

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ambiente y Desarrollo
Ingeniería en Ambiente y Desarrollo



Proyecto Especial de Graduación
Evaluación de la efectividad de tres fungicidas biológicos en el control
del hongo de la roya de café *Hemileia vastatrix*

Estudiante

Javier Antonio Pérez Lira

Asesores

Marco Granadino, M.Sc.

Rogelio Trabanino, M.Sc.

Honduras, agosto 2025

Autoridades

KEITH L. ANDREWS

Rector i.a.

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

VICTORIA CORTÉS MATAMOROS

Directora del Departamento de Ambiente y Desarrollo

JULIO NAVARRO

Secretario General

Contenido

	3
Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos.....	14
Evaluación en Campo de la Eficacia de los Fungicidas Biológicos Ubicación del Estudio y Condiciones Agroclimáticas.....	14
Diseño Experimental y Distribución de Tratamientos	15
Descripción de Tratamientos Biológicos y Control Químico.....	16
Aplicación de Tratamientos	17
Toma de Datos	17
Variables Medidas.....	17
Análisis Estadístico	18
Evaluación del Comportamiento y Persistencia de los tres Biocontroladores	19
Toma de Muestras	19
Inoculación en el Laboratorio	19
Variables Medidas.....	19
Análisis de Resultados.....	20
Resultados y Discusión.....	21
Resultados de la Evaluación de Campo de la Eficacia de Fungicidas Biológicos.....	21
Evaluación de los Tratamientos Biológicos.....	21
Resultados de la Valuación del Comportamiento y Persistencia de los tres Biocontroladores	27
Comportamiento de los Agentes Biocontroladores a Través del Tiempo	27

Conclusiones	30
Recomendaciones.....	31
Referencias.....	32
Anexos.....	35

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Descripción de los tratamientos biocontroladores y agente químico para la reducción de la roya del café (<i>Hemileia vastatrix</i>), incluyendo concentraciones y dosis aplicadas.	16
Cuadro 2 Escala visual utilizada para determinar el grado de severidad de la roya del café en evaluaciones de campo Guerra, J. O., y Welchez, J. A. (2013).....	18
Cuadro 3 Incidencia progresiva de <i>Hemileia vastatrix</i> en café de la variedad Catuaí expresado en porcentaje, evaluada a lo largo de 30 días después de la aplicación, Zamorano, Honduras, 2024	22
Cuadro 4 Índice de severidad de la roya del café en la variedad Catuaí frente a diferentes tratamientos, evaluado durante 30 días posteriores a la aplicación en Zamorano, Honduras, 2024.....	24
Cuadro 5 Persistencia de los biocontroladores a los 30 días en los tratamientos evaluados.	29

Índice de Figuras

Figura 1 Localización de la parcela experimental para la aplicación de tratamientos en campo, Zamorano, Honduras.	14
Figura 2 Diagrama secuencial de la metodología empleada en la evaluación de tratamientos para el control de <i>Hemileia vastatrix</i>	15
Figura 3 Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por <i>Hemileia vastatrix</i> , después de ser aplicados con los tratamientos biológicos.	26
Figura 4 Recuperación del hongo <i>Trichoderma spp.</i> a partir de tejido foliar de cafeto, evaluado en condiciones de laboratorio, 30 días después de la aplicación.	27
Figura 5 Recuperación del hongo <i>Lecanicillium Lecanii.</i> a partir de tejido foliar de cafeto, evaluado en condiciones de laboratorio, 30 días después de la aplicación.	28
Figura 6 Recuperación de la bacteria <i>Bacillus Subtilis</i> , a partir de tejido foliar de cafeto, evaluado en condiciones de laboratorio, 30 días después de la aplicación.	28

Índice de Anexos

Anexo A Rango de porcentaje de daño visible en la hoja para la toma de muestras en campo.....	35
Anexo B Ilustración de elaboración de la dosis del biofungicida <i>Lecanicillium Lecanii</i> en el laboratorio.	36
Anexo C Ilustración de la dosificación y pesaje de <i>Trichoderma harzianum</i> previo a su formulación y aplicación en campo.	37
Anexo D Ilustración de acondicionamiento de placas Petri con muestras tratadas para observación en laboratorio.	38

Resumen

Honduras es el séptimo productor mundial de café, sin embargo, plagas y enfermedades como la roya del café (*Hemileia vastatrix*) afectan su producción. Esta enfermedad foliar destructiva, provoca manchas amarillas en el haz y polvo anaranjado en el envés de las hojas, provocando defoliación y reduciendo la capacidad fotosintética de la planta. En esta investigación se evaluó la efectividad de tres agentes biocontroladores: *Trichoderma sp.*, *Lecanicillium Lecanii* y *Bacillus Subtilis*, aplicados en combinaciones específicas: (1) *Trichoderma* + *Bacillus*, (2) *Trichoderma* + *Lecanicillium*, (3) *Lecanicillium* + *Bacillus*, (4) control químico (Opera®), y (5) testigo sin tratamiento. El experimento se desarrolló bajo un diseño de bloques completamente al azar, con parcelas de 25 plantas y evaluación de 10 hojas por planta en el tercio medio. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Duncan al 5% para comparar la incidencia de la enfermedad entre tratamientos. Adicionalmente, se recuperaron los biocontroladores en laboratorio para verificar su persistencia. Los resultados indicaron que todos los tratamientos redujeron significativamente la incidencia de la roya en comparación con el testigo, destacando la combinación *Trichoderma* + *Bacillus* como la más efectiva. Esta investigación respalda el potencial del uso combinado de agentes biológicos como estrategia sostenible en el manejo integrado de la roya del café.

Palabras Clave: *Bacillus Subtilis*, incidencia, *Lecanicillium Lecanii*, severidad, *Trichoderma harzainum*

Abstract

Honduras is the seventh largest coffee producer in the world, but pests and diseases such as coffee rust (*Hemileia vastatrix*) affect its production. This destructive foliar disease causes yellow spots on the upper side and orange powder on the underside of the leaves, leading to defoliation and reducing the plant's photosynthetic capacity. This study evaluated the effectiveness of three biocontrol agents: *Trichoderma* sp., *Lecanicillium Lecanii*, and *Bacillus Subtilis*, applied in specific combinations: (1) *Trichoderma* + *Bacillus*, (2) *Trichoderma* + *Lecanicillium*, (3) *Lecanicillium* + *Bacillus*, (4) chemical control (Opera), and (5) untreated control. The experiment was conducted under completely randomized block design, with plots of 25 plants and evaluation of 10 leaves per plant in the middle third. An analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test at the 5% level were performed to compare disease incidence among treatments. Additionally, the biocontrol agents were recovered in the laboratory to verify their persistence. Results indicated that all treatments significantly reduced coffee rust incidence compared to the control; the *Trichoderma* + *Bacillus* combination was the most effective. This findings supports the potential of combining biological agents as a sustainable strategy for integrated coffee rust management.

Keywords: Bacillus Subtilis, incidence, Lecanicillium Lecanii, severity, Trichoderma harzianum

Introducción

El café es una bebida elaborada a partir de los granos tostados y molidos de la planta de café (*Coffea*), un género que pertenece a la familia de las Rubiáceas. Según Gaitán (1998), las especies más comunes son *Coffea arabica* y *Coffea canephora* también llamadas por su nombre común café robusta. La historia de este grano indica que la baya del café fue descubierta en Etiopía durante el siglo IX, donde un pastor observó que sus cabras comían las extrañas bayas de unos arbustos cercanos y al probarlas por sí mismo descubrió sus efectos estimulantes (Roig, 2023 y Sabogal, 2021).

Honduras es un país destacado en la producción de café, ocupa el séptimo lugar a nivel mundial, es el mayor productor de América Central y el tercero de América Latina (Hernandez, 2020). La producción café es de mucha relevancia en el sector agrícola ya que, según el reporte estadístico de Carreras Ribot (2021), este producto se origina en más de 50 países y Honduras ha experimentado un notable crecimiento en su producción interna de café en los últimos años; sin embargo, este progreso no ha eliminado los retos significativos que enfrenta el sector (Torres, 2024).

Para Honduras, la producción de café constituye un sector clave con alta relevancia económica y social, impactando significativamente en el desarrollo rural, el empleo y la balanza comercial del país (Pozo, 2006). Esto debido a que representa un 30% del producto interno bruto agrícola y 4% del producto interno bruto nacional (Aguilar, Y. C. M., y Martínez, W. K. B., 2025). Actualmente, “la innovación es crucial para intensificar la producción agrícola de manera sostenible y aumentar los ingresos de los agricultores” (Gain, 2018).

En la búsqueda de alternativas sostenibles para el control de la roya del café, el uso de fungicidas biológicos se presenta como una opción que minimiza el impacto ambiental en comparación con los productos químicos convencionales (Hernández-Martínez, G., y Velázquez-Premio, T, 2016). Estos fungicidas biológicos, que pueden estar basados en microorganismos benéficos o extractos naturales, no solo son menos tóxicos para la fauna y flora existentes, sino que también ayudan a mantener la biodiversidad del suelo, favorecen la salud del ecosistema y promueven

prácticas agrícolas más amigables con el medio ambiente (Feijóo Galarza, J. A., y Cervantes Álava, A., 2014). Además, al reducir la dependencia de productos químicos sintéticos, se disminuye la contaminación del agua y se protege a los trabajadores agrícolas de la exposición a sustancias potencialmente dañinas (Ruiz, V. M., Castillo, E. N. N., & Bustamante, J. R. D., 2024)

La roya del café, provocada por el hongo (*Hemileia vastatrix*), se desarrolla en las hojas de las plantas de café bajo condiciones ambientales favorables de alta humedad y temperatura (de Melo Virginio Filho, E., y Astorga Domian, C., 2015). Esta patología fue reportada inicialmente en 1869 en Asia, en ese mismo año, Miles Joseph Berkely, un micólogo británico, identificó y describió el hongo causante de la enfermedad, asignándole el nombre científico *Hemileia vastatrix*. En Centroamérica, la alta susceptibilidad del café a la roya se debe a la falta de prácticas adecuadas de manejo técnico-agronómico y a la limitada renovación de variedades genéticamente resistentes al patógeno, para el país de Honduras que alcanzó su nivel más alto de producción cafetalera en el ciclo 2011-2012, se registró una contracción del 23% en el rendimiento durante el ciclo 2012-2013 debido a la rápida proliferación de la enfermedad ((Guillermo, C. B., y García, A, 2010).

Durante el ciclo 2012–2013, Honduras sufrió una de las epidemias más severas de roya del café (*Hemileia vastatrix*), lo que provocó la pérdida de aproximadamente el 30% de la producción nacional (Torres Mejía, y Maradiaga Pérez, 2023). Esta crisis según Quiroga-Cardona (2021) fue impulsada por una combinación de factores, entre ellos condiciones climáticas favorables para el desarrollo del hongo (alta humedad y temperaturas elevadas), el envejecimiento de los cafetales, el uso predominante de variedades susceptibles y prácticas de manejo fitosanitario inadecuadas. En respuesta, se promovieron campañas de renovación de plantaciones, capacitaciones técnicas y la adopción de variedades con mayor tolerancia a la enfermedad, como parte de las acciones para recuperar la productividad del sector cafetalero.

En 2019 la pandemia del COVID-2019, también llamada coronavirus impactó significativamente la producción de café debido a la dependencia de mano de obra para la recolección

de las bayas donde las mujeres son las predominantes en la recolección de este fruto (Correa, 2024). Las restricciones implementadas por las autoridades sanitarias internacionales limitaron la movilidad de los trabajadores agrícolas, lo que dificultó la cosecha en los períodos óptimos. Esto resultó en retrasos, pérdida de calidad en los frutos y una reducción en el rendimiento general del cultivo, afectando tanto la oferta global como la estabilidad económica de las regiones productoras (Carreras Ribot, 2021).

Los tratamientos biológicos constituyen una alternativa sostenible para la prevención y el control de la roya del café. El uso de diversos hongos con capacidad para inhibir el desarrollo de otros hongos ha demostrado ser efectivo como fungicida para esta enfermedad. El *Trichoderma* y el *Lecanicillium*, en particular, han mostrado un alto potencial de control, como lo señala Bartra Lescano (2017), en su tesis de grado.

Ante este contexto, el uso de métodos de control biológico se ha convertido en una alternativa prometedora para la gestión de enfermedades en cultivos agrícolas (Velez, A. et al., 1997). Específicamente, microorganismos como *Lecanicillium Lecanii*, *Trichoderma sp.* y *Bacillus Subtilis* han mostrados resultados positivos en la inhibición de patógenos y mejora de la salud del cultivo (Correal, 2018). Según Alomía-Lucero y et al (2022), *Lecanicillium Lecanii* es un hongo entomopatógeno que actúa como controlador biológico eficaz, mientras que *Trichoderma sp.* y *Bacillus Subtilis* son conocidos por sus capacidades de antagonismo contra hongos fitopatógenos, además de promover el crecimiento de las plantas y fortalecer la resistencia sistémica.

La roya del café (*Hemileia vastatrix*) es una amenaza significativa para la producción cafetera, tradicionalmente combatida con fungicidas químicos que pueden ser perjudiciales para el ambiente y la salud. La presente investigación se justifica en función de las significativas pérdidas económicas que enfrenta el sector cafetalero debido a la incidencia de *Hemileia vastatrix*, agente causal de la roya del café. Si bien la introducción de variedades resistentes ha sido una estrategia común para mitigar el impacto de esta enfermedad, dicha práctica conlleva una reducción en el rendimiento productivo, lo

que compromete la rentabilidad del cultivo, esta investigación se enfocó en evaluar la efectividad de tres fungicidas biológicos en el control de la roya en campo, además de realizar una revisión en el laboratorio de los tratamientos aplicados, y así ofrecer una alternativa sostenible para el manejo de la enfermedad. Además, se tomaron en cuenta los siguientes objetivos específicos: 1) Evaluar la eficiencia de tres fungicidas biológicos en la reducción de la incidencia y severidad de *Hemileia vastatrix* en plantas, frente a un control químico, en condiciones normales de campo y; 2) Evaluar la capacidad de persistencia en laboratorio de tres biocontroladores aplicados en campo (*Lecanicillium*, *Trichoderma* y *Bacillus*), mediante su recuperación desde tejido foliar tratado.

Materiales y Métodos

Evaluación en Campo de la Eficacia de los Fungicidas Biológicos

Ubicación del Estudio y Condiciones Agroclimáticas

Este estudio se realizó en el lote de café ubicado al lado del Departamento de Curriculum General de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano ubicada en el Valle de Yegüare, municipio de San Antonio de Oriente, departamento Francisco Morazán, a 32 km de Tegucigalpa, Honduras. La unidad experimental tiene una altura de 800 msnm y una temperatura promedio de 26 °C (Figura 1). La variedad de café seleccionada para el ensayo fue Catuaí, esto debido a que es una de las variedades más susceptible al hongo de *Hemileia vastatrix*.

Figura 1

Localización de la parcela experimental para la aplicación de tratamientos en campo, Zamorano, Honduras



Para cumplir con los objetivos establecidos en el presente estudio, se implementó una metodología estructurada y sistemática, la cual se detalla en la Figura 2. Esta metodología abarca desde la preparación de los tratamientos biológicos hasta la aplicación en campo, así como el monitoreo y evaluación de la incidencia y severidad de la roya del café, garantizando así un análisis confiable de los resultados obtenidos.

Figura 2

Diagrama secuencial de la metodología empleada en la evaluación de tratamientos para el control de Hemileia vastatrix

***Diseño Experimental y Distribución de Tratamientos***

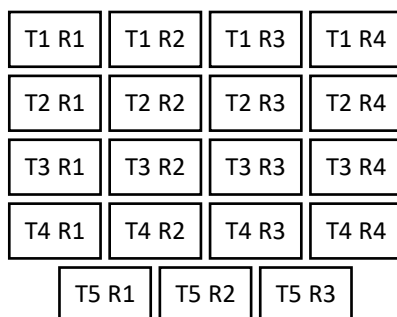
Para esta sección de la investigación se utilizó el diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA), esto debido que es uno de los métodos más utilizados en el ámbito de la agricultura donde muchos de los factores no pueden ser controlados, los cuatro bloques están compuestos por cuatro unidades experimentales, para un total de 16 unidades experimentales. Cada unidad experimental está conformada por 25 plantas, estas se encontraban distribuidas de manera uniforme en cada bloque. Se diseñó un distanciamiento de al menos dos surcos de distancia en cada tratamiento esto con la idea de minimizar la posibilidad de contaminación cruzada entre tratamientos.

En la Figura 3 se ilustra la disposición de las unidades experimentales tratadas, mostrando de manera detallada la asignación de cada tratamiento según el diseño experimental, siendo T1 tratamiento uno respectivamente y R1 su respectiva repetición.

Figura 3

Distribución espacial de los tratamientos en campo según el diseño de completos al azar (BCA),

Zamorano, Honduras, 2024



Descripción de Tratamientos Biológicos y Control Químico

En el Cuadro 1 se presentan las dosis utilizadas por tratamiento. El primer tratamiento consistió en la combinación de *Trichoderma*, spp con *Bacillus Subtilis*; el segundo es *Trichoderma* sp. y *Lecanicillium Lecanii*; el tercero *Lecanicillium Lecanii* más *Bacillus Subtilis*, todos estos tratamientos fueron preparados en el Laboratorio de Control Biológico de la Universidad Zamorano, el cuarto tratamiento es un producto químico con su nombre comercial Opera® que fue adquirido en un establecimiento comercial, el Opera® está compuesto por dos ingredientes activos: Pyraclostrobin, que interfiere con la respiración mitocondrial del hongo patógeno, y Epoxiconazole, que inhibe su crecimiento. El tratamiento testigo sin ningún tipo de aplicación, para fines comparativos.

Cuadro 1

Descripción de los tratamientos biocontroladores y agente químico para la reducción de la roya del café (Hemileia vastatrix), incluyendo concentraciones y dosis aplicadas

Tratamiento	Concentración	Dosis por Hectárea
<i>Trichoderma Harzianum</i> y <i>Bacillus Subtilis</i>	3.1×10^{11} esporas/ml 1×10^6 esporas/ml	240 gr de <i>Trichoderma</i> y 2 L de <i>Bacillus Sub.</i> /ha
<i>Trichoderma Harzianum</i> y <i>Lecanicillium Lecanii</i>	3.1×10^{11} esporas/ml 1.7×10^7 esporas/ml	240 gr de <i>Trichoderma</i> y 240 gr de <i>Lecanicillium L.</i> /ha
<i>Lecanicillium Lecanii</i> y <i>Bacillus Subtilis</i>	1.7×10^7 esporas/ml 1×10^6 esporas/ml	240 gr de <i>Lecanicillium L.</i> y 2 L <i>Bacillus Sub</i> /ha
Opera® (Pyraclostrobin y Epoxiconazole)		500 ml /ha
Testigo	S/A	S/A

Aplicación de Tratamientos

Se llevaron a cabo tres aplicaciones con intervalos de 7 días, empleando una bomba de mochila equipada con una boquilla de aspersión, lo que permitió un riego preciso y uniforme. Cada tratamiento fue cuidadosamente preparado en el laboratorio (ver Anexo B y C), la mezcla se realizó en el campo con un balde con agua, al que se le añadió el adherente INEX-A comprado en una casa comercial cercana, en una dosis de 1 cc/L, asegurando una mejor adherencia del producto. Las aplicaciones se enfocaron principalmente en el envés de las hojas donde la enfermedad se encuentra en mayor severidad.

Toma de Datos

Se seleccionó aleatoriamente una repetición por tratamiento. Para evitar el efecto de borde, se eligieron 10 plantas ubicadas en la parte central de cada repetición. La evaluación de la severidad de la roya se centró en hojas del tercio medio de cada planta (Anexo A), una zona fisiológicamente activa y sensible al ataque del patógeno. Además, se usó la misma metodología para la toma de muestras que fueron analizadas en el laboratorio.

Variables Medidas

Incidencia.

La incidencia de la roya del café se refiere al porcentaje de plantas de café afectadas por el hongo *Hemileia vastatrix* dentro de una parcela o área específica. Esta medida es crucial para evaluar el grado de propagación de la enfermedad. Para determinar la presencia de la enfermedad dentro del ensayo, mediante la Ecuación 1, se calculó la proporción de hojas con roya por planta, en relación con el total de hojas muestreadas por planta, y este valor se expresa en porcentaje.

$$\% \text{ Incidencia} = \frac{X}{N} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

X = Número de hojas con presencia de roya.

N = Número de hojas totales muestreadas.

Severidad.

La severidad es una medida cuantitativa obtenida mediante evaluación visual, como se observa en el Cuadro 2 que refleja el grado de infección de un patógeno en una planta específica. Este valor se refiere al porcentaje del área foliar afectada por el patógeno en las hojas de café, indicando la extensión de la lesión o daño causado por la enfermedad en el tejido vegetal.

Cuadro 2

Escala visual utilizada para determinar el grado de severidad de la roya del café en evaluaciones de campo Guerra, J. O., y Welchez, J. A. (2013)

Grado	Severidad
0	Hoja sana, no presenta síntomas visibles
1	Presenta síntomas de 1 a 5% del área foliar
2	Presenta manchas que cubren del 6 a 20% del área foliar
3	Presenta síntomas de necrosis y afecta de 21 a 50% del área foliar
4	Presenta daños superiores al 50%

Para la presentación de los datos obtenidos, se aplicó un modelo estadístico de área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE). Esta metodología se fundamenta en la integración de la progresión temporal de la severidad de la enfermedad, siendo particularmente adecuada para el análisis de patologías que exhiben un desarrollo progresivo a lo largo del tiempo. El ABCPE permite una representación cuantitativa del avance de la enfermedad, facilitando la comparación entre tratamientos o condiciones experimentales.

Análisis Estadístico

Previo al análisis de varianza, se evaluó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk, con el fin de determinar si era procedente aplicar un modelo paramétrico. Una vez comprobado el supuesto de normalidad, se realizó un análisis de varianza utilizando el modelo lineal general (GLM) para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

Para la comparación de medias se aplicó la prueba de rangos múltiples de Duncan, con un nivel de significancia de $\alpha \leq 0.05$, mediante “el software” SAS® (“Statistical Analysis System” por sus siglas en inglés). Este análisis permitió identificar con precisión la influencia de los tratamientos sobre las variables evaluadas.

Evaluación del Comportamiento y Persistencia de los tres Biocontroladores

Toma de Muestras

A los 30 días después de la aplicación se recolectaron seis hojas del tercio medio de cada planta tratada en los tres tratamientos con biocontroladores, las cuales fueron trasladadas cada hoja por separada en una bolsa plástica “Ziploc” de la marca SC Johnson® y llevadas al Laboratorio de Control Biológico del Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria para su análisis posterior.

Inoculación en el Laboratorio

La inoculación se llevó a cabo mediante dos metodologías distintas. El primer método, denominado raspado, consistió en extraer esporas de *Hemileia vastatrix* directamente de las hojas y distribuir las en el medio de cultivo en un patrón en zigzag para favorecer su crecimiento (Tenelema Tenelema, 2024). El segundo método implicó la colocación directa de un fragmento foliar infectado, conteniendo esporas viables, sobre la superficie del agar para propiciar su desarrollo fúngico, luego de esto se colocaron en la incubadora por 7 días a una temperatura de 21 °C para su posterior evaluación.

Variables Medidas

Se evaluó el crecimiento de los biocontroladores bajo medios de cultivos como Agar Dextrosa Papa (DAP) y revisadas bajo el microscopio con dos repeticiones por tratamiento. Esto con el fin de recuperar el agente aplicado en los tratamientos en condiciones controladas a los 30 días después de su aplicación.

Análisis de Resultados

Se evaluó la persistencia de los agentes biológicos bajo condiciones controladas mediante observaciones microscópicas a lo largo del tiempo. Además, se registró el crecimiento activo de los biocontroladores en las placas Petri, evidenciando su capacidad de colonización. En la mayoría de las repeticiones se documentó la presencia o ausencia del tratamiento aplicado por medio de fotografías, lo cual permitió confirmar su establecimiento en el medio de cultivo. Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Resultados y Discusión

Resultados de la Evaluación de Campo de la Eficacia de Fungicidas Biológicos

Evaluación de los Tratamientos Biológicos

Con el propósito de evaluar la eficacia de los tratamientos biológicos aplicados sobre la incidencia de *Hemileia vastatrix*, se recopilaron y sistematizaron los datos obtenidos durante la fase experimental, considerando variables fitopatológicas clave como la incidencia y severidad de la enfermedad en el follaje del cafeto. Los datos fueron organizados en cuadros comparativos que permiten observar de manera clara el comportamiento de cada uno de los tratamientos en función del tiempo, bajo condiciones controladas de evaluación.

Se estimaron los promedios correspondientes a cada tratamiento y, posteriormente, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con el fin de evaluar si las diferencias observadas entre ellos. Asimismo, se aplicó la prueba de rango múltiple de Duncan al 5% de significancia, con el fin de identificar los tratamientos que presentaron mayor efectividad en la reducción de los síntomas de la roya. A continuación, se describen los cuadros que resumen los resultados obtenidos en cada uno de los tratamientos evaluados.

En el Cuadro 3 muestra que todos los tratamientos aplicados lograron reducir la incidencia de *Hemileia vastatrix* en comparación con el testigo, siendo las combinaciones biológicas de *Trichoderma* + *Bacillus* (23.0%), *Trichoderma* + *Lecanicillium* (24.6%) y *Lecanicillium* + *Bacillus* (24.8%) las más efectivas al día 30 después de la aplicación. Estos resultados evidencian una reducción sustancial en la incidencia de la enfermedad en comparación con el testigo (74.2%) y el tratamiento químico Opera (27.5%). La efectividad de los biocontroladores se hizo particularmente evidente a partir del día 21, momento en el cual se registraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.0001$). Los resultados obtenidos evidencian que el uso combinado de agentes biocontroladores proporciona un control eficaz y sostenido de la incidencia de la roya del café, constituyéndose en una alternativa viable y ambientalmente sostenible frente a los tratamientos convencionales. Esta afirmación es respaldada

por (Sanches, Lucio et al., 2024), quienes destacan la efectividad de los agentes biológicos en el manejo integrado de enfermedades foliares en plantaciones de café.

Al comparar el tratamiento biológico que combina *Trichoderma* spp. y *Bacillus subtilis* con el testigo al día 30 de evaluación, se observó una reducción del 50 % en la incidencia de la roya del café. Inicialmente, las hojas presentaban manchas anaranjadas intensas características de la enfermedad, pero con el transcurso del tiempo se evidenció una disminución progresiva de estos síntomas tornándose de un color menos intenso. Este resultado refleja la capacidad sinérgica de ambos microorganismos para limitar la propagación de (*Hemileia vastatrix*), superando significativamente la eficacia del testigo y demostrando su potencial como estrategia de manejo sostenible en cafetales.

Cuadro 3

Incidencia progresiva de Hemileia vastatrix en café de la variedad Catuai expresado en porcentaje, evaluada a lo largo de 30 días después de la aplicación en Zamorano, Honduras, 2024

Tratamientos	Días después de aplicación (DDA)				
	0	7	15	21	30
<i>Trichoderma</i> + <i>Bacillus</i>	91.9	92.1	75.6	58.8 b	23.0 b
<i>Trichoderma</i> + <i>Lecanicillium</i>	90.7	89.9	73.9	56.9 b	24.6 b
<i>Lecanicillium</i> + <i>Bacillus</i>	91.0	91.1	74.2	57.7 b	24.8 b
Opera® (Pyraclostrobin y Epoconazole)	90.6	90.6	74.1	57.4 b	27.5 b
Testigo	91.3	91.5	73.9	67.1 a	74.2 a
Probabilidad	0.71	0.67	0.82	0.001	<. 0001
R2	0.44	0.45	0.42	0.62	0.79
CV	7.98	7.80	16.4	13.15	43.8

Nota. Valores ab representan diferencias significativas entre tratamientos según la prueba DUNCAN ($p < 0.05$). CV = coeficiente de variación. R2 = ajuste al modelo estadístico

Durante los primeros 7 días posteriores a la aplicación de los tratamientos no se detectaron diferencias significativas en la incidencia de *Hemileia vastatrix*. Este comportamiento puede atribuirse al período de adaptación y establecimiento que requieren los agentes de control biológico para

colonizar el sustrato foliar y comenzar a manifestar su efecto antagonista sobre el patógeno. Sin embargo, a los 21 y 30 días después de la aplicación (DDA), entre los tratamientos como tales no se evidencia ninguna diferencia estadística a excepción del tratamiento testigo.

Resultados similares fueron reportados por (Chambe-Mamani, E. S., Apaza-Apaza, S., y Aguilar-Anccota, R, 2021), en Perú, quienes evaluaron distintas concentraciones de cepas del hongo *Trichoderma*, logrando una reducción aproximada del 55% en la incidencia de roya del café, tras cinco aplicaciones en campo. Estos hallazgos guardan estrecha relación con los obtenidos en el presente estudio, donde se logró una disminución del 66% en el tratamiento de *Trichoderma* y *Lecanicillium*, en la incidencia de la enfermedad, empleando únicamente tres aplicaciones con intervalos de 7 días.

Los resultados obtenidos indican que la combinación de *Lecanicillium Lecanii* y *Trichoderma* sp. actuó de manera sinérgica, logrando una notable eficacia en la reducción de *Hemileia vastatrix*, al disminuir la incidencia de la enfermedad del 90 al 23%, lo que representa una reducción del 67% siendo significativamente diferente al tratamiento testigo que se mantuvo en niveles altos de incidencia con un 74% para el día 30, se observó una reducción en el testigo sin embargo, es una respuesta natural de la planta, al dejar caer las hojas que presentan altos grados de necrosis. Este efecto se observó bajo condiciones climáticas relativamente estables con una temperatura promedio de 27 a 31 °C, sin anomalías significativas durante el periodo de evaluación. De forma similar, un estudio desarrollado en Nayarit, México, por Sanches, Lucio et al (2024), demostró que la aplicación de *Lecanicillium* fue clave en la reducción de la incidencia de la roya del café, con diferencias significativamente mayores respecto al tratamiento testigo. Sin embargo, los autores señalan que su eficacia estuvo condicionada por diferentes factores abióticos, tales como la humedad relativa, la temperatura, la respuesta de la planta a los tratamientos y otros que están más relacionados a las propiedades físicas del suelo.

El Cuadro 4 muestra que los tratamientos biológicos combinados (*Trichoderma* + *Bacillus*, *Lecanicillium* + *Bacillus* y *Trichoderma* + *Lecanicillium*) redujeron significativamente la severidad de la

roya del café, a partir del día 15 tras la aplicación, con diferencias estadísticas marcadas ($p < 0.05$). Al día 30, estos tratamientos registraron los niveles más bajos de severidad (≤ 1.0), evidenciando una alta eficacia en el control de *Hemileia vastatrix* y superando incluso al tratamiento químico Opera® y al testigo. Estos hallazgos respaldan el uso de agentes biológicos como herramientas clave dentro de programas de manejo integrado, alineándose con lo reportado por Cosinga Eslava (2021).

Además, en el tratamiento *Trichoderma* y *Bacillus* la severidad de la roya del café pasó de 2.6 a 0.7, casi cuatro veces menos respecto a los datos obtenidos al inicio del experimento. Por otro lado, si usamos los tratamientos biológicos para controlar la roya del café vamos a obtener un mejor efecto específicamente en un grado de severidad de diferencia. El testigo tuvo una leve disminución, sin embargo, esto se debe a una respuesta natural de la planta (León, Gomez, 2016).

Cuadro 4

Índice de severidad de la roya del café en la variedad Catuai frente a diferentes tratamientos, evaluado durante 30 días posteriores a la aplicación en Zamorano, Honduras, 2024

Tratamientos	Días después de aplicación (DDA)				
	0	7	15	21	30
<i>Trichoderma</i> + <i>Bacillus</i>	2.6	2.2 ba	1.7 bc	1.2 c	0.7 c
<i>Trichoderma</i> + <i>Lecanicillium</i>	2.5	2.2 ba	1.7 bc	1.5 bc	1.0 c
<i>Lecanicillium</i> + <i>Bacillus</i>	2.6	2.0 b	1.5 c	1.1 d	0.9 c
Opera® (Pyraclostrobin y Epoconazole)	2.6	2.3 ba	2.0 b	1.7 b	1.6 b
Testigo	2.8	2.6 a	2.4 a	2.3 a	2.1 a
Probabilidad	0.54	0.62	0.0082	0.0010	0.0099
R2	0.46	0.45	0.59	0.63	0.59
CV	40.4	46.1	44.60	42.48	69.59

Nota. Valores con diferente letra (abc). Representa diferencias significativas entre tratamientos según la prueba DUNCAN ($p < 0.05$).

CV = coeficiente de variación. R2 = ajuste al modelo estadístico

El estudio realizado por Ramírez et al (2020), en México demostró que la bacteria *Bacillus* representa una alternativa viable para el control biológico de la roya del café, al reducir la severidad

de la enfermedad en el follaje del cafeto. Además, al combinarse con el hongo *Trichoderma harzianum*, no solo se potenció la inhibición del patógeno, sino que también se observó una mejora en la absorción de nutrientes por parte de la planta. En el presente estudio, esta combinación mostró un efecto sinérgico significativo, reduciendo la severidad de la roya de 2.6 a 0.7 en la escala utilizada una disminución de 1.9 (Cuadro 2). La principal diferencia entre ambos estudios radica en la forma de aplicación conjunta de los tratamientos y en las condiciones edafoclimáticas de las localidades donde se llevaron a cabo las investigaciones.

La reducción en la severidad de la roya del café mostró un comportamiento progresivo a lo largo del tiempo, lo cual puede atribuirse al uso de organismos vivos que requieren un periodo de adaptación y colonización en el tejido foliar del cafeto. Esta dinámica explica por qué las diferencias significativas en la severidad se observaron a partir de los 21 días posteriores a la aplicación. Este patrón también fue reportado por (Guerra, J. O., y Welchez, J. A., 2013), quienes, al evaluar cuatro tratamientos a base de fungicidas biológicos, entre ellos el hongo *Trichoderma* y la bacteria *Bacillus* para el control de *Hemileia vastatrix*, encontraron diferencias estadísticamente significativas en la reducción de la enfermedad hasta los 36 días después de la aplicación.

El estudio realizado en Guatemala por Guiz (2015), demostró resultados alentadores con el uso de *Bacillus Subtilis* a distintas concentraciones, destacándose la dosis de 9×10^{13} por su alta efectividad en la reducción de la roya del café. Los resultados obtenidos en esta investigación fueron similares, destacándose el tratamiento *Trichoderma* + *Bacillus* como el más efectivo para reducir la enfermedad. Sin embargo, a diferencia del estudio citado, aquí se utilizó una concentración mucho menor de la bacteria *Bacillus* 1×10^6 , lo que resalta aún más la eficiencia de esta combinación en el control de *Hemileia vastatrix*.

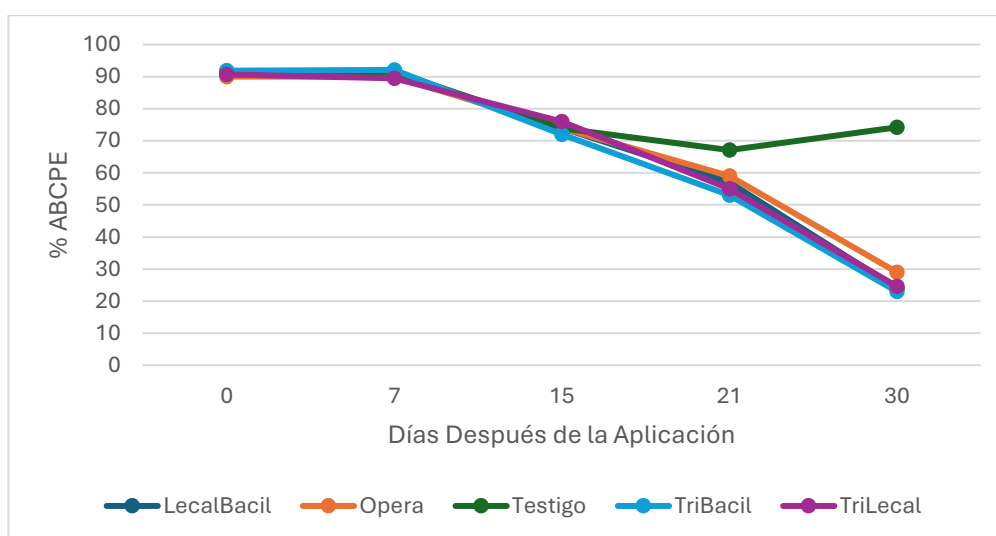
El coeficiente de variación observado es relativamente alto, ya que existen múltiples factores abióticos en el área de estudio que no pueden ser controlados, como la temperatura, la humedad y la incidencia de radiación solar, los cuales afectan directamente tanto al desarrollo de la roya como a la

actividad de los biocontroladores. Además, las propias plantas de café presentan diferentes respuestas fisiológicas y morfológicas a los tratamientos aplicados, lo cual coincide con lo expuesto por Pérez et al (2000), quien señala que esta variabilidad es inherente a las condiciones de campo y a la interacción entre los organismos utilizados en el control biológico y el hospedero.

En la Figura 3 se observa una disminución progresiva en la incidencia de la roya del café en todos los tratamientos aplicados, en contraste con el testigo, que mantiene e incluso incrementa su incidencia en el día 30. Los tratamientos con *Trichoderma + Bacillus*, *Trichoderma + Lecanicillium* y *Lecanicillium + Bacillus* mostraron un comportamiento muy similar, con reducciones sustanciales a partir del día 15, siendo *Trichoderma + Bacillus* el más efectivo al alcanzar solo un 23% de incidencia al final del período. El fungicida Opera® también logró una disminución notable, aunque fue ligeramente menos eficaz que los tratamientos biológicos combinados. El testigo, sin aplicación de tratamiento, mantuvo niveles elevados de incidencia, lo que confirma el avance natural de la enfermedad en ausencia de control.

Figura 3

Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por Hemileia vastatrix, después de ser aplicados con los tratamientos biológicos



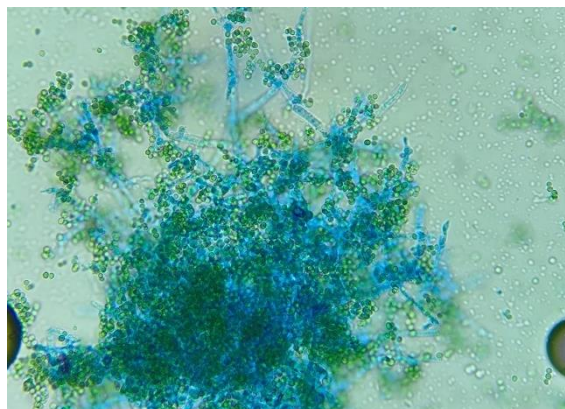
Resultados de la Valuación del Comportamiento y Persistencia de los tres Biocontroladores

Comportamiento de los Agentes Biocontroladores a Través del Tiempo

En la Figura 4 muestra la recuperación de *Trichoderma* a partir del tejido vegetal, lo cual fue determinante para confirmar su establecimiento en la planta y validar su función activa en la reducción de la incidencia de *Hemileia vastatrix*. Este hallazgo evidencia su capacidad de colonización y persistencia bajo condiciones de campo 30 días después de su aplicación, lo que refuerza su eficacia como agente de biocontrol y su potencial dentro de estrategias sostenibles para el manejo de la roya del café.

Figura 4

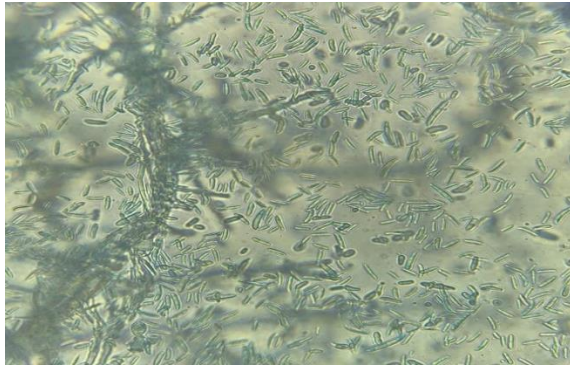
Recuperación del hongo Trichoderma spp. a partir de tejido foliar de cafeto, evaluado en condiciones de laboratorio, 30 días después de la aplicación



La Figura 5 mostró la recuperación de *Lecanicillium Lecanii* a los 30 días posteriores a la última aplicación, lo que confirmó su persistencia y capacidad de adaptación al tejido foliar del cafeto. Este hallazgo evidenció una colonización efectiva, lo que reforzó su acción como agente de biocontrol con efecto residual frente a *Hemileia vastatrix* y resaltó su potencial para ser incorporado en estrategias sostenibles de manejo fitosanitario en campo.

Figura 5

Recuperación del hongo Lecanicillium Lecanii. a partir de tejido foliar de cafeto, evaluado en condiciones de laboratorio, 30 días después de la aplicación



Dado que la bacteria *Bacillus Subtilis* puede resultar difícil de observar directamente al microscopio sin una tinción específica, su identificación se realizó a través del patrón de crecimiento en placa Petri. En la Figura 6, se observó una colonia ubicada en el centro de la placa, con bordes irregulares y una expansión uniforme, rasgo característico de esta especie, esto a los 30 días después de su aplicación. Además, se evidenció una zona de inhibición alrededor de la colonia, en la cual no crecieron otros hongos ni bacterias, lo que indicó la producción de compuestos antimicrobianos por parte de *Bacillus Subtilis*. Esta capacidad de inhibir el desarrollo de microorganismos competidores respaldó su uso como agente de control biológico.

Figura 6

Recuperación de la bacteria Bacillus Subtilis, a partir de tejido foliar de cafeto, evaluado en condiciones de laboratorio, 30 días después de la aplicación



En el Cuadro 5 se observa la persistencia de los distintos tratamientos evaluados a los 30 días después de la aplicación, lo cual confirma que los hongos biocontroladores permanecieron activos durante este periodo. La recuperación de los microorganismos aplicados sugiere que estos lograron establecerse adecuadamente en el tejido foliar del cafeto, lo que resulta clave para ejercer un efecto prolongado sobre el patógeno.

Cuadro 5

Persistencia de los biocontroladores a los 30 días en los tratamientos evaluados

Condición	Presencia	Ausencia
T1 (<i>Trichoderma Harzianum</i> y <i>Bacillus Subtilis</i>)	Presencia	
T2 (<i>Trichoderma Harzianum</i> y <i>Lecanicillium Lecanii</i>)	Presencia	
T3 (<i>Lecanicillium Lecanii</i> y <i>Bacillus Subtilis</i>)	Presencia	

Conclusiones

Los tres fungicidas biológicos (*Trichoderma*, *Lecanicillium* y *Bacillus*) evaluados en un periodo de 30 días donde se redujo la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en una escala de 2.6 a 1 respectivamente. Por otro lado, la incidencia de la enfermedad disminuyó de 90 a 25% es decir, un 65% para los controladores biológicos. Los tratamientos biológicos fueron estadísticamente diferentes al testigo que tuvo 74% de incidencia y 1.6 de severidad respectivamente.

A los 30 días después de aplicación se logró recuperar e identificar los hongos y la bacteria correspondiente a cada tratamiento, lo que confirma que *Trichoderma* spp., *Lecanicillium lecanii* y *Bacillus subtilis* mantuvieron su actividad sobre el tejido foliar del café durante dicho periodo. Además, se observó que el crecimiento y la colonización de *Trichoderma* en las placas Petri fueron considerablemente más rápidos en comparación con los demás biocontroladores evaluados, lo que evidencia su alta capacidad de adaptación y establecimiento.

Recomendaciones

Realizar evaluaciones individuales por tratamiento, con el fin de determinar el efecto específico de cada agente de control biológico de forma aislada, permitiendo identificar su eficacia particular frente a *Hemileia vastatrix*. Estas evaluaciones facilitan el análisis comparativo entre tratamientos y posibilita la selección de los biocontroladores más eficientes.

Implementar el experimento en una finca en etapa de producción comercial, con el propósito de validar la eficacia de los tratamientos biológicos en un entorno agrícola real. Esto permitirá observar su desempeño bajo condiciones prácticas de manejo, exposición ambiental y presión natural del patógeno.

Realizar un estudio comparativo de factibilidad económica entre el uso de *Trichoderma spp.* y *Bacillus Subtilis* frente a un tratamiento químico convencional. El análisis debe considerar los niveles de control fitosanitario alcanzados, los costos de aplicación y los beneficios productivos, con el fin de determinar la viabilidad económica de los biocontroladores.

Repetir el experimento durante los meses de mayo a septiembre en zonas aledañas de Zamorano, debido a que en este período es donde la roya del café suele comenzar a manifestarse.

Referencias

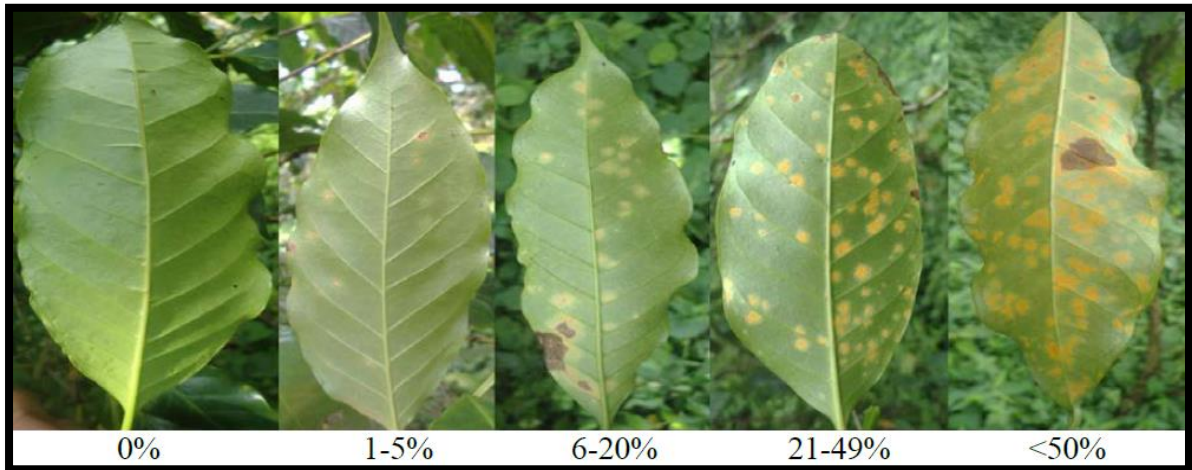
- Aguilar, C. M., y Martínez, K. B. (2025). Plan estratégico para fortalecer las competencias comerciales de las mujeres productoras de café del occidente de Honduras, 2024 (Tesis). Unitec, Honduras. Recuperado de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.unitec.edu/server](https://repositorio.unitec.edu/server/extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/)
- Alomía-Lucero, J. M. y et, a. (2022). Dinámica de *Lecanicillium lecanii* en el control biológico natural de *Hemileia vastatrix* en café arábico variedad Castilla en Satipo. *Revista Investigación Agraria*, 4.3, 18–26. Recuperado de <http://doi.org/10.47840/RelnA.4.3.1521>
- Bartra Lescano, A. H. (2017). Efecto de control del *Trichoderma harzianum* Rifai Y fungicidas en el control de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. en el Distrito de Hermilio Valdizán–Huánuco. (Tesis). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.
- Carreras Ribot, M. (2021). Análisis y optimización del negocio Urban Café tras el impacto de la Covid-19. (Doctoral dissertation). Universitat Politècnica de Catalunya, España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/353433>
- Chambe-Mamani, E. S., Apaza-Apaza, S., y Aguilar-Ancocota, R. (2021). Control biológico (*trichoderma* spp.) y químico de roya amarilla (*hemileia vastatrix* berk & br.) del cafeto (*coffea arabica* l.) en la provincia de Sandia-Puno. *Polo del Conocimiento*, 6(2).
- Correa, L. F. (2024). Una perspectiva de género en el manejo de la roya en comunidades cafetaleras de Honduras (Doctoral dissertation). Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/items/89143d59-3580-4719-9e45-ae973fd9149c>
- Cosinga Eslava, R. (2021). Efecto de *Bacillus subtilis*, *Lecanicillium lecanii* y *Trichoderma* spp., en control de *Hemileia vastatrix* en *Coffea arabica* en Pangoa (Tesis). Escuela Profesional de Agronomía Tropical, Lima, Perú. Recuperado de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7648/T010_48078839_T.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7648/T010_48078839_T.pdf?sequence=1)
- De Melo Virginio Filho, E., y Astorga Domian, C. (2015). *Prevención y control de la roya del café. Manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores*. Costa Rica.
- Feijóo Galarza, J. A., y Cervantes Álava, A. (2014). Los fungicidas sistémicos en la prevención y control de la roya del cafeto *hemileia vastatrix* berk. & br en el cantón Piñas provincia de El Oro. (Tesis). Universidad Técnica de Machala, Ecuador. Recuperado de <https://agris.fao.org/search/en/providers/124698/records/669e7aa100eb85b7d72b90fe>
- Gain. (2018). *Honduras: Coffee Annual*.
- Gaitán, D. L. (1998). Estudio de factibilidad para un Sistema de producción de Café con beneficio húmedo ecológico en Honduras (Proyecto Especial de Graduación). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Guerra, J. O., y Welchez, J. A. (2013). Evaluación de la efectividad de cuatro fungicidas biológicos en el control del hongo de la roya de café *Hemileia vastatrix* (Doctoral dissertation). Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.
- Guillermo, C. B., y García, A. (2010). PROMECAFE: Acciones y logros 2000-2010. *Repositorio de Conocimiento Institucional*,

- Quiz, Fuentes, S. R. (2015). Evaluación de bacillus subtilis para la roya de café (*Hemileia vastatrix*) en el cultivo de café (*Coffea arabica*). Diagnóstico y servicios, en Finca El Platanar y anexos, Acatenango, Chimaltenango, Guatemala, CA (Tesis). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2967/>
- Hernandez, M. A. (2020). *Explorando la Historia de la Producción de Café de Honduras*. Recuperado de <https://perfectdailygrind.com/es/2020/03/10/explorando-la-historia-de-la-produccion-de-cafe-de-honduras/>
- Hernández-Martínez, G., y Velázquez-Premio, T. (2016). Análisis integral sobre la roya del café y su control. *RINDERESU (Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable)*, 1(1). Recuperado de <http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/9>
- León, Gomez, R. (2016). El impacto de la roya de café en el sector cafetalero de América Central. *PROMECAFE*,
- Pérez, C, De La Fuente, L, Arias, A y Altier, N. (2000). Uso de *Pseudomonas Fluorescente* Nativas para el Control de Enfermedades de Implementación en *Lotus corniculatus* L. *Agrociencia*, 4(1).
- Pozo, V. F. (2006). Evaluación económica de estrategias de cobertura o “hedging” en las exportaciones de café de Honduras en el mercado de derivados de Estados Unidos (Proyecto Especial de Graduación). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Quiroga-Cardona, J. (2021). La resistencia incompleta del café a la roya: una revisión. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72208. <https://doi.org/10.38141/10778/72208>
- Ramírez-Rodríguez, R. F., Castañeda-Hidalgo, E., Celerino Robles, Santiago-Martínez, G. M., Pérez-León, M. I. y Lozano-Trejo, S. (2020). Efectividad de biofungicidas para el control de la roya en plántulas de café. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6).
- Roig, S. (2023). *Una breve historia del café*. Recuperado de https://historia.nationalgeographic.com.es/a/breve-historia-cafe_20279
- Ruiz, V. M., Castillo, E. N. N., & Bustamante, J. R. D. (2024). Microorganismos como agentes biológicos para el manejo de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk & Broome) (Tesis de Pregrado). La Calera, Madriz, Nicaragua. Recuperado de <https://revistasnicaragua.cnu.edu.ni/index.php/CALERA/article/download/8755/11628>
- Sabogal, H. (2021). *Cuando el café llegó a América*. Recuperado de https://www.elespectador.com/gastronomia-y-recetas/cuando-el-cafe-llego-a-america/#google_vignette
- Sanches, Lucio, R., Gonzales-Gaona, E., Padilla, Ramires, J. S., Gallegos, Robles, M. Á., Gonzales, Salas, U., Rafael, Gomez, J. y De Lira, Ramos, K. V. (2024). Efectividad de cepas de *Trichoderma* spp., y *Lecanicillium* spp., en el control de la roya (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) en el cultivo del café en Nayarit, México. *Biotecnia*, 26.
- Tenelema Tenelema, C. F. (2024). Identificación morfológica y molecular de una cepa nativa de *Trichoderma* spp. (Tesis de grado). Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador. Recuperado de [chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/bc615c98-4ed5-45f2-9edc-44b2bdd6dd65/content](https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/bc615c98-4ed5-45f2-9edc-44b2bdd6dd65/content)

- Torres, M. (2024). *Recorrido por algunas zonas productoras de café en Honduras*. Recuperado de <https://perfectdailygrind.com/es/2024/07/12/recorrido-zonas-productoras-cafe-honduras/>
- Torres Mejía, F., Torres Mejía, J. A. y Maradiaga Pérez, R. E. (2023). Análisis retrospectivo del impacto socioeconómico generado por la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en el departamento del Paraíso Honduras. *Nexo Revista Científica*, 36(04), 506–523. <https://doi.org/10.5377/nexo.v36i04.16755>
- Velez, A., P. E., Posada, F., F. J., Marin, M., M. P., Gonzales, G., M. T., Osorio, V. y Bustillo, P. (1997). Técnicas para el control de calidad de formulaciones de hongos entomopatógenos. *Digital repository of the National Coffee Research Centre - CENICAFE*, 17, 37. Recuperado de <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/709>

Anexos**Anexo A**

Rango de porcentaje de daño visible en la hoja para la toma de muestras en campo



Nota: Tomado de (Guerra, J. O., y Welchez, J. A., 2013)

Anexo B

Ilustración de elaboración de la dosis del biofungicida Lecanicillium Lecanii en el laboratorio



Anexo C

Ilustración de la dosificación y pesaje de Trichoderma harzianum previo a su formulación y aplicación en campo



Anexo D

Ilustración de acondicionamiento de placas Petri con muestras tratadas para observación en laboratorio

