro de la comunidad, incluidas las mujeres.	4

Acceso al conocimiento agroecológico e interés de los productores en la agroecología - A nivel de hogar y de comunidad. El conocimiento y las prácticas agroecológicas también pueden llamarse de otras maneras, y es posible que los productores los conozcan y apliquen sin conocer la palabra "agroecología". Para	Valoración
--	-------------------

<i>efectos de la evaluación concéntrese en las prácticas y el conocimiento reales y no en el conocimiento formal de la "agroecología" como ciencia.</i>	
Falta de acceso al conocimiento agroecológico: los productores desconocen los principios de la agroecología.	0
Los principios de agroecología son en su mayoría desconocidos para los productores y/o hay poca confianza en ellos.	1
Los productores conocen algunos principios agroecológicos y existe interés en difundir la innovación, facilitan el intercambio de conocimientos dentro y entre las comunidades e involucran a las generaciones más jóvenes, incluidas las mujeres.	2
La agroecología es bien conocida y los productores están dispuestos a implementar innovaciones, facilitando el intercambio de conocimientos dentro y entre las comunidades e involucrando a las generaciones más jóvenes, incluidas las mujeres.	3
Acceso generalizado al conocimiento agroecológico tanto para hombres y mujeres: los productores conocen bien los principios de la agroecología y están ansiosos por aplicarlos, facilitando el intercambio de conocimientos dentro y entre las comunidades e involucrando a las generaciones más jóvenes, con equidad de género.	4

Participación de los productores en redes y organizaciones de base - A nivel de finca y comunidad (con perspectiva de género)	Valoración
Los productores están aislados, casi no tienen relaciones con su comunidad local y no participan en reuniones y organizaciones de base.	0
Los productores tienen relaciones esporádicas con su comunidad local y rara vez participan en reuniones y organizaciones de base.	1
Los productores tienen relaciones regulares con su comunidad local y, a veces, participan en los eventos de sus organizaciones de base, pero no tanto para las mujeres.	2
Los productores están bien interconectados con su comunidad local y, a menudo, participan en los eventos de sus organizaciones de base, incluidas las mujeres.	3
Los productores (con igual participación de hombres y mujeres) están altamente interconectado, se apoyan, muestran compromisos y participación muy altos en todos los eventos de su comunidad local.	4

8. Valores humanos y sociales

Empoderamiento de las mujeres – A nivel de finca, hogares y comunidad	Valoración
Las mujeres normalmente no tienen voz en la toma de decisiones, ni en el hogar ni en la comunidad. No existe una organización para el empoderamiento de las mujeres.	0
Las mujeres pueden tener voz en su hogar, pero no en la comunidad. Y/o existe una forma de asociación de mujeres, pero no es completamente funcional.	1
Las mujeres pueden influir en la toma de decisiones, tanto en el hogar como en la comunidad, pero no son quienes toman las decisiones. No tienen acceso a los recursos. Y/o existen algunas formas de asociaciones de mujeres, pero no son completamente funcionales.	2
Las mujeres participan plenamente en los procesos de toma de decisiones, pero aún no tienen acceso total a los recursos. Y/o existen organizaciones de mujeres y son utilizadas.	3
Las mujeres están completamente empoderadas en términos de toma de decisiones y acceso a recursos. Y/o existen organizaciones de mujeres, son funcionales y operativas.	4

Trabajo (condiciones productivas, desigualdades sociales) A nivel de finca, hogar y comunidad	Valoración
Las cadenas de suministro agrícola están integradas y gestionadas por los agro negocios. Existe una distancia social y económica entre los terratenientes y los trabajadores. Y/o los trabajadores no tienen condiciones de trabajo decentes, ganan bajos salarios y están muy expuestos a riesgos.	0
Las condiciones de trabajo son difíciles, los trabajadores tienen salarios promedio para el contexto local y pueden estar expuestos a riesgos	1
La agricultura se basa principalmente en la agricultura familiar, pero los productores tienen acceso limitado al capital y a los procesos de toma de decisiones. Los trabajadores tienen las condiciones mínimas de trabajo decentes.	2
La agricultura se basa principalmente en la agricultura familiar y los productores (tanto hombres como mujeres) tienen acceso al capital y a los procesos de toma de decisiones. Los trabajadores tienen condiciones laborales decentes.	3

La agricultura se basa en los agricultores familiares que tienen pleno acceso al capital y a los procesos de toma de decisiones con equidad de género. Existe una proximidad social y económica entre agricultores y empleados.	4
---	---

Empoderamiento juvenil y emigración – A nivel de finca, hogar y comunidad	Valoración
Los jóvenes no ven futuro en la agricultura y están ansiosos por emigrar.	0
La mayoría de los jóvenes piensa que la agricultura es demasiado difícil y muchos desean emigrar.	1
La mayoría de los jóvenes no quieren emigrar, a pesar de las duras condiciones de trabajo, y desean mejorar sus medios de vida y las condiciones de vida dentro de su comunidad.	2
La mayoría de los jóvenes (varones y mujeres) están satisfechos con las condiciones de trabajo y no quieren emigrar.	3
Los jóvenes (de ambos sexos) ven su futuro en la agricultura y están motivados a continuar y mejorar la actividad de sus padres.	4

Bienestar de los animales [Sí aplica] - A nivel de finca	Valoración
Los animales sufren hambre, sed y enfermedades durante todo el año y son sacrificados sin evitar dolores innecesarios.	0
Los animales sufren periódicamente / estacionalmente de hambre, sed, estrés o enfermedades, y son sacrificados sin evitar dolores innecesarios.	1
Los animales no padecen hambre ni sed, pero sufren estrés, pueden ser propensos a enfermedades y pueden sufrir dolor en el sacrificio o no son libres de expresar su comportamiento natural.	2
Los animales no padecen hambre, sed o enfermedades, pero pueden experimentar miedo, malestar y estrés, especialmente al sacrificarlos.	3
Los animales no sufren de estrés, hambre, sed o enfermedades, y son sacrificados de manera que se eviten dolores innecesarios.	4

9. Economía circular y solidaria

La agroecología busca volver a conectar a productores y consumidores a través de una economía circular y solidaria que da prioridad a los mercados locales y apoya el desarrollo económico local mediante la creación de ciclos virtuosos.

Productos y servicios comercializados localmente (comunitario, municipal) – <i>A nivel de finca y comunidad</i>	Valoración
Ningún producto o servicio se comercializa localmente (o no se produce suficiente excedente), o no existe un mercado local.	0
Existen mercados locales, pero casi ninguno de los productos o servicios se comercializa localmente,	1
Existen mercados locales. Algunos productos o servicios se comercializan localmente (o en sistemas de comercio con equidad de género).	2
La mayoría de los productos o servicios se comercializan localmente (o en sistemas de comercio con equidad de género).	3
Todos los productos y servicios se comercializan localmente (o en sistemas de comercio con equidad de género).	4

Redes de productores empoderados, presencia de intermediarios y relación con los consumidores - <i>A nivel de comunidad (con perspectiva de género).</i>	Valoración
No existen redes de productores para comercializar la producción agrícola. No hay relación con los consumidores. Los intermediarios gestionan todo el proceso de comercialización.	0
Las redes existen, pero no funcionan correctamente. Poca relación con los consumidores. Los intermediarios gestionan la mayor parte del proceso de comercialización.	1
Las redes existen y son operativas, pero no incluyen mujeres. Existe una relación directa con los consumidores. Los intermediarios gestionan parte del proceso de comercialización.	2
Las redes existen y son operativas, incluidas las mujeres. Existe una relación directa con los consumidores. Los intermediarios gestionan parte del proceso de comercialización.	3
Existen redes bien establecidas y operativas con igual participación de mujeres. Relación fuerte y estable con los consumidores. Sin intermediarios.	4

Sistema alimentario local – <i>A nivel de finca y comunidad</i>	Valoración
--	-------------------

La comunidad depende totalmente del exterior para comprar suministros de alimentos e insumos agrícolas y para la comercialización y el procesamiento de productos.	0
La mayoría del suministro de alimentos y los insumos agrícolas se compran desde el exterior y los productos se procesan y comercializan fuera de la comunidad local. Muy pocos bienes y servicios se intercambian / venden entre productores locales.	1
El suministro de alimentos y los insumos se compran fuera de la comunidad y/o los productos se procesan localmente. Algunos bienes y servicios se intercambian / venden entre productores locales.	2
En partes iguales, el suministro de alimentos y los insumos están disponibles localmente y fuera de la comunidad, y los productos se procesan localmente. Los intercambios / comercio entre productores son regulares.	3
La comunidad es casi completamente autosuficiente para la producción agrícola y alimentaria. Alto nivel de intercambio de productos / comercio y servicios entre productores.	4

10. Gobernanza responsable

Se necesitan mecanismos de gobernanza transparentes, responsables e inclusivos para crear un entorno favorable a nivel comunitario y territorial que apoye a los productores para transformar sus sistemas.

Empoderamiento de los productores - A nivel de finca y de comunidad (con perspectiva de género)	Valoración
Los productores no tienen acceso asegurado a la tierra u otros recursos naturales. No tienen poder de negociación y carecen de los medios para mejorar sus medios de vida y desarrollar sus habilidades.	0
Los derechos de los productores son reconocidos, pero no siempre respetados. Tienen poco poder de negociación y pocos medios para mejorar sus medios de vida y/o desarrollar sus habilidades.	1
Los derechos de los productores son reconocidos y respetados tanto para hombres como para mujeres. Tienen un pequeño poder de negociación, pero no están estimulados para mejorar sus medios de vida y/o desarrollar sus habilidades.	2

Los derechos de los productores son reconocidos y respetados tanto para hombres como para mujeres. Tienen la capacidad y los medios para mejorar sus medios de vida y, a veces, son estimulados para desarrollar sus habilidades.	3
Se reconocen y respetan los derechos de los productores tanto hombres como para mujeres. Están bien organizados y tienen la capacidad y los medios para mejorar sus medios de vida y desarrollar sus habilidades.	4

Organizaciones y asociaciones de productores - A nivel de finca y comunidad	Valoración
La cooperación entre productores no es transparente, es corrupta o no existe. No existe ninguna organización o no se distribuyen las ganancias de manera transparente y /o igual, ni apoyan a los productores.	0
Existe una organización de productores, pero su papel es marginal y el apoyo a los productores se limita al acceso al mercado.	1
Existe una organización de productores que brinda apoyo a los productores para el acceso al mercado y otros servicios, (p. ej. información, desarrollo de capacidades, incentivos...), pero las mujeres no tienen acceso.	2
Existe una organización de productores que brinda apoyo a los productores para el acceso al mercado y otros servicios con igualdad de acceso para hombres y mujeres.	3
Existe más de una organización. Proporcionan acceso al mercado y otros servicios, con igualdad de acceso para hombres y mujeres.	4

Participación de los productores en la gobernanza de la tierra y de los recursos naturales - A nivel de comunidad (con perspectiva de género)	Valoración
Los productores están completamente excluidos de la gobernanza de la tierra y de los recursos naturales. No existe equidad de género en la gobernanza de la tierra y los recursos naturales.	0
Los productores participan en la gobernanza de la tierra y los recursos naturales, pero su influencia en las decisiones es limitada. La equidad de género no siempre se respeta.	1
Existen mecanismos que permiten a los productores participar en la gobernanza de la tierra y de los recursos naturales, pero que no son totalmente operativos. Su	2

influencia en las decisiones es limitada. La equidad de género no siempre se respeta.	
Los mecanismos que permiten a los productores participar en la gobernanza de la tierra y de los recursos naturales existen y están en pleno funcionamiento. Pueden influir en las decisiones. La equidad de género no siempre se respeta.	3
Los mecanismos que permiten a los productores participar en la gobernanza de la tierra y de los recursos naturales existen y están en pleno funcionamiento. Tanto las mujeres como los hombres pueden influir en las decisiones.	4