

RS_TURNITIN_JULIÁN SANTOS_AGRO_002

por Kevin Clyde Julián Santos

Fecha de entrega: 09-jun-2023 10:28a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2112567977

Nombre del archivo: Tesis_original-Kevin_Clyde_Julian_Santos.pdf (1.24M)

Total de palabras: 14263

Total de caracteres: 71077

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en una parcela de café ubicado en la provincia de Chanchamayo, departamento de Junín, con el objetivo evaluar el efecto de control de *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome mediante la aplicación foliar de cuatro dosis de microorganismos eficientes de formulación comercial, Caldo bordelés y un fungicida sistémico. Los tratamientos evaluados fueron: T₁ (Testigo), T₂ (EM.1[®] al 1%), T₃ (EM.1[®] al 5%), T₄ (EM.1[®] al 10%), T₅ (EM.1[®] al 15%), T₆ (Caldo bordelés) y T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole). Cada dosis de los EM.1[®] se aplicaron en 12 momentos segmentados en tres frecuencias, el Caldo bordelés se aplicó en 3 momentos con un intervalo de 60 días, el fungicida sistémico se aplicó un total de 2 veces la primera aplicación fue 90 días después de la floración principal y la segunda 60 días después de la primera. Se empleó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro repeticiones. Cada parcela experimental constó de 42 plantas; de ellas se marcaron 2 ramas productivas en 6 plantas ubicadas en la parte central, se evaluó cada 14 días el número total de hojas, número de hojas sanas, enfermas con roya amarilla y al final el peso total de granos cosechados por parcela. Con los datos obtenidos se determinaron los porcentajes de incidencia, tasa de incidencia, área bajo la curva de progreso de la enfermedad y rendimiento de café pergamino por hectárea. Las cuatro dosis y tres frecuencias de aplicación de los microorganismos eficientes no son estadísticamente significativos a los tratamientos con caldo bordelés y fungicida (Pyraclostrobin + Epoxiconazole), no proporcionando control superior a estos tratamientos en la reducción de la incidencia promedio de la roya amarilla. Sin embargo, el tratamiento con aplicación de microorganismos eficientes a la dosis del 1% superó estadísticamente al testigo. El tratamiento con el fungicida (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) y Caldo bordelés presentaron las menores incidencias y tasa de infección (18%; 30% y 0,0019; 0,0008) de *Hemileia vastatrix* diferenciándose estadísticamente entre sí y con el resto de tratamientos. El testigo presentó la mayor incidencia (53%) y tasa de infección (0,0046) mientras que en los tratamientos con las cuatro dosis de EM.1[®] cuantificaron incidencias en un rango de 41 a 50% y tasa de infección en 0,0030 a 0,0037. No se obtuvieron diferencias estadísticas entre los tratamientos para el rendimiento de café pergamino por hectárea; sin embargo, el tratamiento con el fungicida (T₇) y Caldo bordelés (T₆) presentaron la mayor utilidad neta con S/. 1 410,25 y 1 177,05 en comparación al testigo (T₁) y EM.1 al 1% (T₂), tuvieron una utilidad neta de S/. 392,0 y 510,0 respectivamente.

Palabras clave: *Coffea arabica*, Evaluación, *Hemileia vastatrix*, Incidencia, Microorganismos eficientes.

I. INTRODUCCIÓN

En la selva peruana, la caficultura se ha convertido en una de las principales actividades agrícolas debido a su importancia económica (Díaz y Carmen, 2017). Se ha determinado en el Perú 425 400 hectáreas de café, repartidas en más de 223 mil unidades agropecuarias, ubicadas en 450 distritos de 95 provincias en 15 regiones. Aproximadamente dos millones de peruanos intervienen parcial o totalmente en la cadena productiva del café (CENEAGRO IV, 2012). En el 2012 aportó 1 030 millones de dólares (FOB) al PBI (MINAGRI, 2014).

En el Perú las variedades cultivadas de café son del tipo arábico, comúnmente considerados cafés de calidad. Las condiciones climáticas como la altitud favorecen el desarrollo de una producción cafetalera de alta calidad. Además, el manejo de la post cosecha del café es atendido rigurosamente, los cuales favorecen en las características físicas y sensoriales del grano de café (MINAGRI, 2014).

Los rendimientos obtenidos en la mayoría de las zonas productoras están por debajo del promedio mundial 12 - 15 qq/ha, esta baja productividad se debe entre otros a la escasa capacidad de gestión empresarial y limitada transferencia de tecnologías validadas para la producción convencional u orgánica; además, el manejo inadecuado del cultivo deriva en una alta incidencia de plagas y enfermedades que limitan la cantidad y calidad del grano de café.

En los tres últimos años, la enfermedad conocida como “roya amarilla” causada por el hongo *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome se ha convertido en una epidemia que ha causado la pérdida de más de 200 000 de las 425 000 hectáreas de cafetales instalados hasta el 2013. La mayor incidencia de esta enfermedad se ha visto en cafetales con escaso manejo agronómico en labores como: las podas, abonamiento, manejo de sombra, siembra de variedades susceptibles y escasa aplicación de productos de origen orgánico o sintético que contrarresten el efecto negativo de esta enfermedad (El Comercio, 2013).

El uso de los microorganismos eficientes en la agricultura tiene un gran impacto en la mejora del crecimiento y desarrollo de las plantas, además de mejorar la calidad del suelo. Los actinomicetos, bacterias y hongos al entrar en contacto con las plantas, secretan sustancias provechosas como ácidos orgánicos, antioxidantes, hormonas, minerales quelados, sustancias antibióticas y vitaminas, los cuales inhiben el desarrollo de enfermedades y promueven el desarrollo de las plantas. Sin embargo, no existe información documentada sobre su efecto de control enfermedades foliares cuando estos productos son aplicados a la parte aérea; por lo que, este trabajo planteó evaluar el control de la roya amarilla del café, con los siguientes objetivos:

1.1 Objetivos

- Evaluar el control de *Hemileia vastatrix* mediante la aplicación foliar de cuatro dosis de microorganismos eficientes de formulación comercial en la var. Caturra Roja bajo condiciones de campo en el anexo Yapaz Bajo, Chanchamayo.
- Evaluar el efecto comparativo de las aplicaciones de los microorganismos eficientes, caldo mineral y un fungicida sistémico en el control de *Hemileia vastatrix*.
- Realizar el análisis económico de los tratamientos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades de *Coffea arabica*

El café pertenece familia Rubiácea (Figuroa, 1990). Es originario de África (Etiopía, Guinea, Kenia, Sudán o Mozambique), donde se ha reportado que aún existen lugares donde las plantas se encuentran en un estado semi-silvestre, escabullidos bajo la sombra de los árboles, tierras situadas por encima de los 1 000 msnm de altitud (Aliaga y Bermúdez ,1984).

El café llegó al Perú en 1876, exactamente en el valle de Chanchamayo, donde se desarrolló comercialmente (Castañeda, 1997). Actualmente está distribuida por toda la selva, siendo unas de las principales actividades agrícolas. Además, al Perú se han introducido muchas variedades de café, con la finalidad de mejorar la productividad y buscar variedades más resistentes a las plagas y enfermedades.

2.1.1. Importancia del café en el Perú

La cafcultura se ha convertido en una de las principales actividades agrícolas en el Perú, debido a su importancia económica. El 91% de la producción se desarrolla en la selva, especialmente en las regiones de Amazonas, Cajamarca, Cuzco, Huánuco, Junín, Pasco y San Martín. Donde el 85% de los caficultores conducen entre 1 y 5 ha, y solo el 30% de ellos están asociados a las cooperativas. Pese a tener un alto valor económico, el rendimiento del cultivo de café ha ido disminuyendo, debido a la elevada incidencia de plagas y enfermedades y la escasa capacidad técnica de los productores. Además, la deforestación (para la introducción de nuevas áreas de cultivo) se ha convertido en una de las principales problemáticas para la sostenibilidad ambiental del café (Díaz y Carmen, 2017).

2.1.2. Variedades de café

Figuroa (1990); Castañeda (1997); Aliaga y Bermudez (1984) reportan más de un centenar de especies, pero solamente dos de entre ellas son cultivadas en gran escala y aprovisionan al mundo: *C. arabica* y *C. canephora*. El café arábico es el más conocido y difundido desde hace mucho tiempo, prácticamente toda la producción americana que representa más del 60% de la producción mundial, tiene esa procedencia. El *C. arabica* es autógena, ha dado nacimiento a un cierto número de variedades, como Típica, Maragogype y Bourbon; y por el lado de *C. canephora* es alógama, agrupa a las variedades: Robusta, Kouillou, Niaoli; mundialmente es conocido por su baja calidad en los granos.

Entre las numerosas variedades de *C. arabica* podemos mencionar a las siguientes: Caturra roja y amarilla, Típica, Catuaí rojo y amarillo, Bourbon, Mundo Novo, San Bernardo y los Catimores.

- Caturra roja

Por medio de una mutación en Brasil, la variedad Caturra se desarrolló a partir de la variedad Bourbon. La planta se distingue por su porte bajo, entrenudos breves, tronco robusto y numerosas ramificaciones secundarias que le dan un aspecto vigoroso y frondoso. Cuando son jóvenes, las hojas tienen un tinte verde claro, pero a medida que envejecen, se vuelven de color verde oscuro. Al madurar, los frutos de la variedad roja Caturra adquieren un tinte carmesí vinoso. La alta producción y calidad organoléptica de esta variedad son otras características distintivas (Figuerola et al., 1998; citado por Alejandro, 2003). Sin embargo, es muy vulnerable a *Hemileia vastatrix*, que reduce el rendimiento y la calidad del grano (Gómez, 2004 citado por Aguilar y Villacis, 2016).

2.1.3. Condiciones edafoclimáticas

El café se cultiva entre 900 y 2.000 metros de altitud, con temperatura promedio entre 17 y 23 grados centígrados, precipitación anual entre 1.800 y 4.000 milímetros, evapotranspiración diaria entre 3 y 4 milímetros, humedad relativa entre 70 y 85% y vientos menores de 5 kilómetros por hora. Para el desarrollo del cultivo del café, el suelo debe tener textura franca, profundidad efectiva mayor a 50 cm, permeabilidad suficiente y drenaje natural adecuado. También debe tener una cantidad aceptable de materia orgánica (MO) (superior al 2%), así como un suministro decente de N, P y K para altos rendimientos (Sánchez, 2015).

2.1.4. Principales enfermedades del cultivo de café

El café es susceptible a numerosas enfermedades, la mayoría son causados por hongos, bacterias, virus y nematodos. Se conoce que la roya amarilla (*Hemileia vastatrix*) es la de mayor importancia económica, seguido del ojo de gallo (*Mycena citricolor*), la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*); llagas del tallo y de las raíces (*Ceratocystis fimbriata* y *Rosellinia bunodes*), mal rosado (*Corticium salmonicolor*), muerte descendente (*Phoma* sp.), nematodos del género *Meloidogyne* y volcamiento (*Rhizoctonia solani*) (Arias, 2012).

A partir del año 2012, en el Perú la principal enfermedad del café en las variedades susceptibles fue y es la roya amarilla, debido a que causó la pérdida de más de 200 mil hectáreas entre los años 2012 - 2013 a nivel nacional, generando pérdidas millonarias entre los productores (El Comercio, 2013).

2.2. Roya amarilla del café

2.2.1. Clasificación taxonómica

De acuerdo con Avelino y Rivas (2013), la clasificación taxonómica del hongo que produce la roya amarilla es:

Dominio: Eukaryota

Reino:	Fungi
Phylum:	Basidiomycota
Clase:	Pucciniomycetes
Orden:	Pucciniales
Familia:	Pucciniaceae
Género:	<i>Hemileia</i>
Especie:	<i>vastatrix</i>

2.2.2. Impacto económico de la plaga

Una de las enfermedades más devastadoras de la cosecha de café, la roya amarilla tiene una influencia negativa significativa en la economía global. Esto se debe a que la roya hace que las hojas del cafeto caigan antes de tiempo, favoreciendo una reducción de la capacidad fotosintética. También hace que las plantas enfermas se debiliten y, en casos de infección severa, puede provocar la muerte regresiva de las ramas e incluso la muerte de la planta (APS, 2011). La roya amarilla tiene un impacto económico negativo en las fincas cafetaleras no solo porque reduce el rendimiento (qq/ha) y la calidad organoléptica, sino también porque requiere el uso de costosas medidas de manejo (CABI, 2013).

En 1970, se vio la introducción de la roya amarilla en el continente americano, que inicialmente se observó en Brasil. Los vientos alisios transportaron los órganos reproductivos del hongo (uredosporas) desde África occidental hasta Brasil. Logró implantarse en todas las naciones productoras de café del continente en un lapso de trece años (Virginio y Astorga, 2015). Debido a la falta de estrategias de manejo de patógenos, la roya amarilla disminuyó específicamente el rendimiento del cultivo de café en un 30 % (kg/ha) en Brasil. Sin embargo, al implementar programas de control de enfermedades (aplicación de fungicidas), se incurrió en un costo de 67 a 74 US\$/ha, lo que representa el 9% del valor del café exportado de esa nación (CABI, 2013). De manera similar, Colombia reportó pérdidas de hasta 30% en la cosecha de café en 1983 como resultado de prácticas de manejo inadecuadas. En la misma nación, varios tipos comerciales que son vulnerables a la roya amarilla exhibieron un aumento excepcional en la ocurrencia y una mayor severidad en las hojas infectadas (> 30 %) entre los años 2008 y 2011 (Cristancho et al., 2012).

2.2.3. Distribución geográfica

EPPO (2013) señala que la roya amarilla está ⁴⁶ distribuida en la mayoría de los países productores de café en el mundo. Principalmente los lugares donde se cultiva la variedad Caturra.

2.2.4. Distribución geográfica

La roya amarilla se distribuye principalmente en los países productores de café (EPPO, 2013).

2.2.5. Hospedantes

La roya amarilla ataca principalmente a las especies del género *Coffea* spp., como: *C. arabica*, *C. canephora* y *C. liberica* (CABI, 2013).

2.2.6. Aspectos Biológicos

- Ciclo biológico

La infección comienza como puntos diminutos y claros en la parte inferior de las hojas, que crecen con el tiempo y se combinan para producir las manchas distintivas de color amarillo o naranja. Los puntos son causados por un fino polvo amarillo, que también se muestra presente. esporas de moho (Rivillas et al., 2011).

Según Sagarpa (2013) y Avelino y Rivas (2013), el agua libre debe estar presente durante seis horas, las temperaturas deben oscilar entre 21 y 25 °C y debe prevalecer la oscuridad para que las "esporas" germinen. El "apresorio" (modificación de las hifas para la infección de una célula epidérmica huésped) debe desarrollarse durante 5,3 a 8,5 horas. Sin embargo, la falta de agua (durante 24 y 48 horas) y la presencia de luz impiden la germinación (Avelino y Rivas 2013); cuando el nivel del agua baja o se evapora, el proceso de germinación se detiene porque afecta el desarrollo de los tubos germinativos de las esporas (Sagarpa, 2013). El hongo penetra a través de los estomas en las hojas después de la germinación. Luego, el hongo crea "haustorios", estructuras que, cuando entran en contacto con las células vegetales, eliminan los nutrientes necesarios para el desarrollo del hongo (Rayner, 1961). Se requiere una concentración de 15 a 30 esporas por cm² para la infección; si las esporas están muy dispersas, no se logrará la infección. (Avelino y Rivas, 2013).

- Descripción morfológica

Las urediniosporas, que se forman en cantidades enormes y se asemejan al "polvo amarillo o naranja" que se puede ver en el envés de las hojas del cafeto, son minúsculas (30μ de largo por 20μ de ancho), de forma reniforme, lisas por dentro y áspero en el exterior. La forma esférica (20-25μ) de las teliosporas, cuyo flujo de entrada es bastante modesto, es lo que las distingue. (Castro y Rivillas, 2006).

- Síntomas y daños

Los pequeños puntos de color amarillo claro son el primer síntoma que se presenta en la superficie superior de las hojas. La esporulación (fructificación) del hongo, que está representada por protuberancias amarillas en el envés de las hojas conocidas como

"uredosporas" (estructura reproductiva del hongo), hace que las manchas se agranden cada vez más con el tiempo. El hongo no produce las típicas pústulas de la roya porque no rompe la epidermis de la hoja como suelen hacer las royas. En cambio, esporula a través de los estomas. El tono de las lesiones pulverulentas en el envés de las hojas puede variar de amarillo anaranjado a rojo anaranjado, con una gran diversidad regional (Arneson, 2011).

Aunque las lesiones pueden aparecer en cualquier parte de la hoja, a menudo comienzan cerca de los márgenes donde se acumulan el agua y el rocío. Los bordes de las lesiones continúan expandiéndose y liberando uredosporas mientras que el centro de las lesiones comienza a secarse y a ponerse marrón. Las lesiones iniciales aparecen en las hojas inferiores al comienzo de la temporada de lluvias y la enfermedad se propaga gradualmente por el árbol. Las ramas plagiotrópicas se quedan sin hojas cuando las hojas enfermas comienzan a caer antes de tiempo (Virginio y Astorga, 2015).

2.2.7. Aspectos epidemiológicos

Para que la roya amarilla comience el proceso de dispersión a través de las hojas y entre las plantas, deben existir varias circunstancias. Requiere salpicaduras de lluvia, una capa de agua en el envés de las hojas y temperaturas entre 16 y 18 °C en completa oscuridad. (Kushalapa y Eskes, 1989).

- Sobrevivencia

Según Avelino et al. (1999; Zuluaga y Céspedes (2009), la roya amarilla es un biótrofo, es decir, se alimenta de células vivas y allí completa su ciclo de vida. La especie más afectada por la roya amarilla es *C. arabica* (Avelino y Rivas, 2013). No se ha encontrado que el hongo viva en tejido vegetal muerto o en el suelo hasta este punto. Las estructuras reproductivas del hongo, conocidas como uredosporas (reproducción sexual), respaldan sus métodos de reproducción y propagación. Tienen un riñón- Forma perfilada con una mitad superior rugosa y una superficie ventral lisa (Coutinho et al., 1995; Fernández et al., 2009).

El ciclo de vida de *H. vastatrix* suele durar 30 días; el desarrollo de manchas (tono amarillo claro translúcido) comienza el día 24 (75% del tiempo transcurrido), y la producción de esporas en lesiones o manchas de roya comienza el día 27 (90% del tiempo perdido). Mientras la hoja siga unida a la rama, lo que puede ser por un período muy largo, la generación de esporas continúa. También se debe tener en cuenta la longevidad del inóculo de un año a otro, ya que es crucial para la dinámica de las epidemias. Una mayor cantidad de hojas enfermas permanecerán en las ramas durante la estación seca en fincas cafetaleras que experimentaron infecciones moderadas o menores por *H. vastatrix*, y la esporulación comenzará cuando lleguen las lluvias. De hecho, si no se aplica un sistema de protección

necesario para los tejidos, aumentará el peligro de infección en las hojas nuevas antes de lo habitual. (Avelino y Rivas, 2013; Barquero, 2013).

- **Dispersión**

Las urediniosporas (producidas en grandes cantidades; correspondientes al polvillo amarillo-naranja que se visualiza detrás de la hoja) son encargadas del proceso de dispersión. Entre los factores ambientales que benefician la dispersión de *H. vastatrix* son la precipitación (mediante el salpique) y el viento. La dispersión local de hoja a hoja o entre plantas, sobre todo en plantaciones con alta densidad de siembra son favorecidas por el salpique de agua de lluvia. Asimismo, el viento juega un papel importante en el proceso de dispersión de las urediniosporas entre las regiones cafetaleras (Rivillas et al., 2011; APS, 2011).

- **Multipliación**

El hongo está completamente desarrollado para diferenciarse en estructuras llamadas soros, que son las encargadas de fabricar nuevas urediniosporas, luego de 30 días de infección y colonización del tejido foliar. En un periodo de 4 a 5 meses se producen alrededor de 1.600 esporas por mm² de hoja, que se esparcirán para iniciar un nuevo ciclo de infección. El período de latencia puede durar entre 34 y 37 días al sol y 31 a 35 días a la sombra, especialmente en las fincas cafetaleras colombianas. (Rivillas et al., 2011). Estudios realizados en estas mismas localidades por el Centro de Investigaciones del Café (CENICAFÉ) han demostrado cómo el cambio climático reciente ha afectado a *H. vastatrix*, particularmente en las etapas de incubación y latencia, las cuales experimentan momentáneamente aumentos o disminuciones con respecto a valores anteriores dependiendo de las condiciones ambientales, principalmente temperatura. (Rivillas et al., 2011).

El pico de la enfermedad ocurre durante la etapa de llenado de frutos y cosecha durante la época de lluvias. En cambio, los meses de marzo a mayo, que corresponden a la época de altas temperaturas y escasas precipitaciones, son perjudiciales para el desarrollo del hongo (Rivillas et al., 2011).

2.2.8. Protección

- **Control cultural**

Para evitar rangos de temperatura favorables para la progresión de la enfermedad, es recomendable tener un buen programa de fertilización que incluya un aporte suficiente de materia orgánica, principalmente N, P y K. Reducir la sombra excesiva también ayudará a reducir humedad relativa, lo que aumentará el área foliar y alargará la vida media de

la hoja. Además, se deben evitar densidades de plantación excesivas (10.000 plantas/ha) para evitar el desarrollo de muchos hijuelos que favorezcan la "autosombra" (Rivillas et al., 2011).

- Control genético

Se ha demostrado que la variedad Catimor de *H. vastatrix* reacciona a una alta presión de inóculo manteniendo un nivel de infección inferior al 15%. (Moreno y Alvarado, 2020).

- Control químico

“El ingrediente activo, dosis, frecuencia, tiempo de aplicación, residualidad, distribución en la planta (efecto del equipo de aplicación), y tamaño de partícula (en protectores) obedecen a la eficiencia de los fungicidas” (CICAFE, 2013).

2.3. Microorganismos eficientes (EM)

Calero et al. (2019) manifiestan que el uso de microorganismos eficientes resulta favorable para la agricultura, diversos estudios reportan efectos benéficos. Higa (1993) señala que los EM pueden ser aplicados como inoculantes para cambiar, mejorar e incrementar la diversidad de microorganismos en el suelo. El mismo autor señala que dentro de los microorganismos benéficos están los hongos fermentativos (penicilina natural), levaduras, bacterias ácido-lácticas y bacterias fototrópicas. Cuando los ME entran en contacto con la M.O secretan sustancias benéficas principalmente ácidos orgánicos, antioxidantes, hormonas, minerales, quelatos, etc.

2.3.1. Las principales especies de microorganismo eficientes

- Bacterias fototrópicas

Las bacterias autótrofas son responsables de convertir gases tóxicos, MO y fluidos de raíces en compuestos útiles que utilizan la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Se crean ácidos nucleicos, aminoácidos, carbohidratos y compuestos bioactivos; estos químicos apoyan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Inmediatamente absorben los metabolitos y también sirven como sustrato para impulsar la población de otros EM. (Higa y Parr, 1991).

Estas bacterias realizan una fotosíntesis parcial, lo cual hace que las plantas generen nutrientes como aminoácidos y carbohidratos, sin necesidad de la luz solar, permitiendo que las plantas potencialicen sus procesos completos las 24 horas del día. Las bacterias fototrópicas más representativas son: *Rhodospseudomonas palustris*, *Rodobacter lactis* y *Rodobacter* spp. (Higa y Parr, 1991).

- Bacterias ácido-lácticas

Estos microbios convierten los azúcares y otros carbohidratos que las bacterias fototrópicas y las levaduras producen en ácido láctico. Un conocido agente esterilizante, el ácido láctico acelera la descomposición de la materia orgánica (MO), aumentando la fragmentación de los componentes de la MO como la lignina y la celulosa, y transformando estas sustancias sin tener que causar consecuencias perjudiciales. A lo largo del curso. Algunos de esmicroorganismos de mayor importancia son: *Lactobacillus plantarum*, *L. casei*, *L. spp* y *Streptococcus lactis* (Higa y Parr, 1991).

- Levaduras

Son una categoría de microbios que pueden utilizar numerosas fuentes de energía y carbono, incluidos el azúcar, la fructosa, la galactosa, la maltosa y el alcohol. Utilizan aminoácidos y azúcares liberados por bacterias fotosintéticas para crear compuestos antibacterianos. Producen etanol a través de su metabolismo fermentativo y, en grandes cantidades, tiene propiedades antifúngicas. (Meena y Meena, 2017). Las especies más conocidas son *Saccharomyces spp*, *Mucor hiemalis*, *Candida utilis* y *Aspergillus oryzae* (Higa y Parr, 1991).

- Actinomicetos

Son bacterias gran-positivas, se distinguen por formar filamentos ramificados similar a los hongos, son saprofitos y sus células son procariotas (Bergey et al., 2000). Estos microorganismos participan en el reciclaje de la M.O, como agentes de control biológico de las enfermedades de las plantas (bacterias y hongos) y en la producción de fertilizantes biológicos (Quiñones et al., 2016). Además, están presentes en la formación de los suelos (Vurukonda et al., 2018). Los actinomicetos más conocidos son *Streptomyces albus* y *Streptomyces greseus* (Higa y Parr, 1991).

- Hongos de fermentación

Los hongos *Aspergillus* y *Penicillun* intervienen en el proceso de descomposición de la M.O para producir alcohol, esteres y sustancias antimicrobianas, evitando olores fétidos y la aparición de insectos perjudiciales (Higa y Parr, 1991).

2.3.2. Modo de acción de los microorganismos eficientes

Los ME aprovechan las sustancias secretadas por las raíces de las plantas para desarrollarse, sintetizando ácidos nucleicos, aminoácidos, hormonas, vitaminas y entre otros bioactivos. Cuando los EM incrementan su población en la comunidad donde se encuentran, acrecienta la actividad de otros microorganismos naturales, enriqueciendo la microflora, equilibrando los ecosistemas microbiales y eliminando microorganismos dañinos (Higa y Parr, 1991). Según Larrea-Fernández (2001), los hongos (*Gliocladium* y *Trichoderma*)

y bacterias (*Fusarium*, *Pseudomonas* y *Bacillus*) han desarrollado efectos antagónicos con distintos microorganismos, logrando ser utilizados como organismos de control biológico de patógenos de las plantas. Además, Correa (2009) señala que los microorganismos eficientes aceleran el proceso de descomposición de la M.O, liberando gran cantidad de nutrientes para las plantas. Entre los mecanismos de acción conocidos de los microorganismos antagónicos se destacan la retracción y desorganización de la membrana plasmática, que también incluyen la competencia por nutrientes y espacio, la antibiosis, el parasitismo o micoparasitismo, en los que el microorganismo antagónico parasita las células del patógeno y debilita sus paredes celulares. con citoplasma (Romero-Cortes et al., 2015).

Según FAO (2007), las bacterias pueden solubilizar formas insolubles del fósforo. Dentro del grupo de las bacterias solubilizadoras de fósforo (BSP) están:

- *Acetobacter diazotrophicus*
- *Agrobacterium* sp
- *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum*
- *Bacillus polymyxa*
- *Bacillus subtilis*
- *Pseudomonas striata*

Los hongos solubilizadores del fósforo (HSP) incluyen a:

- *Aspergillus awamori*
- *Levadura (Saccharomyces* sp.)
- *Penicillium belaji*
- *Penicillium digitatum*

Y, por último, los actinomicetos solubilizadores de fósforo (ASP) incluyen

a:

- *Nocardia* sp.
- *Streptomyces* sp

En la Tabla 1, se muestra las hormonas producidas por los microorganismos y el efecto en las plantas.

Tabla 1. Hormonas para el crecimiento de plantas y algunos microorganismos productores de hormonas

Hormonas	Efecto	Microorganismos
Auxinas	Crecimiento y ramificación de las raíces	- <i>Azotobacter</i> - <i>Azospirillum</i> - <i>Franckia</i> - <i>Plasmodiophora</i> , - <i>Pseudomonas</i> - <i>Rhizopus</i> , - <i>Rhizobium</i>
Giberelinas	Crecimiento de plantas Floración	- <i>Arthrobacter</i> - <i>Azotobacter</i> - <i>Gibberella</i>
Citoquininas	División celular Alargamiento celular	- <i>Agrobacterium</i> - <i>Arthrobacter</i> - <i>Azotobacter</i> - <i>Corynebacterium</i> - <i>Rhizobium</i> - <i>Rhizopogon</i>
Etileno	Crecimiento de raíces Efecto supresivo del suelo	- <i>Pseudomonas</i> - <i>Mucor</i>

Fuente: FAO, 2007

2.4. Ensayos realizados con microorganismos eficientes y caldo mineral

Peñañiel y Donoso (2004) evaluaron el efecto de diferentes dosis de microorganismos eficientes (ME) en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) híbrido Atar Ha-435, donde concluyeron que las cuatro dosis de ME y el testigo no evidenciaron diferencias estadísticas significativas en el rendimiento (kg/planta), mientras que en la calidad del fruto el testigo presentó mayor precocidad al ataque de *Mildiu vellosa*.

El hongo *Verticillium hemileiae* Bouriquet fue desarrollado como una alternativa para el control de la roya del café. Mediante un estudio, Díaz et al. (2014) aplicaron 5 dosis de *V. hemileiae* (0,6 kg/ha, 1,2 kg/ha, 1,8 kg/ha, 2,4 kg/ha, 3,0 kg/ha) y un testigo en huertas comerciales de café infectados con roya amarilla, dichas dosis fueron aplicadas en el envés de las hojas con el objetivo de que *V. hemileiae* estuviera en contacto con las uredosporas de la roya, donde la mayor infección y número de pústulas se registró en el testigo (no se realizó aplicación).

Bartra (2017) reportó el efecto de *Trichoderma harzianum* y fungicidas en el control de *H. vastatrix*, donde los tratamientos T₆ (Testigo), (T₄) *T. harzianum* y (T₅) Caldo bordalés mostraron las mayores tasas de infección con 0,0028, 0,0028 y 0,0027, mas no mostraron

diferencias estadísticas entre ellos, mientras que ¹ los tratamientos T₃ (Tebuconazole + Azoxistrobin), T₁ (Tebuconazole) y T₂ (Azoxistrobin) obtuvieron los valores más bajos con 0,0014, 0,0015 y 0,0017, por lo que manifestaron un mayor control de *H. vastatrix*.

Vera et al. (2013) ³ evaluaron el efecto del caldo bordalés y manejo cultural sobre la roya amarilla del café, donde se evidenció una mejor respuesta al grado de la enfermedad cuando se empleó caldo bordalés, siendo aún mejor cuando se aplicó siete veces, además de un buen manejo cultural (fertilización, poda y control de malezas) (T₃). El nivel de la enfermedad del tratamiento T₃ al compararlo con los tratamientos T₂ (manejo agronómico con cinco aplicaciones de fungicida orgánico), T₅ (sin manejo agronómico con cinco aplicaciones de fungicida orgánico) y T₆ (sin manejo agronómico con siete aplicaciones de fungicida orgánico.), no mostraron diferencias estadísticas significativas, ³ indicando que las aplicaciones con fungicidas cumplen una función importante en el control de la enfermedad, mientras que los tratamientos T₁ (manejo cultural sin aplicación de fungicida) y el T₄ (testigo: sin manejo cultural ni aplicación de fungicida) no presentaron significación estadística entre ambos, manifestando los mayores niveles de la enfermedad.

² En el manejo de la roya amarilla del café, Ayquipa (2016) examinó los efectos de microorganismos eficientes, fertilizantes foliares y bioestimulantes. La aplicación de Microorganismos eficientes, *Lecanicillium lecanii*, en el tercio superior tuvo un mejor desempeño alcanzando un 17,65%, mientras que la aplicación de quelato de aminoácidos multiminerales tuvo un desempeño promedio de 18,81% y 18,53%, respectivamente. El quelato de aminoácidos multimineral tuvo una severidad promedio de 9,49 %, en comparación con la incidencia del control de 34,99 %, 32,67 % y 36,65 % ² en los tercios superior, medio e inferior, respectivamente, y 24,47 % de severidad en la evaluación más reciente.

En el año 2020, Ramírez-Rodríguez et al. Se descubrió que el hongo *Trichoderma harzianum* ayudó a las plántulas de café a absorber los nutrientes del suelo cuando los investigadores investigaron la eficacia de los biofungicidas para la prevención de la roya en las plántulas de café. Se ha demostrado que una opción importante para ¹⁵ el control biológico, particularmente de enfermedades foliares, es *Bacillus subtilis*. El control biológico de hongos fitopatógenos se ha logrado mediante el uso de bacterias del género *Bacillus*. La bacteria *B. subtilis* ⁴ ha sido empleada con éxito para el crecimiento de plántulas de café además de ser una opción para el control biológico de la roya del café.

En una investigación de Navarrete y Díaz (2020), *Lecanicillium spp*, *Trichoderma spp*, *Bacillus subtilis* (Serenade® ASO) y Azoxystrobin + Cyproconazole (Amistar Xtra®) fueron investigados como microorganismos antagonistas para el tratamiento biológico de la

roya del café. ¹² El tratamiento químico (Amistar Xtra®) presentó los valores más bajos en las variables incidencia 12% y severidad 10% de roya en comparación con los demás tratamientos; este mismo tratamiento también mostró los mejores resultados para la variable número de hojas sanas.; por su parte la aplicación de Serenade® ASO mostro porcentajes de incidencia y severidad con 36,95% y 23,67% respectivamente.

Halpay et al. (2020), evaluaron la eficiencia del *Lecanicillium* y *Trichoderma* a nivel de laboratorio donde encontraron que la interacción huésped-micoparásitos realizada resultó en una reducción significativa del desarrollo del hongo *Hemileia* y un aumento en la germinación de los conidios de los parásitos, demostrando parasitismo in vivo. El efecto de estos hongos aislados de plantaciones de café en la provincia San Juan es promisorio ⁶ para el control biológico de la Roya del cafeto y ³⁴ mejorar la salud de los cafetales, reducir la dependencia en fungicidas y formar parte de un control integrado.

¹ III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El campo ⁴¹ experimental estuvo ubicado en la finca “Sheyla” perteneciente geográficamente al anexo de Yapaz Bajo, distrito de San Luis de Shuaro, provincia de

Chanchamayo, región de Junín, cuyas coordenadas (UTM) son: 478106 m Este y 8800877 m Norte, con una altitud de 1 391 msnm.

Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la Estación Experimental de Villa Rica durante los meses de noviembre del 2013 hasta junio del 2014 (Tabla 2), donde se registró una temperatura promedio de 19,59°C, con una humedad relativa de 87,75% y una precipitación de 161,88 mm, condiciones adecuadas para el cultivo de café.

Tabla 2. Datos climáticos correspondientes a los meses de ejecución del ensayo

Meses/ parámetros	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
Nov – 2013	21,00	85,00	93,60
Dic – 2013	20,20	86,00	267,40
Ene – 2014	19,50	89,00	157,40
Feb – 2014	19,60	90,00	219,80
Mar – 2014	20,30	85,00	182,80
Abr – 2014	19,80	85,00	101,80
May – 2014	18,70	92,00	141,10
Jun – 2014	17,60	90,00	131,10
Promedio general	19,59	87,75	161,88

Fuente: Estación experimental Villa Rica - Pasco

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Análisis de suelos

Para el análisis físico-químico del suelo, se realizó un recorrido en forma de zigzag por el área experimental (cafetal), haciendo uso de un tubo muestreador se tomaron 10 muestras de suelo, los cuales fueron homogenizadas, a partir de ello se tomó una muestra de 1 kg y luego fue trasladado al Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Agraria de la Selva (UNAS) para su análisis correspondiente.

La Tabla 3 indica que el suelo presentó una textura arcillosa, pH ácido, contenido medio de materia orgánica y nitrógeno, nivel medio de fósforo y nivel alto en potasio, interpretándose como un suelo adecuado para el establecimiento del cultivo de café.

Tabla 3. Análisis físico-químico del suelo obtenido del área experimental

Parámetro	Valor	Método empleado
Análisis físico		
Arena (%)	27,68	Bouyocos o hidrómetro

Limo (%)	41,04	Bouyocos o hidrómetro
Arcilla (%)	31,28	Bouyocos o hidrómetro
Clase textural	Arcilloso	Triangulo textural
Análisis químico		
pH (1:1)	4,88	Potenciómetro
Materia orgánica (%)	3,47	Walker – Back
N (%)	0,17	% M.O x 0.05
P ₂ O ₅ (ppm)	11,88	Olsen modificado
K (kg/ha)	665,18	Acetato de amonio 1N pH 7

Fuente: Laboratorio de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la facultad de Agronomía de la UNAS

3.2.2. Componentes en estudio

3.2.2.1. Factor planta

Se seleccionó plantas de café de la variedad Caturra roja de siete años, sembrado a una distancia de 2 x 1 m, haciendo un total de 5 000 plantas/ha, susceptible a *H. vastatrix* y con inicio de ataque de esta enfermedad, es preciso señalar que la parcela experimental estuvo constituida por 1 176 plantas de café.

3.2.2.2. Factor patógeno

Hemileia vastatrix agente causal de la roya amarilla del café.

3.2.2.3. Factor anti-fúngico

- Concentraciones de “microorganismos eficientes” (EM-1)
- Fungicida de contacto “Caldo bordalés” (Formulación casera)
- Fungicida sistémico “Triazoles+estrobilurina” (Opera)

3.2.3. Tratamientos en estudio

En la Tabla 4, se muestra la descripción de los tratamientos.

Tabla 4. Tratamientos en estudio

Tratamientos		Nombre Comercial	Dosis
Clave	Productos		
T ₁	EM.1	EM.1 [®]	-
T ₂	EM.1	EM.1 [®]	1%
T ₃	EM.1	EM.1 [®]	5%
T ₄	EM.1	EM.1 [®]	10%
T ₅	EM.1	EM.1 [®]	15%
T ₆	Caldo bordalés	--	1%
T ₇	Pyraclostrobin + epoxiconazole	Opera	500 ml/ha

EM 1 = Microorganismo eficiente en formulación comercial

3.2.4. Diseño estadístico empleado

Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 7 tratamientos y 4 bloques, haciendo un total de 28 unidades experimentales. Para las características

evaluadas, estas fueron sometidas al análisis de variancia (ANVA) y para la significación estadística se utilizó la prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) (Calzada, 1982).

Tabla 5. Modelo del análisis de variancia

Fuente de variación	Grados de libertad
Bloques	3
Tratamientos	6
Error experimental	18
Total	27

t: tratamiento, r: repetición (unidades experimentales)

3.2.5. Modelo aditivo lineal

Modelo aditivo lineal, es la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

- Y_{ij} = Respuesta obtenida del i - ésimo tratamiento en el j - ésimo bloque.
- μ = Efecto de la media general.
- t_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.
- β_j = Efecto del j -ésimo bloque.
- ε_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental de unidad experimental correspondiente al j -ésimo bloque del i -ésimo tratamiento.

Para:

- I = 1, ..., 7 tratamientos
- j = 1, ..., 4 bloques

3.2.6. Características del campo experimental

Para la elección del área experimental se realizó el reconocimiento del terreno, esta tenía que ser representativa y con plantas homogéneas (café de la variedad Caturra roja - 7 años). La asignación de los bloques se realizó en función a las hileras, las cuales se instalaron a favor de una pendiente ligera; sin embargo, para efectos de ensayos de investigación se recomienda realizarlos en contra de la pendiente con la finalidad de reducir el error experimental. Seguidamente se procedió a la demarcación de los tratamientos, para el cual se empleó como señalización cordeles de rafia para poder diferenciarlos, teniendo cada uno de ellos las dimensiones siguientes:

a. Dimensiones del campo experimental

- Largo : 49 m
- Ancho : 48 m
- Área total del campo experimental : 2 352 m²

b. Bloques

Número de bloques : 4
 ← Largo del bloque : 49 m
 Ancho del bloque : 12 m
 Área de cada bloque : 588 m²
 Área total de los bloques : 2 352 m²

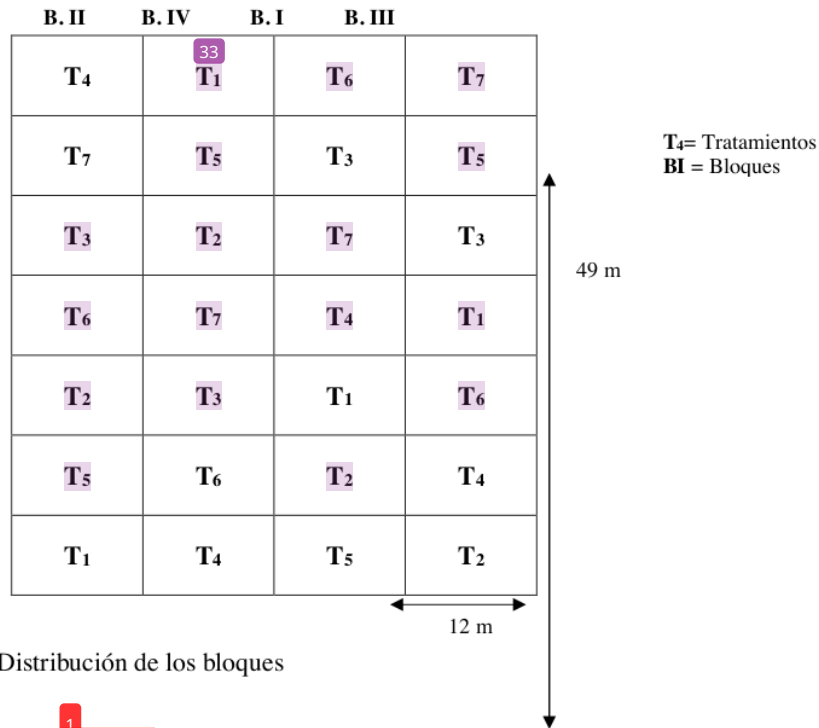
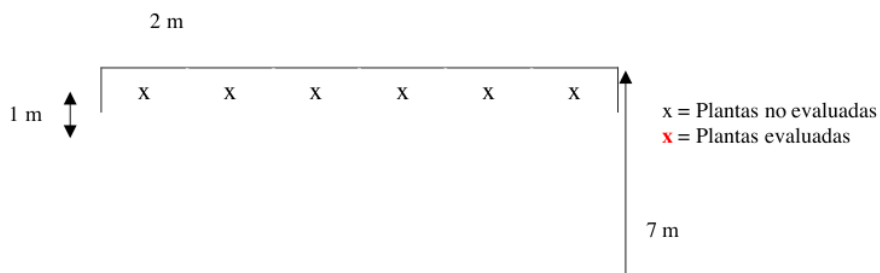


Figura 1. Distribución de los bloques

c. Parcelas

Número total de parcelas : 28
 Número de parcelas/bloques : 7
 Largo de cada parcela : 7 m
 Ancho de cada parcela : 12 m
 Área total de cada parcela : 84 m²
 Distanciamiento entre surco : 1 m
 Distanciamiento entre plantas : 2 m



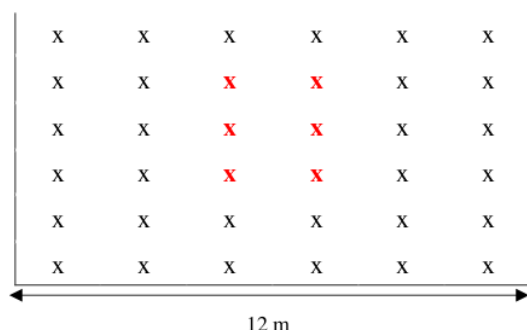


Figura 2. Detalle de la parcela

3.2.7. Datos registrados

3.2.7.1. Evaluación inicial de la incidencia de la roya

Se realizó un muestreo o preevaluación un día antes de la primera aplicación de los tratamientos (Tabla 4), para conocer el porcentaje inicial de incidencia.

3.2.7.2. Evaluación de la incidencia

La evaluación de la incidencia se realizó cada 14 días después de la aplicación de los tratamientos, en cada rama marcada se contó el número total de hojas (sanas + enfermas), número de hojas sanas, número de hojas con roya y número de hojas caídas enfermas.

3.2.8. Conducción de la investigación

3.2.8.1. Selección y marcado del experimento

Según el diseño, se demarcó las parcelas de la siguiente manera: Se tomaron 42 plantas por parcela que correspondieron a cada uno de los tratamientos en estudio, los cuales fueron rodeados mediante una cinta plástica de color formando una figura rectangular (Figura 2).

3.2.8.2. Preparación de microorganismos eficientes (EM), caldo bordalés y fungida sistémico

➤ Microorganismos eficientes (EM-1®)

El producto utilizado fue microorganismos eficientes (EM.1), es un inoculante biológico para las plantas, hecho a base de microorganismos con acción simbiótica, para promover el crecimiento de las plantas y prevenir la presencia de plagas y enfermedades (BIOEM, 2020). A continuación, se muestra los ingredientes que se utilizaron para la activación de los microorganismos eficientes:

Ingredientes:

- Melaza de caña

- Microorganismos eficientes en estado latente

Materiales

- Bidón

Para la activación de los microorganismos eficientes:

Se utilizó 1 kg de melaza de caña y 1 L de microorganismos eficientes (EM.1), los cuales fueron vertidos en un bidón con 18 L de agua, luego se cerró el bidón herméticamente y se mantuvo por 7 días en un lugar fresco y oscuro a temperatura ambiente. Según BID (2009), el preparado debe usarse antes de los 60 días de lo activado de lo contrario estaría perdiendo su efectividad.

Durante el desarrollo del experimento se realizaron un total de 12 aplicaciones foliares en los tratamientos 2, 3, 4 y 5; la primera aplicación se realizó el 16, 23, 30 de noviembre y el 7 de diciembre; la segunda el 11, 18, 25 de enero del año 2013 y el 1 de febrero del año 2014; y la tercera el 8, 15, 22 y 29 de marzo del año 2014.

➤ Caldo bordalés

Para la preparación del caldo bordalés se siguió la metodología descrita por Restrepo (2007), donde se detalla los ingredientes, preparación, dosis y recomendaciones de uso.

Ingredientes para 100 L:

- 1 kg de sulfato de cobre
- 1 kg de cal viva o hidratada
- 100 litros de agua

Materiales:

- 1 recipiente de plástico (de 100 litros).
- 1 balde pequeño de plástico (de 20 litros).
- 1 palo de madera (para remover)
- 1 machete (prueba de acidez)

Preparación:

- En un balde pequeño se disolvió 1 kg de sulfato de cobre con 10 L de agua.
- En el recipiente grande de plástico se disolvió 1 kg de cal viva o cal hidratada, previamente apagada en 90 L de agua limpia no clorada.
- Después de haber disuelto los 2 ingredientes principales por separado (cal - sulfato de cobre) se combinaron,

teniendo siempre cuidado de agregar el preparado del sulfato de cobre sobre la cal, nunca del revés (la cal sobre el sulfato de cobre), debido a que se generaran otras reacciones en la mezcla. Al momento de juntarlos se movió constantemente.

- Para comprobar si la acidez de la mezcla es óptima para aplicar su aplicación al cultivo, se sumergió un machete en el preparado. Si en la hoja metálica se genera una reacción alcalina es necesario adicionar cal, si esto no ocurre está listo para ser aplicado.

Dosis:

- Se aplicó 13.4 litros de la solución por aplicación.

Se tomó en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Utilizar el producto después de ser preparado.
- Se debe utilizar ⁴²aspersor con boquilla plástica, nunca metálica.
- No se debe utilizar equipos en los que se usó plaguicidas.

Durante el desarrollo del experimento se realizaron un total de 3 aplicaciones foliares con el caldo bordalés al tratamiento T₆ con un intervalo de 60 días después de cada aplicación, siendo la primera aplicación el 16 de noviembre del 2013, la segunda el 17 de enero del 2014 y la tercera el 19 de marzo del 2014.

➤ Fungicida sistémico

Se realizaron dos aplicaciones con el fungicida sistémico en mezcla de Epoxiconazole 50 g/L + Pyraclostrobin 133 g/L (Opera®), la primera aplicación fue 90 días después de la floración principal (11 de enero) y la segunda aplicación 2 meses después de la primera aplicación (12 de marzo).

3.2.8.3. Aplicación de los productos ¹⁵

Antes de la aplicación de los productos se calibró la mochila y el gasto para 42 plantas, luego se determinó que el gasto por tratamiento fue de 13,4 litros (79,8 mililitros por planta). La primera aplicación, para el caso de los microorganismos eficientes (EM) se efectuó un día después de la preevaluación y las tres aplicaciones restantes cada 7 días, luego se pausó las aplicaciones por un espacio de 4 semanas y volviendo a continuar con 4 aplicaciones continuas cada semana, luego se volvió detener las aplicaciones por un período de

4 semanas y se culminó con 4 aplicaciones continuas cada semana, haciendo un total de 12 aplicaciones.

Para la aplicación del caldo bórdales se realizaron un total de 3 aplicaciones con un intervalo de 60 días después de cada aplicación.

En cuanto a la aplicación del fungicida sistémico se realizaron 2 aplicaciones, la primera aplicación fue 90 días después de la floración principal y la segunda aplicación 2 meses después de la primera aplicación.

3.2.8.4. Labores control de malezas

El primer deshierbo se realizó a los 15 días ²³ antes de iniciar la aplicación de los tratamientos, los otros dos cada tres meses.

3.2.8.5. Cuantificación de la enfermedad

Los datos de incidencia fueron procesados según los protocolos de Hernández (2004), con estos datos se determinaron los siguientes parámetros:

➤ Proporción acumulada de la enfermedad

Para determinar ¹ la proporción acumulada de la enfermedad se procedió a juntar los datos obtenidos en cada evaluación de las hojas totales, hojas enfermas con roya y hojas caídas enfermas.

➤ Modelos matemáticos

Los datos de los parámetros evaluados fueron sometidos a los distintos ¹ modelos matemáticos, procediéndose de la siguiente manera: “Se realizó la cuantificación de la proporción de la enfermedad (Y) en las distintas evaluaciones, expresándola en forma acumulativa contra el tiempo con la finalidad de diseñar la curva del progreso de la enfermedad” (Hernández, 2004).

Los modelos matemáticos (función linealizada) que se probaron y sus ecuaciones de transformación respectiva fueron:

$$\text{Logit } y = \text{LN } (y) / (1 - y)$$

$$\text{Monit } y = \text{LN } (1) / 1 - y$$

$$\text{Gompit } y = - \text{LN } (- \text{LN } (y))$$

Con este dato se realizó la ⁵ regresión lineal simple para determinar la inclinación de la curva, tasa de incremento (r) y el coeficiente de determinación (R^2), el cual nos indicó el modelo más apropiado.

Posteriormente los datos fueron sometidos a las siguientes formulas (modelos no lineales), con la finalidad de expresar con más precisión los resultados, estos modelos fueron:

$$\text{Monomolecular} = (1 - \text{alfa} * \exp(-\text{beta} * \text{Tiempo}))$$

$$\text{Logístico} = \frac{1}{1 + \text{alfa} * \exp(-\text{beta} * \text{Tiempo})}$$

$$\text{Gompertz} = \exp(-\text{alfa} * \exp(-\text{beta} * \text{Tiempo}))$$

Donde:

β : Tasa de crecimiento

α : Constante de integración

3.2.9. **Area debajo de la curva de progreso de la enfermedad**

Se determinó la tasa de infección y el área debajo de la curva de progreso de la enfermedad (ACPE) para cada parámetro, con la finalidad de observar y analizar el efecto de las aplicaciones en el comportamiento de la roya amarilla, para ello se utilizó la ecuación propuesta por Hernández (2004).

$$\text{A. C. P. E} = \sum_{i=1}^n [(y_i + 1 + y_i)/2] [x_{i+1} - x_i]$$

Donde:

Y_i : Proporción de enfermedad en la enésima observación.

X_i : Tiempo en enésima observación.

n : Número total de observaciones.

Los datos se trabajaron a través del programa libre INFOSTAT para su diferenciación de cada variable estadística.

37

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Número de hojas con roya amarilla

En la Tabla 6, se muestra el ANVA del número de hojas con roya amarilla, donde se observa que a nivel de bloques y tratamientos mostraron diferencias estadísticas altamente

significativas para las variables de total de hojas obtenidas, total de hojas sanas y total de hojas enfermas. De acuerdo con el coeficiente de variabilidad, el total de hojas obtenidas presentó 8,51%, considerado con muy buena homogeneidad, mientras que el total de hojas sanas y el total de hojas enfermas registraron 13,16 y 12,44%, considerados con buena homogeneidad en los resultados (Ruiz, 2010). Calzada (1982), menciona que no debe existir diferencias estadísticas entre bloques; sin embargo, la alta presión de inóculo y la distribución desuniforme de la misma, pudo haber influido para este resultado.

Tabla 6. ANVA para el número total de hojas, total hojas sanas y total hojas enfermas en café cuantificados y acumulados cada 14 días en 2 ramas marcadas/planta de 6 plantas hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.

Fuente de variación	G.L	Total (S+E)		Total sanos		Total enfermos	
		CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.
Bloques	2	504,47	AS	956,29	AS	235,245	AS
Tratamientos	3	509,67	AS	1073,96	AS	404,525	AS
Error experimental	6	67,39		59,95		21,9349	
Total	11						
C.V. (%)		8,51		13,16		12,44	

CV: Coeficiente de variabilidad

AS: Diferencias significativas al 0,01% de probabilidad

En la Tabla 7, se muestra la prueba de Duncan ($\alpha= 0,05$), donde se observa el total de hojas obtenidas, total de hojas sanas y total de hojas enfermas; para el parámetro de hojas totales (sanos + enfermos), el tratamiento T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) ocupó el primer lugar con una cantidad de 106,63 hojas, mas no se diferenció estadísticamente de los tratamientos T₂ (EM.1 al 1%), T₆ (Caldo bordalés) y T₅ (EM.1 al 15%). Para el parámetro de hojas sanas, el tratamiento T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) presentó la mayor cantidad de hojas sanas, diferenciándose de los demás tratamientos, mientras que para las hojas enfermas con roya amarilla, el tratamiento T₅ (EM.1 al 15%) alcanzó la mayor cantidad de hojas enfermas, pero sin diferenciarse estadísticamente de los tratamientos T₁ (Testigo) y T₂ (EM.1 al 1%) y la menor cantidad de hojas enfermas se registró con el tratamiento T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole), diferenciándose estadísticamente de las demás aplicaciones.

Tabla 7. Número de hojas sanas y enfermas con roya amarilla del café cuantificados y acumulados cada 14 días en 2 ramas marcadas/planta de 6 plantas hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.

Clave	Total (S+E)	Clave	Sanos (S)	Clave	Enfermos (E)
-------	-------------	-------	-----------	-------	--------------

	Hojas	Sig.	Hojas	Sig.	Hojas	Sig.		
T ₇	106,63	a	T ₇	88,08	a	T ₅	48,33	a
T ₂	104,17	a	T ₆	71,38	b	T ₁	45,71	a b
T ₆	102,42	a b	T ₂	62,83	b	T ₂	41,33	a b
T ₅	96,98	a b c	T ₃	51,00	c	T ₄	39,71	b
T ₃	89,71	b c	T ₅	48,65	c	T ₃	38,71	b
T ₄	88,13	c	T ₄	48,42	c	T ₆	31,04	c
T ₁	86,98	c	T ₁	41,27	c	T ₇	18,54	d

11 ¹ Tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística. T₁ (Testigo), T₂ (EM.1 al 1%), T₃ (EM.1 al 5%), T₄ (EM.1 al 10%), T₅ (EM.1 al 15%), T₆ (Caldo bordalés) y T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole)

6 ² En la Figura 3, se observa el porcentaje de hojas enfermas obtenidos por la aplicación de los tratamientos para el control de la roya amarilla, donde el tratamiento T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) presentó el menor porcentaje con 17,39% de hojas enfermas, seguido del tratamiento T₆ (Caldo bordalés) con 30,31%, mientras que el tratamiento T₁ (Testigo) presentó el mayor porcentaje con 52,55% de hojas enfermas.

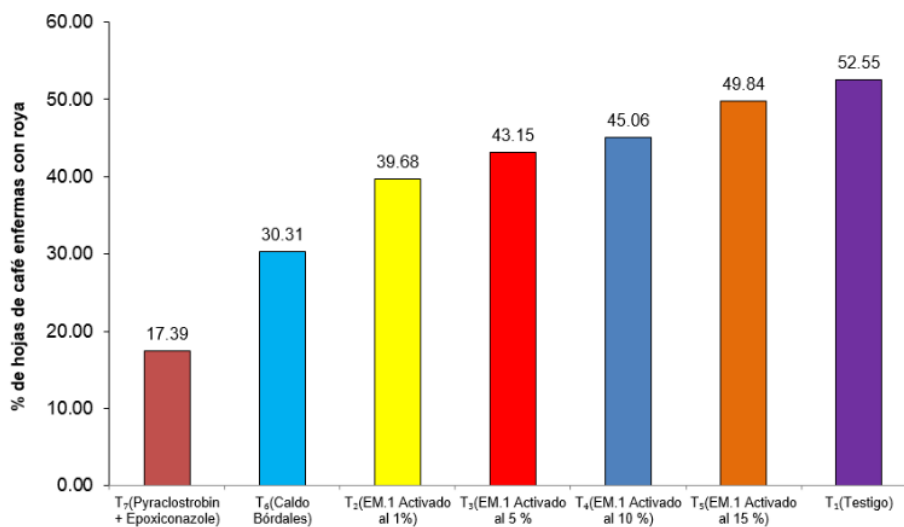
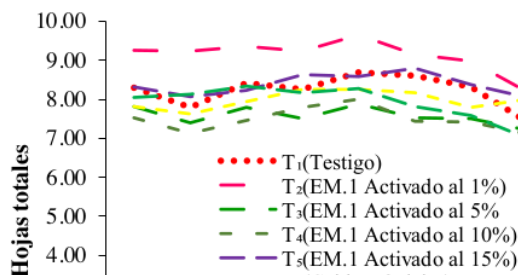


Figura 3. Porcentajes de hojas enfermas con roya amarilla en la var. Caturra roja de noviembre 2013 a mayo 2014.



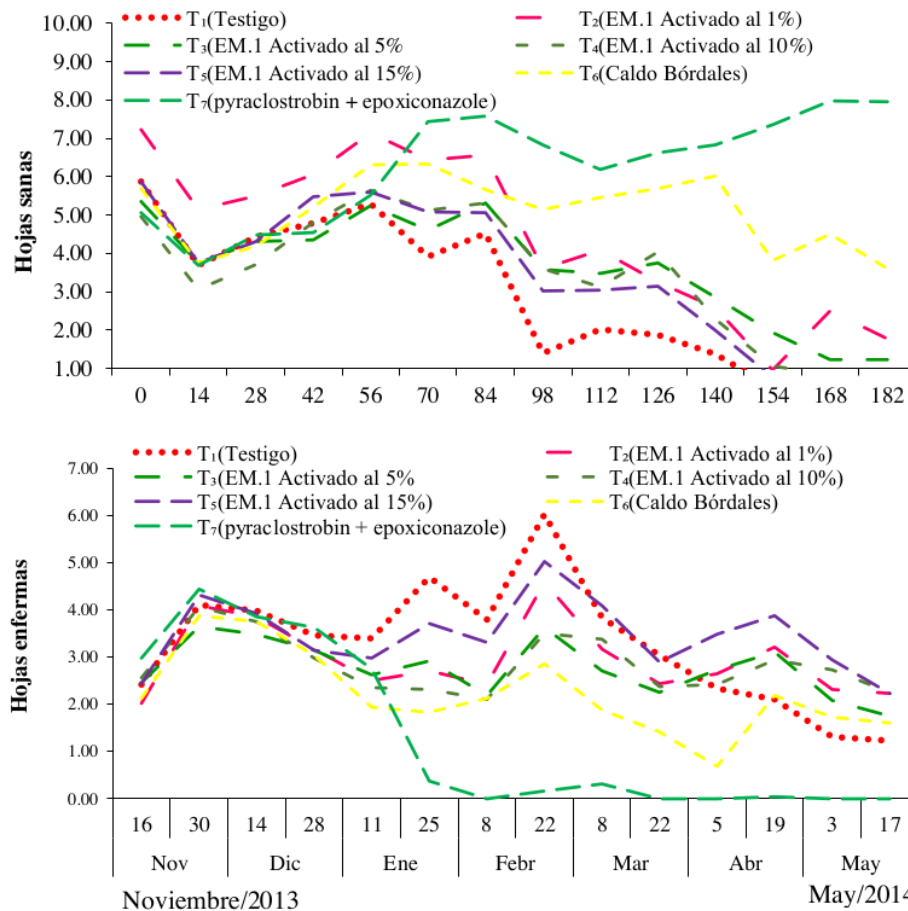


Figura 4. Variación del número de hojas totales, sanas y enfermas con *Hemileia vastatrix* en 182 días de evaluación.

En la Figura 4, se presenta la variación del porcentaje de hojas sanas, enfermas y totales durante el período de evaluación, donde se observa que al inicio del experimento hubo poca variación en la cantidad de hojas enfermas, sanas y totales, debido a que la enfermedad se hallaba bien distribuida en los campos seleccionados, sin embargo, la variación fue aumentando en el

transcurso del tiempo, en tanto que al final del experimento se obtuvo la máxima variación, por lo que los tratamientos T₆ (Caldo bordalés) y T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) obtuvieron la menor cantidad de hojas enfermas y la mayor cantidad de hojas sanas y totales, mientras que el tratamiento T₁ (Testigo) **presentó la mayor cantidad de hojas enfermas y la menor cantidad de hojas totales** debido a la defoliación causada por *H. vastatrix*.

Barquero (2013) menciona que *H. vastatrix* en su primera etapa provoca defoliaciones lentas, hasta que el proceso se acelera y llega a la máxima defoliación. Según Virginio y Astorga (2015), las lesiones comienzan a desarrollarse en los bordes de las hojas, donde las gotas de lluvia y rocío se juntan. Luego el centro de las lesiones comienza a secarse y tomar un color café, mientras que los márgenes siguen expandiéndose y produciendo “uredosporas”. Las hojas enfermas caen prematuramente dejando a las ramas plagiotrópicas desprovistas de hojas, es de esta forma como la enfermedad progresa hasta defoliar completamente la planta.

4.2. Incidencia acumulada de la roya amarilla del café

En la Tabla 8, se presenta el ANVA de los porcentajes de incidencia de la roya amarilla, donde presentaron diferencias estadísticas altamente significativas para el efecto de bloques y tratamientos. La diferencia entre bloques no fue una condición deseada puesto que refleja que existió intensión de ataque, lo que significa que el inoculo no se distribuyó en forma uniforme en todas las parcelas o en ciertas partes que existieron mejores condiciones para el desarrollo de la enfermedad. Con respecto al coeficiente de variabilidad, la incidencia acumulada presentó 10,75%, el cual indica buena homogeneidad en los resultados (Ruiz, 2010).

Tabla 8. ANVA para la incidencia acumulada de la roya amarilla del café cada 14 días en 2 ramas marcadas/planta de 6 plantas hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Sig.
Bloques	3	0,158	0,053	AS
Tratamientos	6	0,361	0,060	AS
Error experimental	18	0,034	0,002	
Total	27	0,553		
CV (%)	10,75			

CV: Coeficiente de variabilidad; AS: Diferencias significativas al 0,01% de probabilidad

En la Tabla 9, se presenta la comparación de medias de la proporción de incidencia acumulada de la roya amarilla, donde se observa que los tratamientos T₁ (Testigo) y T₅ (EM.1 al 15%) alcanzaron los mayores valores con 53 y 50%, mas no mostraron **diferencias estadísticas significativas entre** ambos, mientras que los **tratamientos** T₆ (Caldo bordalés) y T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) alcanzaron la menor proporción de incidencia acumulada con

30 y 18%, pero diferenciándose estadísticamente entre ellas. De igual forma, Cordero (2017) reportó que la aplicación de Pyraclostrobin + Epoxiconazole presenta mayor período de control, a los 105 días después de la aplicación alcanzó 31,37% de incidencia de roya (IR), a diferencia de los otros tratamientos como Trifloxistrobin + Cyproconazol (+ 50% IR) y Triadimenol + Tebuconazol + Trifloxistrobin (+ 50% IR). Asimismo, Gamarra et al. (2015) realizaron 3 tipos de control para la roya amarilla de café, donde el manejo convencional mediante Oxiclورو de cobre - Pyraclostrobin + Epoxiconazole (Opera) / Oxiclورو de cobre - Cyproconazole + Azoxystrobin (Amistar Xtra) reportaron el menor promedio de severidad con 3,77%, frente a otros tratamientos que alcanzaron 11,85% (manejo orgánico) y 37,83% (café tradicional - testigo). Frente a estas respuestas de control podemos decir que Pyraclostrobin + Epoxiconazole es el mejor control para la roya amarilla. Además, Souza et al. (2019) reportaron que los fungicidas Epoxiconazole + Pyraclostrobin, Azoxistrobin + Ciproconazol y Tebuconazole (dos aplicaciones) presentaron 21, 26 y 33% de incidencia, sin diferenciarse estadísticamente entre ellos, por tanto, presentando mayor eficiencia en el control al ser estadísticamente significativo en relación con el Oxiclورو de cobre y Tebuconazole con una sola aplicación, estos dos últimos tratamientos no presentaron diferencias estadísticas. Todos los tratamientos con fungicidas superan estadísticamente al testigo en el control de *H. vastatrix*.

Asimismo, el tratamiento T₆ (Caldo bordalés) obtuvo un buen resultado en el control de la roya amarilla con 30% de incidencia, este hecho se cree que es debido a la función de protección que ejercen los compuestos tales como el sulfato de cobre y la cal, los cuales forman una capa protectora que evita el desarrollo del hongo (Bejarano y Restrepo, 2002); asimismo, Vera et al. (2013) realizaron trabajos de investigación, donde el caldo bordalés evidenció una mejor respuesta al grado de enfermedad (25% de incidencia de la roya amarilla), siendo aún mejor cuando se aplicó en mayor cantidad (siete veces), además de una buena fertilización, poda y control de malezas.

Tabla 9. ¹ Comparación de medias (Duncan $\alpha=0,05$) de la incidencia acumulada ²² de la roya amarilla del café cuantificados cada 14 días en 2 ramas marcadas/planta de 6 plantas hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.

Clave	Tratamiento	Promedio de incidencia acumulada	
	Producto	Proporción.	Sig.
T ₁	Testigo	0,53 (53%)	a
T ₅	(EM.1 al 15%)	0,50 (50%)	a b

T ₄	(EM.1 al 10%)	0,46 (46%)	b	c
T ₃	(EM.1 al 5%)	0,44 (44%)	b	c
T ₂	(EM.1 al 1%)	0,41 (41%)		c
T ₆	Caldo bordalés	0,30 (30%)		d
1 T ₇	Pyraclostrobin + Epoxiconazole	0,18 (18%)		e

Tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística

El tratamiento **T₁** (Testigo) ejerció el menor control sobre la roya amarilla, debido a que no se aplicó ningún fungicida, sin embargo, podría haberse visto favorecida por otros factores. Por otro lado, las parcelas donde se aplicaron los tratamientos T₂ (EM.1 al 1%), T₃ (EM.1 al 5%), T₄ (EM.1 al 10%) y T₅ (EM.1 al 15%) mostraron poca eficiencia cuando se trata de controlar la enfermedad, sin embargo, podrían usarse como prevención de muchas enfermedades. Al respecto BID (2009) recomienda el uso de microorganismos eficientes de manera preventiva sobre los patógenos en diferentes cultivos.

La aplicación de microorganismos eficientes (EM.1) en sus diferentes concentraciones resultaron con incidencias similares, pero en relación inversa a la concentración, de modo que se encontró que a menores concentraciones el efecto de control es mayor que a una concentración elevada, esto se puede observar claramente en la Tabla 9, donde el tratamiento T₂ (EM.1 al 1%) resultó con una incidencia de 41%, mientras que el tratamiento T₅ (EM.1 al 15%) resultó con un 50% de incidencia de roya, una primera explicación de estos resultados, sería que debido a la aplicación de altas concentraciones de EM.1 estos pudieron haber favorecido la germinación de las esporas del hongo favoreciendo su multiplicación, ya que la melaza tiene un gran contenido en carbohidratos el cual es un medio fundamental para el desarrollo de múltiples patógenos. Al respecto Caycedo et al. (2021) dan a conocer que ²⁸ la mayoría de los medios de cultivo para bacterias y hongos usan compuestos de carbono como fuente de energía y otros, para la síntesis celular, aun así la aplicación de ME ha demostrado ser superior al testigo dando evidencia un efecto de control muy próximo al obtenido por el Caldo bordalés, al respecto Romero-Cortes et al. (2015), mencionan cómo, entre los mecanismos de acción de los microorganismos antagónicos, se destacan la competencia por el espacio y los nutrientes, la antibiosis, el parasitismo o el micoparasitismo. En este proceso, el microorganismo antagonista parasita las células del patógeno y las daña retrayendo la membrana plasmática, desorganizando el citoplasma y provocando otros procesos celulares.

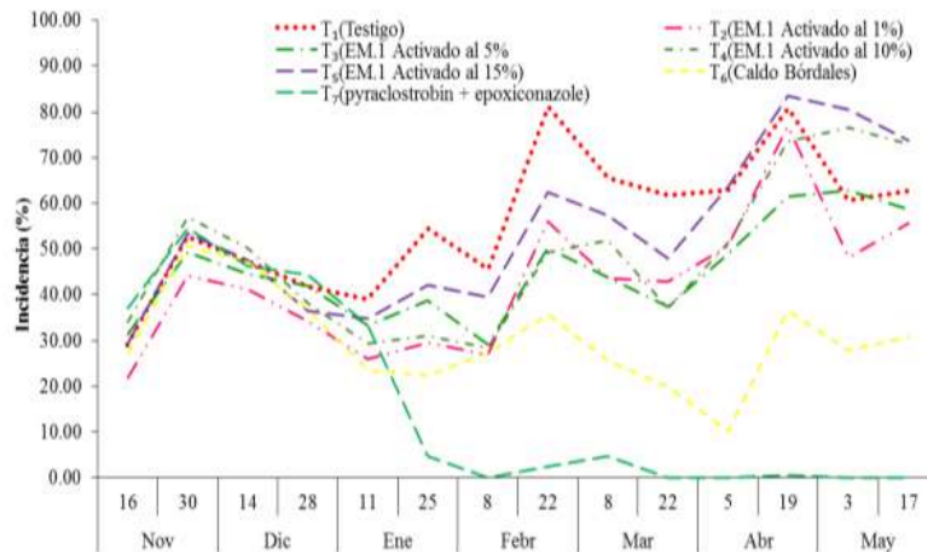


Figura 5. Variación de la incidencia de *Hemileia vastatrix* en las hojas de café hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.

En la Figura 5, se presenta la variación de las incidencias en cada evaluación donde se observa que al inicio del experimento hubo poca variación en la cantidad de incidencia de *H. vastatrix*, es así como los tratamientos incidencias similares, sin embargo, la variación fue aumentando a partir de la quinta evaluación, por efecto de los tratamientos, al final del experimento la incidencia alcanzo su máxima variación donde los tratamientos T₆ (Caldo bordalés) y T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) obtuvieron el menor porcentaje de incidencia, mientras que el tratamiento T₁ (Testigo) presentó incidencias similares a las aplicaciones de microorganismos eficientes.

El efecto de control de la enfermedad pudo haber sido afectado en mayor y menor medida por otros factores no controlables, pudiendo haber influido de manera negativa en los resultados, por lo que Barquero (2013) enfatiza que, la curva de incidencia, gravedad y progresión de la enfermedad; la calidad de cobertura, dosis, eficacia, modo de acción, tenacidad e impacto residual del fungicida; el ciclo de vida del patógeno; y la variabilidad climática son los elementos que influyen en la efectividad del control químico..

4.3. Comportamiento de la enfermedad

4.3.1. Proporción acumulada de la roya amarilla del café

En la Tabla 10, se muestra los resultados (proporción acumulada de la enfermedad) de los tratamientos ajustados a los modelos matemáticos Monomolecular, Logístico y Gompertz. De los modelos matemáticos probados, el más apropiado para la proporción de la enfermedad (*Hemileia vastatrix*) fue el modelo Monomolecular, ya que los diferentes tratamientos tuvieron correlaciones mayores a 0,9877 y los coeficientes medios del error fueron bajos en comparación con los demás modelos. Sin embargo, el tratamiento T₇ (Pyraclostrobin + Epxiconazole) tuvo el más bajo coeficiente de correlación (0,6212) y alto el coeficiente medio del error (0,00094).

En los resultados obtenidos se puede observar que, pese a que *H. vastatrix* es una enfermedad policíclica, se ajusta al modelo matemático para enfermedades monocíclicas. Cochachi (1994); Hernández (2004) encontraron que el modelo Gompertz explica mejor la curva del progreso de la enfermedad, a diferencia de los modelos logístico y monomolecular, este hecho se cree que es debido a que los fungicidas han tenido un efecto positivo en el control de la enfermedad, por lo que el crecimiento de la curva fue constante. Sin embargo, la descripción de la curva del progreso de la enfermedad no solo se le puede atribuir a la eficiencia de los fungicidas, sino a otros factores exógenos de gran importancia tal como la altitud que hace que la curva de progreso de la enfermedad varié. Esto puede ser corroborado por Barquero (2013), quien da a conocer que a altitudes bajas la incidencia de la enfermedad es acelerado, mientras que en altitudes medias a altas el progreso es más y constante, por lo que se cree que en esta investigación *H. vastatrix* tuvo un crecimiento lento debido a que se hizo en una zona de altitud alta (1 391 msnm).

Tabla 10. Modelos matemáticos ajustados para la proporción acumulada de la roya amarilla del café cuantificados cada 14 días en 2 ramas marcadas/planta de 6 plantas hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.

Modelos	Tratamientos	Parámetros	Estimación	R ²	CMerror	Sig.
Monomolecular=(1-alfa*exp(-beta*Tiempo))	17 T1	α	0,9881	0,9893	0,00028	< 0,0001
		β	0,0046			< 0,0001
	T2	α	0,9813	0,9973	0,00004	< 0,0001
		β	0,0030			< 0,0001
	T3	α	0,9742	0,9984	0,00002	< 0,0001
		β	0,0033			< 0,0001
	T4	α	0,9708	0,9956	0,00008	< 0,0001
		β	0,0032			< 0,0001
	T5	α	0,9917	0,9935	0,0002	< 0,0001
		β	0,0037			< 0,0001
	T6	α	0,9577	0,9878	0,0001	< 0,0001
		β	00019			< 0,0001
	T7	α	0,9086	0,6212	0,00094	< 0,0001
		β	0,0008			0,0007
Logístico 1/(1+alfa*exp(-beta*Tiempo))	29 T1	α	8,474	0,8877	0,0017	< 0,0001
		β	0,01			< 0,0001
	T2	α	10,979	0,8719	0,001	< 0,0001
		β	0,009			< 0,0001
	T3	α	9,982	0,8907	0,001	< 0,0001
		β	0,008			< 0,0001
	T4	α	9,8484	0,8924	0,0006	< 0,0001
		β	0,0085			< 0,0001
	T5	α	10,479	0,9071	0,001	< 0,0001
		β	0,0096			< 0,0001
	T6	α	10,999	0,8059	0,0012	< 0,0001
		β	0,007			< 0,0001
	T7	α	8,3086	0,5119	0,0049	< 0,0001
		β	0,0031			0,0049
Gompertz exp(-alfa*exp(-beta*Tiempo))	17 T1	α	2,5764	0,9572	0,001	< 0,0001
		β	0,006			< 0,0001
	T2	α	2,747	0,9558	0,0003	< 0,0001
		β	0,0047			< 0,0001
	T3	α	2,6433	0,9626	0,0003	< 0,0001
		β	0,0048			< 0,0001
	T4	α	2,6223	0,9647	0,0003	< 0,0001
		β	0,0048			< 0,0001
	T5	α	2,7678	0,9759	0,0002	< 0,0001
		β	0,0056			< 0,0001
	T6	α	2,6358	0,8965	0,0005	< 0,0001
		β	0,0033			< 0,0001
	T7	α	2,271	0,5523	0,0028	< 0,0001
		β	0,0015			0,0028

β : Tasa de crecimiento; α : Constante de integración

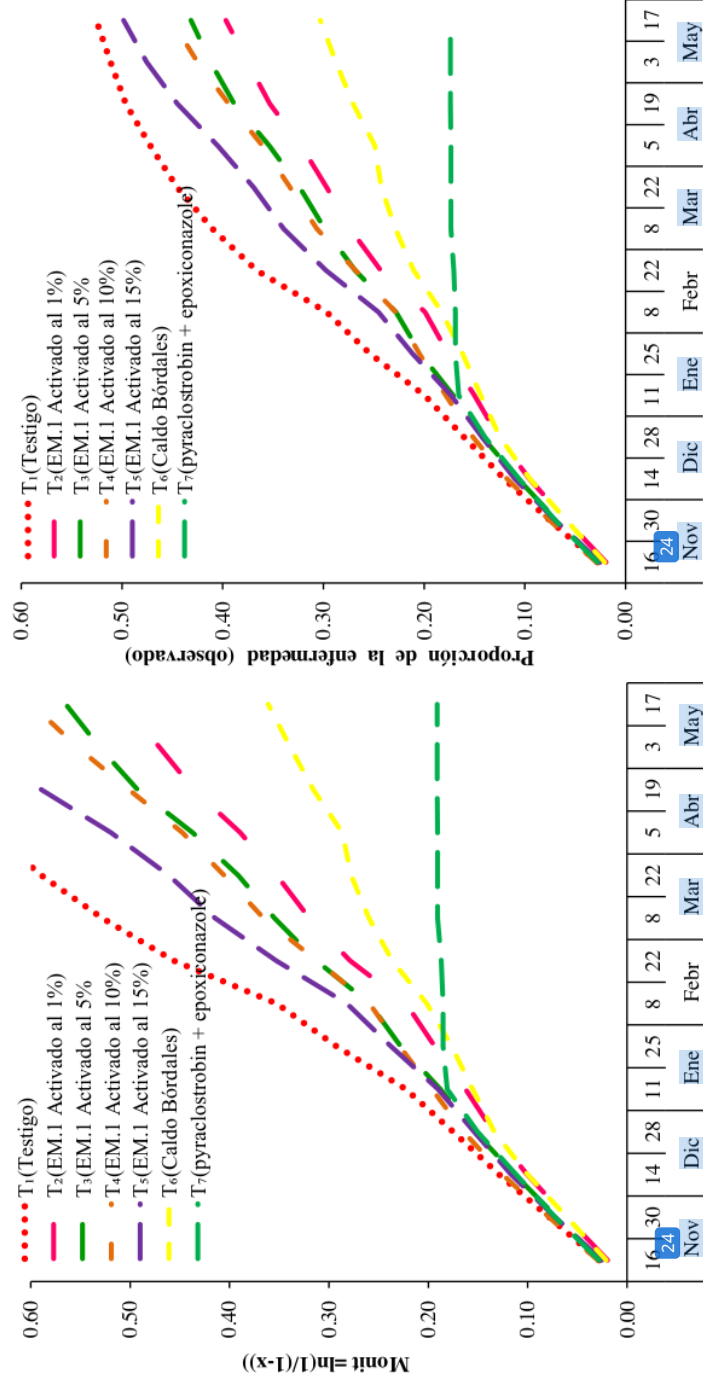
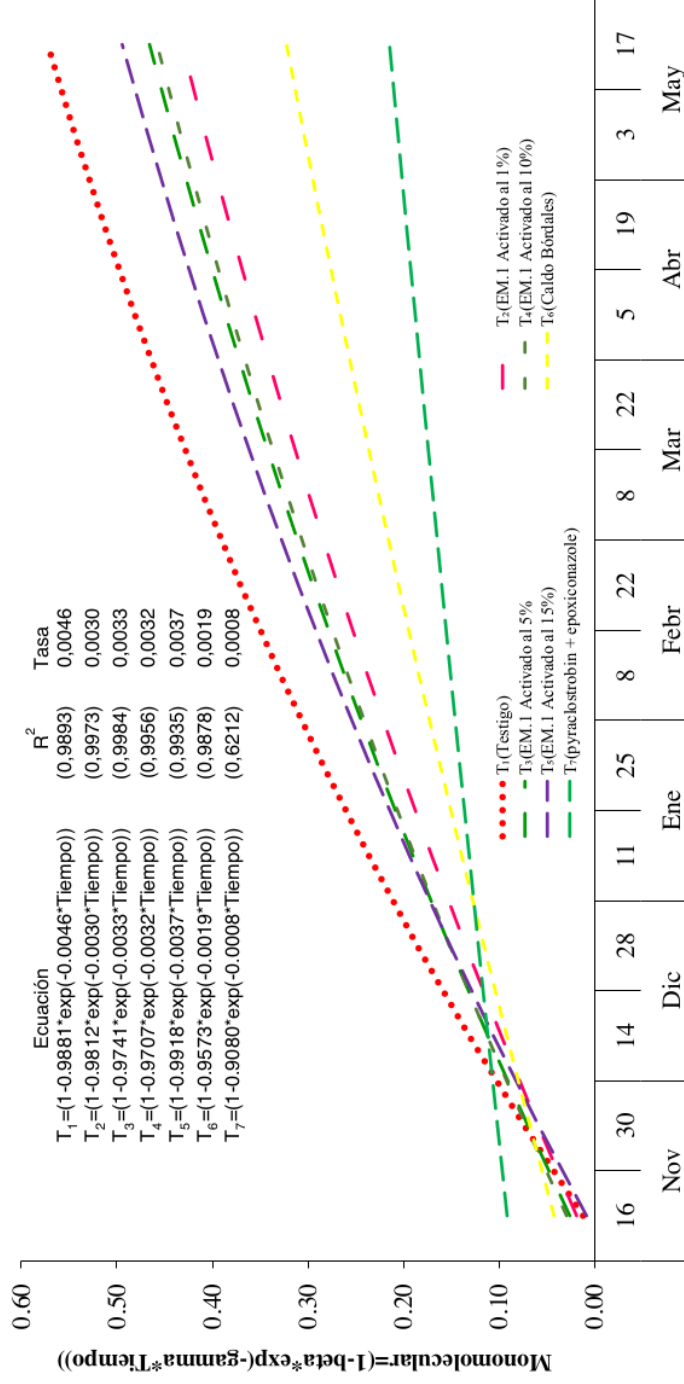


Figura 6. Curva de progreso de la roya amarilla (datos originales) por efecto de los tratamientos hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.



1 **Figura 7.** Curva de progreso de la roya amarilla (datos ajustados bajo el modelo monomolecular) por efecto de los tratamientos hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.

Ahora si bien sabemos que el clima es un factor esencial que determina la curva de progreso de la enfermedad y que en altitudes medias a altas se cree que el mejor ajuste es al modelo Monomolecular, mientras que en altitudes bajas donde la enfermedad se desarrolla con más velocidad el ajuste más adecuado es al modelo Gompertz o Logístico, sin embargo, un buen control podría distorsionar la interpretación de los resultados, por lo que al momento de modelar las proporciones de la enfermedad se debe tener en cuenta todos los factores exógenos y endógenos que afectan a la epidemia. Al respecto estudios hechos por Cochachi (1994), en el control de roya del cafeto a una altitud de 660 msnm, mostró que el crecimiento de la enfermedad seguía una tendencia exponencial.

En la Tabla 11 y Figura 6, se muestran la proporción acumulada de la enfermedad, promedio de 4 repeticiones de los distintos tratamientos de las 14 evaluaciones. Se muestra que el tratamiento T₁ (Testigo) alcanzó la mayor proporción acumulada de la enfermedad con 0,53, mientras que los tratamientos T₆ (Caldo bordalés) y T₇ (Pyraclostrobin + Epxiconazole) controlaron mejor la enfermedad, presentando los valores más bajos de la proporción acumulada de la enfermedad.

Tabla 11. Proporción acumulada de la roya amarilla del café (datos originales) cuantificados cada 14 días en 2 ramas marcadas/planta de 6 plantas hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.

Tiempo (días)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇
0	0,0278	0,0194	0,0274	0,0291	0,0251	0,0207	0,0279
14	0,0750	0,0586	0,0680	0,0752	0,0696	0,0586	0,0696
28	0,1207	0,0956	0,1068	0,1177	0,1100	0,0952	0,1057
42	0,1605	0,1260	0,1419	0,1515	0,1424	0,1249	0,1397
56	0,1995	0,1500	0,1712	0,1783	0,1731	0,1438	0,1655
70	0,2534	0,1760	0,2037	0,2045	0,2114	0,1617	0,1690
84	0,2970	0,1992	0,2281	0,2284	0,2455	0,1825	0,1690
98	0,3662	0,2432	0,2685	0,2681	0,2973	0,2103	0,1706
112	0,4103	0,2736	0,2987	0,3064	0,3394	0,2286	0,1735
126	0,4453	0,2970	0,3237	0,3333	0,3693	0,2425	0,1735
140	0,4721	0,3224	0,3542	0,3608	0,4052	0,2492	0,1735
154	0,4963	0,3532	0,3888	0,3941	0,4451	0,2705	0,1739
168	0,5114	0,3754	0,4120	0,4251	0,4754	0,2874	0,1739
182	0,5255	0,3968	0,4315	0,4506	0,4984	0,3031	0,1739

4.3.2. Tasa de infección de la roya amarilla del café

En la Tabla 12, se presenta el ANVA realizado a las distintas tasas de infección correspondientes a los tratamientos, donde se observa que hay diferencias estadísticas altamente significativas para el efecto de bloques y tratamientos. El coeficiente de variabilidad

que registró la tasa de infección fue 21,06%, el cual señala que los resultados fueron relativamente variables, esto se debe a muchos factores, siendo uno de los más importantes los factores ambientales, sin embargo, estos resultados son aceptables para las condiciones donde se realizó el trabajo experimental.

Tabla 12. ANVA de la tasa de infección promedio acumulada de la roya amarilla del café cuantificados cada 14 días en 2 ramas marcadas/planta de 6 plantas hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.

Fuente de variación	GI	SC	CM	Sig.
Bloques	3	2,7E-05	9,1E-06	AS
Tratamientos	6	3,6E-05	6,0E-06	AS
Error experimental	18	6,8E-06	3,8E-07	
Total	27	7,0E-05		
CV (%)	21,06			

C.V: Coeficiente de variabilidad; AS: Diferencias significativas al 0,01% de probabilidad

En la Tabla 13, se presenta la prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para la tasa de infección de la enfermedad, con el objetivo de ver cuál es aritmética y estadísticamente el mejor tratamiento; se observa que presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, siendo los mejores tratamientos el T₆ (Caldo bordalés) y T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole), ya que presentaron una menor tasa de infección con 0,0019 y 0,0008 respectivamente, mientras que los tratamientos donde se aplicaron microorganismos eficientes no mostraron diferencias estadísticas significativas; por su parte el T₁ (Testigo) alcanzó la mayor tasa con un valor de 0,0046, diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos.

Tabla 13. Comparación de medias (Duncan $\alpha = 0,05$) de la tasa de infección promedio acumulado de la roya amarilla del café cuantificados cada 14 días en 2 ramas marcadas/planta de 6 plantas hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.

Clave	Tratamiento Fungicidas	Promedio de Tasa de infección	
		Proporción	Sig.
T ₁	Testigo	0,0046	a
T ₅	(EM.1 al 15%)	0,0037	b
T ₃	(EM.1 al 5%)	0,0033	b
T ₄	(EM.1 al 10%)	0,0032	b
T ₂	(EM.1 al 1%)	0,0030	b
T ₆	Caldo bordalés	0,0019	c
T ₇	(Pyraclostrobin + Epoxiconazole)	0,0008	d

Tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística

4.3.3. Área debajo de la curva del progreso de la enfermedad ²⁶

En la Tabla 14, se muestra el ANVA ² para el área debajo de la curva del progreso de la enfermedad, donde se observa que a nivel de bloques y tratamientos presentaron diferencias estadísticas altamente significativas, con un coeficiente de variabilidad de 14,32%, considerado con buena homogeneidad en los resultados (Ruiz, 2010).

Tabla 14. ANVA para el área debajo de la curva del progreso de la roya amarilla del café ¹ cuantificados cada 14 días en 2 ramas marcadas/planta de 6 plantas hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Sig.
Bloques	3	3130,12	1043,37	AS
Tratamiento	6	2437,69	406,28	AS
Error experimental	18	697,86	38,77	
Total	27	6265,67		
CV (%)	14,32			

¹: Coeficiente de variabilidad

AS: Diferencias significativas al 0,01% de probabilidad

En la Tabla 15, se presenta la prueba de Duncan ($\alpha=0,05$), donde se encontró mayor área debajo de la curva del progreso de la enfermedad con el tratamiento T₁ (Testigo) con 58,17, sin diferenciarse estadísticamente del tratamiento T₅ (EM.1 al 15%) con 49,73, por lo que se puede señalar que estos tratamientos lograron la mayor tasa de infección, a su vez el tratamiento T₅ (EM.1 al 15%) fue similar estadísticamente a los tratamientos T₄ (EM.1 al 10%), T₃ (EM.1 al 5%) y T₂ (EM.1 al 1%) con 47,03, 45,72 y 41,85. También destacaron estadísticamente los tratamientos T₆ (Caldo bordalés) y T₇ (Pyraclostrobin + Epxiconazole), quienes obtuvieron los promedios más bajos del ADCPE.

Tabla 15. Comparación de medias (Duncan $\alpha=0,05$) del área debajo de la curva de progreso de la roya amarilla del café ²³ cuantificados cada 14 días en 2 ramas marcadas/planta de 6 plantas hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.

Clave	Tratamiento Fungicidas	Promedio de Tasa de ADCPE	
		u	Sig.
T ₁	Testigo	58,17	a
T ₅	(EM.1 al 15%)	49,73	a b
T ₄	(EM.1 al 10%)	47,03	b
T ₃	(EM.1 al 5%)	45,72	b
T ₂	(EM.1 al 1%)	41,85	b c
T ₆	Caldo bordalés	33,88	c
T ₇	(Pyraclostrobin + Epxiconazole)	27,92	d

Tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística

Por todo lo mencionado, ²⁰ se observa que las tasas de progreso de la enfermedad guardan una relación directamente proporcional a la ADCPE, lo que indica que una mayor ADCPE es el resultado de una alta tasa de crecimiento de la enfermedad, este hecho se puede ver claramente en las Tablas 13 y 15, donde el tratamiento T₆ (Caldo bordalés) obtuvo una tasa de infección de 0,0019 y un ADCPE de 33,88, mientras que el tratamiento T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) alcanzó una tasa de infección de solo 0,0008 y un ADCPE de 27,92. Ahora la tasa de infección y el ADCPE podrían estar bien correlacionadas inversamente a una mayor o menor incidencia de la enfermedad tal como se ve en la Tabla 9, donde la aplicación del tratamiento T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) redujo la incidencia de la enfermedad, dando como resultado una menor proporción acumulada de la enfermedad con 18%, al mismo tiempo que tuvo tasas y áreas menores en comparación con los demás tratamientos, lo mismo sucedió con el tratamiento T₁ (Testigo), quien obtuvo la mayor incidencia con 53%, al mismo tiempo que obtuvo una mayor área y tasa de infección; estos resultados son corroborados por Cochachi (1994), ²⁸ quien encontró la misma relación entre el ADCPE y las tasas de infección con la incidencia de la enfermedad, sin embargo, ²⁸ la variación del inicio de la enfermedad entre otros factores podrían distorsionar esta correlación encontrándose que enfermedades que tienen una menor ADCPE alcanzan mayores porcentajes de incidencias y viceversa. Al respecto Barquero (2013) menciona que cafetales con incidencia de *H. vastatrix* inicialmente baja, podría sufrir daños iguales al final de la cosecha, comparada con un cafetal que inicio con una incidencia mayor.

Por otro lado, ⁵ uno de los factores que afectan en la incidencia de la enfermedad es el inoculo inicial, en la Tabla 11 se observa que a pesar de que las parcelas donde se aplicó el tratamiento T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) tuvieron inicialmente una incidencia mayor (0,0279), al final del experimento resultaron con menores incidencias, debido al control que ejerció el fungicida. En la Figura 5, se observa que el tratamiento T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) ejerce control a los 2 meses de la primera aplicación, mientras que los demás tratamientos tratan de controlar en menor medida impidiendo el desarrollo exponencial de la enfermedad. Al respecto Hernández (2004) encontró que las parcelas con mayor inoculo inicial ²⁰ tenían al final de las cosechas mayores incidencias.

²⁰ En la Figura 8, se observa el área debajo de la curva del progreso de la enfermedad con los datos originales, donde la mayor área fue alcanzada por el tratamiento T₁ (Testigo).

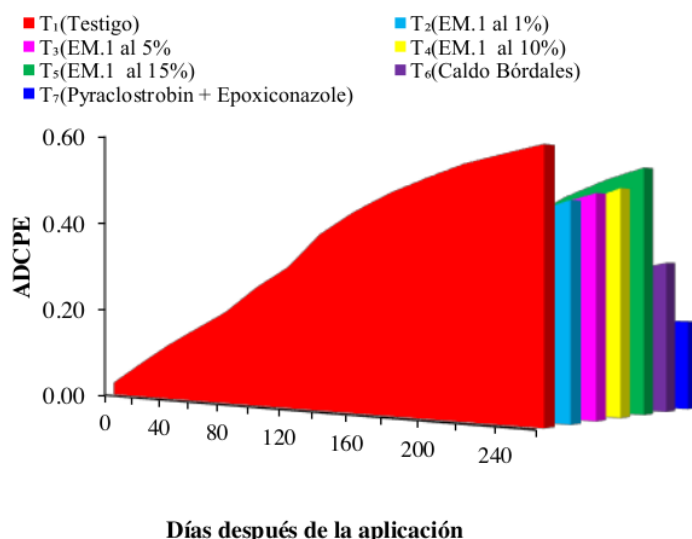


Figura 8. Área debajo de la curva del progreso de la roya amarilla del café cuantificados cada 14 días en 2 ramas marcadas/planta de 6 plantas hasta los 182 días después de la aplicación de los tratamientos.

4.4. Rendimiento del café pergamino (kg/ha)

En la Tabla 16, se muestra el ANVA para el rendimiento de café pergamino (kg/ha), donde se observa que a nivel de bloques presentó diferencias estadísticas altamente significativas, mas no se encontró diferencias estadísticas significativas a nivel de tratamientos. El coeficiente de variabilidad para el rendimiento de café pergamino fue 31,34%, considerado muy variable en la homogeneidad de los resultados (Ruiz, 2010).

Tabla 16. ANVA del rendimiento de café pergamino (kg/ha)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Sig.
Bloques	3	230415,00	76805,00	AS
Tratamiento	6	210373,00	35062,17	NS
Error experimental	18	257071,00	4281,72	
Total	27	697859,00		

CV (%) 31,34

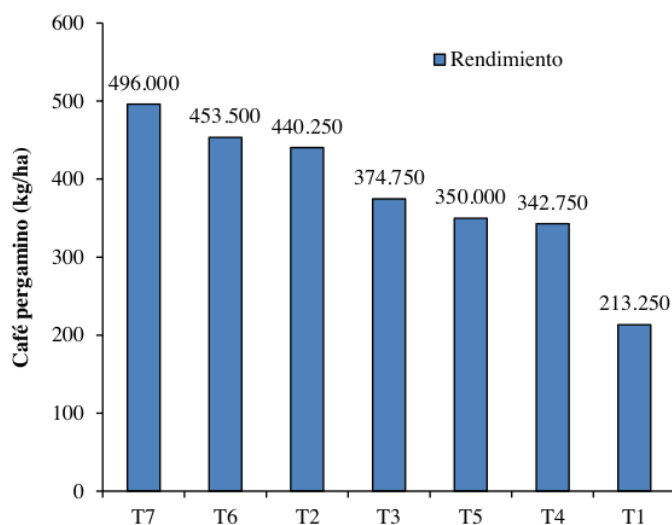
CV: Coeficiente de variabilidad

NS : No existe significancia

AS : Diferencias significativas al 0.01% de probabilidad

Estos resultados pueden ser explicados por la Tabla 7, pese a no presentar diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, existe una correlación negativa entre la cantidad de hojas enfermas y el rendimiento, por lo que los tratamientos T₆ (Caldo bordales) y T₇ (Pyraclostrobin + Epxiconazole) resultaron con mayor rendimiento (Figura 8) al presentar 453,50 y 496,00 kg/ha respectivamente, mientras que el tratamiento (Testigo) solo

alcanzó 213,25 kg/ha. Este hecho puede ser corroborado por Julca et al. (2013), quienes mencionan que aproximadamente un 50% de los compuestos fenólicos pasan de las hojas a los frutos en períodos de fructificación, explicando que existe un efecto negativo de la defoliación en el rendimiento de café.



T₁ (Testigo); T₂ (EM.1 al 1%); T₃ (EM.1 al 5%); T₄ (EM.1 al 10%); T₅ (EM.1 al 15%); T₆ (Caldo bordalés) y T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole)

Figura 9. Rendimiento de café pergamino (kg/ha) por efecto de los tratamientos en estudio

El principal problema de la baja productividad en el período 2012 - 2013 fue por la presencia de la roya amarilla, donde se registraron valores entre 626 - 558 kg/ha de café (Castrillón et al., 2017). Además, la falta de manejo agronómico fitosanitario y la fertilización han contribuido al incremento los niveles de la enfermedad en la campaña agrícola (Gamarra et al., 2015). Causando que la mayor cantidad de café producido sea de menor tamaño y con defectos, es decir, el porcentaje de almendras sanas disminuye (Rivillas et al., 2011).

4.5. Análisis económico de los tratamientos

En la Tabla 17, se muestra de forma detallada los costos de los insumos y los costos de aplicación por tratamiento, además de los costos adicionales como son la cosecha, poda y deshierbo, datos expresados en hectáreas. Se determinó el índice de rentabilidad (Benéfico/Costo) a partir de los costos de producción y el ingreso bruto.

A pesar que no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos para el rendimiento, los tratamientos T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) y T₆ (Caldo bordalés) con 496,00 y 453,50 kg/ha presentaron la mayor utilidad neta con S/. 1 410,25 y 1 177,05 respectivamente, superando a los tratamientos donde se aplicó microorganismos eficientes,

cuyos retornos en fueron negativos, con excepción del T₂ (EM.1 activado al 1%) que resultó con un índice de rentabilidad de S/ 0,22, es ³¹ decir que por cada sol invertido se obtiene un beneficio de S/ 1.22, si bien estos beneficios son aceptables requieren un mayor costo que los demás tratamientos debido al elevado número de aplicaciones (12 aplicaciones), en comparación con los tratamientos T₆ (Caldo bordalés) y T₇ (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) (máximo 3 aplicaciones), en ese sentido Nicholson (2002). Menciona que al reducir los costos y aumentar los rendimientos darán por resultado mayores índices de rentabilidad, no obstante, aunque la aplicación de microorganismos eficientes no tenga buena rentabilidad aportan muchos beneficios que al ser valorados económicamente podrían tener retornos mayores.

¹ Por otro lado, el tratamiento T₁ (Testigo) alcanzó un retorno intermedio de S/. ³¹ 0,40 es decir que por cada sol invertido se obtiene un beneficio de S/ 1.40, al mismo tiempo que alcanzo una utilidad neta de S/. 392,78, esto debido a que no existe gastos en aplicación e insumos, lo que no ocurre con la aplicación de microorganismos eficientes al 5, 10 y 15%, que presentaron una utilidad neta negativa de S/. -466.08, -1 439,83 y -2 219,85 respectivamente, lo que significa en términos de beneficio costo que no hubo generación de beneficios o el beneficio no cubre la inversión, con lo que nos insta a elegir el mejor producto para una determinada circunstancia, esto implica decir que las aplicaciones de microorganismos eficientes pueden dar resultados diferentes e incluso mejores resultados bajo otras condiciones ambientales.

Tabla 17. Análisis económico de los tratamientos para el control de la roya amarilla del café

Clave	Insumos	Costo de aplicación		Costo adicional (S/.)		Costos de producción (S/.)	Rdto. (kg/ha)	Ingreso Total (S/.)	Utilidad Neta (S/.)	Índice Rent. (%) (B/C)
		Poda y deshierbo	Cosecha	Poda y deshierbo	Cosecha					
T ₁	0,00	0,00	660,00	333,35	993,35	213,25	1 386,13	392,78	0,40	
T ₂	163,20	840,00	660,00	688,25	2 351,45	440,25	2 861,63	510,18	0,22	
T ₃	816,00	840,00	660,00	585,95	2 901,95	374,75	2 435,88	-466,08	-0,16	
T ₄	1 632,00	840,00	660,00	535,70	3 667,70	342,75	2 227,88	-1 439,83	-0,39	
T ₅	2 448,00	840,00	660,00	546,85	4 494,85	350,00	2 275,00	-2 219,85	-0,49	
T ₆	192,00	210,00	660,00	708,70	1 770,70	453,50	2 947,75	1 177,05	0,66	
T ₇	239,00	140,00	660,00	774,75	1 813,75	496,00	3 224,00	1 410,25	0,78	

T₂ = Costo de aplicación de Microorganismos eficientes (1%) = S/3,4/L x 1 L/ha-4 x 12 aplicaciones + S/. 840,00 (Costo de aplicación total) = S/. 1 003,20/ha.

T₃ = Costo de aplicación de Microorganismos eficientes (5%) = S/3,4/L x 1 L/ha-20 x 12 aplicaciones + S/. 840,00 (Costo de aplicación total) = S/. 1 656,00/ha.

T₄ = Costo de aplicación de Microorganismos eficientes (10%) = S/3,4/L x 1 L/ha-40 x 12 aplicaciones + S/. 840,00 (Costo de aplicación total) = S/. 2 472,00/ha.

T₅ = Costo de aplicación de Microorganismos eficientes (15%) = S/3,4/L x 1 L/ha-60 x 12 aplicaciones + S/. 840,00 (Costo de aplicación total) = S/. 3 288,00/ha.

T₆ = Costo de aplicación del Caldo Bordalés = S/. 0,16/L x 400L/ha x 3 aplicaciones = S/. 192,00 + S/. 210,00 (Costo de aplicación total) = S/. 402,00/ha.

T₇ = Costo de aplicación del Pyraclostrobin + epoxiconazole = S/. 280,00/L x 0,4 L/ha x 2 aplicaciones = S/. 239,00 + S/. 140,00 (Costo de aplicación total) = S/. 379,00/ha.

Precio promedio de café pergamino S/. 6,5

V. CONCLUSIONES

1. Los microorganismos eficientes aplicados en cuatro dosis y tres frecuencias no son estadísticamente significativos a los tratamientos con caldo bordalés y fungicida (Pyraclostrobin + Epoxiconazole), no proporcionando control superior a estos tratamientos en la reducción de la incidencia promedio de la roya amarilla. Sin embargo, el tratamiento con aplicación de microorganismos eficientes a la dosis del 1% superó estadísticamente al testigo, siendo ese diferencial en 12%.
2. El tratamiento con el fungicida (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) y Caldo bordalés presentaron las menores incidencias y tasa de infección (18%; 30% y 0,0019; 0,0008) de *Hemileia vastatrix* diferenciándose estadísticamente entre sí y con el resto tratamientos. El testigo presentó la mayor incidencia (53%) y tasa de infección (0,0046) mientras que en los tratamientos con las cuatro dosis de EM.1 se cuantificaron incidencia en un rango de 41 a 50% y tasa de infección en 0,0030 a 0,0037.
3. No se obtuvieron diferencias estadísticas entre los tratamientos para el rendimiento de café pergamino por hectárea; sin embargo, el tratamiento con el fungicida (T₇) y Caldo bordalés (T₆) presentaron la mayor utilidad neta con S/. 1 410,25 y 1 177,05 en comparación al testigo (T₁) y EM.1 al 1% (T₂), tuvieron una utilidad neta de S/. 392,0 y 510,0 respectivamente. Las Dosis de EM.1 al 5, 10 y 15% reportaron una utilidad neta negativa de S/. -466,08, -1 439,83 y -2 219,85 respectivamente.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar estudios de evaluación del uso de microorganismos eficientes de formulación casera en el control de la roya amarilla.
2. Cuantificar e incrementar la microflora antagonica en la filosfera y rizosfera de las plantas de café por la aplicación de los microorganismos eficientes.
3. Evaluar el potencial del uso de microorganismos eficientes y caldo bordelés dentro de los programas de manejo integrado de enfermedades.

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	7%
2	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	revistas.untrm.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	1%
5	fddocuments.ec Fuente de Internet	1%
6	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1%
7	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
8	Pérez Bautista Yareli. "Identificación de bacterias antagonistas a <i>Hemileia vastatrix</i> , causante de la roya del café", TESIUNAM, 2021 Publicación	<1%

9	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
10	repositories.lib.utexas.edu Fuente de Internet	<1 %
11	agronomia.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
13	repositorio.unesum.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
15	www.alice.cnptia.embrapa.br Fuente de Internet	<1 %
16	docplayer.org Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.ufla.br Fuente de Internet	<1 %
18	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %

20	repositorio.catie.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
21	docslide.us Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	colposdigital.colpos.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.inia.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac Trabajo del estudiante	<1 %
26	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	<1 %
27	repositorio.unicauca.edu.co:8080 Fuente de Internet	<1 %
28	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
29	Submitted to Maryville University Trabajo del estudiante	<1 %
30	Submitted to Universidad Del Magdalena Trabajo del estudiante	<1 %

31	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
33	Submitted to Higher Education Commission Pakistan Trabajo del estudiante	<1 %
34	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
35	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
36	Submitted to Universidad de Almeria Trabajo del estudiante	<1 %
37	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
39	elssots.com Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
41	www.inforegion.pe Fuente de Internet	<1 %

42	Submitted to Universidad de la Amazonia Trabajo del estudiante	<1 %
43	Submitted to Zamorano University Trabajo del estudiante	<1 %
44	doczz.es Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
46	Submitted to CONACYT Trabajo del estudiante	<1 %
47	Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante	<1 %
48	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
49	uchuva.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 12 words

Excluir bibliografía

Activo