

Hiperparasitismo y antagonismo de *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome en cafetales de Satipo - Perú

Hyperparasitism and antagonism of *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome in Satipo coffee plantations – Peru

Alomía-Lucero José Manuel^{1*}, Cosinga Eslava Reysonw²

¹ Docente Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Centro del Perú.

² Egresado Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Centro del Perú.

*Correo electrónico del autor de correspondencia: jalomia@uncp.edu.pe

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos antagonistas y parasitarios conocidos como *Bacillus subtilis*, *Lecanicillium lecanii* y *Trichoderma spp.* como agentes de control biológico sobre la incidencia y severidad de *H. vastatrix*; el diseño experimental empleado fue el Diseño en Bloques Completamente al Azar con seis tratamientos, un testigo y tres bloques. La muestra estuvo constituida por 10 plantas por unidad experimental siendo un total de 210 plantas en todo el experimento. La investigación se desarrolló en el Unión Valle de Sangareni del distrito de Pangoa, situado a una altitud de 1 533 msnm. Se realizó aplicaciones con microorganismos a plantas de café en los meses de enero, marzo y mayo; se evaluó porcentaje de incidencia y grado de severidad con escala. Los tratamientos con *L. lecanii* aplicados a hojas y *Trichoderma spp.* suelo, tratamiento con *L. lecanii* aplicado a hojas presentaron 35% de incidencia y 0.93 y 1.20 grados de severidad y *Trichoderma spp.* aplicado a hojas y suelo presentó 39% de incidencia y 1.27 grados de severidad siendo menor al testigo que presentó 96% de incidencia y 4.70 grados de severidad, se reafirma la capacidad de hiperparasitismo y antagonismo de los hongos *L. lecanii* y *Trichoderma spp.*, contra *H. vastatrix*, lo cual se vio evidenciado en la disminución de la incidencia y severidad.

Palabras claves: incidencia, severidad, antagonismo, café, porcentaje

ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of the application of *Bacillus subtilis*, *Lecanicillium lecanii* and *Trichoderma spp.* on the incidence and severity of *H. vastatrix*; The experimental design used was the Completely Random Block Design with six treatments, one control and three blocks. The sample consisted of 10 plants per experimental unit, a total of 210 plants throughout the experiment. The research was carried out in the Unión Valle de Sangareni in the district of Pangoa, located at an altitude of 1,533 meters above sea level. Applications with microorganisms were made to coffee plants in the months of January, March and May; percentage of incidence and degree of severity were evaluated with a scale. Treatments with *L. lecanii* applied to leaves and *Trichoderma spp.* soil, treatment with *L. lecanii* applied to leaves presented 35% incidence and 0.93 and 1.20 degrees of severity and *Trichoderma spp.* applied to leaves and soil presented 39% incidence and 1.27 degrees of severity, being lower than the control that presented 96% incidence and 4.70 degrees of severity, the capacity for hyperparasitism and antagonism of the fungi *L. lecanii* and *Trichoderma spp.* is reaffirmed against *H. vastatrix*, which was evidenced in the decrease in incidence and severity.

Keywords: incidence, severity, antagonism, coffee, percentage

ISSN N° 2708-9843

Recibido: 3 de mayo 2021

Aceptado para su publicación: 18 de agosto 2021

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, miles de cafetaleros vienen teniendo problemas severos por el brote de roya amarilla en los cafetales desde Perú hasta México (Gómez et al., 2018), las organizaciones dedicadas a la producción de café procuran obtener resultados efectivos y rápidos frente al desastre que genera (Hindorf et al., 2011). El agente causal de la roya amarilla del cafeto es el patógeno que lleva por nombre *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome; este patógeno es un hongo perteneciente al orden uredinales, que se caracteriza por presentar pústulas y que se encuentra dentro de las siete enfermedades más dañinas del mundo que genera epifitias (Cristancho et al., 2007). Este parásito obligado perturba las células vivas particularmente al género *Coffea*, con síntomas iniciales en el envés de las hojas, ingresa por la superficie y necrosa pequeños puntos amarillentos que en el transcurso se hacen coalescentes lo cual forma uredosporas de color amarillo rojizo (Alvarado y Moreno, 2005).

El desarrollo de la enfermedad inicia con pequeños puntos de 1,0 a 3,0 mm, de color amarillo débil; cuando la lesión incrementa su tamaño se junta con otras manchas, llegando formar cataplasmas llenas de polvo amarillo denominadas esporas en el envés de la hoja y en el haz de la hoja se observa manchas de coloración amarilla; con el transcurso las manchas se necrosan, pero aun las esporas permanecen en los bordes (McCook, 2008). La diseminación puede ser de dos maneras la fase de liberación que consiste en la expulsión de uredosporas del esporóforo, y otra la fase es cuando las esporas abandonan las lesiones en la cual se encuentran alojadas (Meira et al., 2008), las uredosporas una vez llegadas al envés de la hoja necesitan de una película de agua por un promedio de seis horas; asimismo, también demanda una

temperatura dentro de un rango de 21 a 25 °C y condiciones de ausencia de luz o penumbra (Coutinho et al., 1993).

La penetración se da con el desarrollo del apresorio que consiste en una estructura adhesiva que da origen a hifas que van romper la cutícula de la hoja o a las células epidérmicas (Silva et al., 1997). Las hifas dan origen la formación de haustorios las cuales extraen los elementos esenciales de las células viva (Wellman, 1952), luego una porción de células invade a la cámara subestomática y genera agregados de células llamadas esporógenas, luego genera un esporóforo que da origen a una pústula (Kushalappa, 1978).

Para el control de *H. vastatrix* se realiza aplicaciones de productos derivados de cobre por tener efectos sobre la germinación de esporas (González et al., 2014), no obstante, en la actualidad el patógeno ha perfeccionado su organismo en resistencia a diversos fungicidas, lo cual obstaculiza su adecuado control; sin embargo, continúan siendo utilizados para el control de la roya amarilla del café (Nutman et al., 1963).

Como alternativa para hacer frente al ataque de *H. vastatrix*, nace el uso de microorganismos considerados enemigos naturales (Mousumi et al., 2019). *Bacillus subtilis* con pertenencias antagonistas, son considerados efectivas secretorias de proteínas y metabolitos que se emplean para el control de plagas y enfermedades (Laurindo et al., 2019), además presenta gran motilidad, aparte de producir una extensa diversidad de antibióticos y enzimas hidrolíticas extracelulares (Pérez et al., 2019).

En Satipo se caracterizó el manejo integrado de la roya amarilla del café, donde la aplicación de *Bacillus subtilis*, actuó como una capa protectora que no permitió la germinación de las esporas de *H. vastatrix* (Gamarra et al., 2013). Las especies de *Trichoderma* poseen un mayor dinamismo

antagonista sobre patógenos perjudiciales, la importancia de *Trichoderma* como hiperparásito que suprime a los microorganismos que generan las enfermedades fitopatógenas (Cubilla et al., 2019).

En un estudio realizado para evaluar el antagonismo en vitro de *Trichoderma* spp., sobre *H. vastatrix*, tuvo como resultados un posible antagonismo, de las 2 cepas de *Trichoderma hamatum* y *Trichoderma harzianum*, además tuvieron una directa esporulación sobre los pústulas de *H. vastatrix* (Rolz et al., 2013); en la aplicación de *Trichoderma* sp. endófito para control de *H. vastatrix*, se observó que el tratamiento con *Trichoderma* sp. tuvo diferencia estadística altamente significativa, en comparación con los demás tratamientos en estudio (Haddad et al., 2009).

En otro estudio para determinar el control de *H. vastatrix*, no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos al comparar con el testigo de aplicación de sulfato de cobre, con aplicación de *B. subtilis* y *Trichoderma* spp., (Guerra y Welchez, 2013); asimismo, para la variable porcentaje de daño, *B. subtilis* tuvo mejor desempeño que llegó a superar al testigo (Ortiz et al., 2018).

El hiperparasitismo de *L. lecanii* contra *H. vastatrix* se ampara en Jackson et al., (2012) que menciona cómo comprender el desarrollo de las epizootias de *L. lecanii* debido al papel que el mencionado hongo puede jugar en el control biológico de importantes plagas del café: directamente, atacando *Coccus viridis* y la roya del café *H. vastatrix*, e indirectamente, a través de su potencial para influir en la distribución. Este entomopatógeno exclusivamente provoca epizootias en circunstancias tropicales, debido a que es sustancial los entornos medioambientales para beneficiar la germinación del hongo (Alemán et al., 2014).

Lecanicillium lecanii es considerado un

hongo hiperparásito de *Hemileia vastatrix* ejercida en forma natural parasitando a este hongo (Gómez et al., 2018). Asimismo (González y Surís, 2007), tuvieron como resultado como alto porcentaje de parasitismo, deformación de uredosporas del fitopatógeno, por lo que resultó exitoso como herramienta para reducir la incidencia y severidad de *H. vastatrix*. También (Vandermeer et al., 2009), reporta la evidencia de hiperparasitismo a *Hemileia vastatrix* por el hongo entomopatógeno *Lecanicillium lecanii*, a través de un mecanismo ecológico complejo, valorando la importancia que tiene las hormigas en la diseminación de inóculos de *Lecanicillium lecanii*.

Carrión, (1988), observó que la aplicación de *L. lecanii* en cinco etapas disminuyó la velocidad de defoliación de plantas de café por efecto de *H. vastatrix*. Alarcón y Carrión, (1994), indican que el hongo *Lecanicillium lecanii*, 30 días después de la primera aplicación parasitó a *H. vastatrix* llegando a 19% en plantas de tres años y 8% de parasitismo en plantas de 12 años. Después de la segunda aplicación el parasitismo llegó a 74% y 26%, respectivamente.

Por lo expuesto se formuló el siguiente problema ¿Cuál es el efecto de la aplicación de *Bacillus subtilis*, *Lecanicillium lecanii* y *Trichoderma* spp, en el control de *Hemileia vastatrix* a nivel da campo en plantas de *Coffea arabica*?

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Centro Poblado Unión Valle de Sangareni que corresponde al distrito de Pangoa, provincia de Satipo. Coordenadas UTM: 18L 0579291.806m E y 8718081.166m N, situada a una altitud de 1 533 msnm. El lugar presenta temperatura que oscila entre 21 a 23 °C, presenta una precipitación anual que va de 2 200 a 2 300 mm, la humedad relativa de 70%, tiene un clima sub tropical húmedo. La población estuvo constituida por 25

plantas por unidad experimental siendo un total de 2 500 plantas de cafeto de 8 años de edad y la muestra estuvo constituida por 10 plantas elegidas aleatoriamente por unidad experimental siendo un total de 210 plantas en todo el experimento, al momento de la toma de muestras se consideró el efecto de borde.

Diseño de la investigación

Se aplicó un diseño experimental conocido como Diseño en Bloques Completo al Azar.

Los tratamientos en estudio fueron:

T₀ = Control, sin aplicación de PBUA (plaguicidas biológicos de uso agrícola).

T₁ = *Trichoderma* spp. (3 x 10¹² conidias/200 litros) aplicado a parte aérea y al suelo.

T₂ = *Bacillus subtilis* (3.75 x 10¹² conidias/200L) aplicado a parte aérea.

T₃ = *Lecanicillium lecanii* (4 x 10¹² conidias/200L) aplicado a la parte aérea.

T₄ = *Trichoderma* spp. (3 x 10¹² conidias/200L) aplicado a la parte aérea.

T₅ = *Bacillus subtilis* (3.75 x 10¹² UFC/200L) aplicado a parte aérea y *Trichoderma* sp. al suelo.

T₆ = *Lecanicillium lecanii* (4 x 10¹² conidias/20L) aplicado a parte aérea y *Trichoderma* sp. al suelo.

Formulación de biocontroladores

Se realizó la preparación en cilindro con capacidad de 200 litros, se llenó agua con 200 litros; como primer paso se adicionó un corrector de pH, para llevar el pH del agua a 5.5 a 6.0, una vez ajustado el pH; como segundo paso se disolvió cada uno de los controladores biológicos en un recipiente con 5 litros de agua durante 30 minutos; la operación se realizó independientemente para cada controlador.

La cantidad disuelta de *Trichoderma* spp., polvo mojable la dosis formulada fue 3 x 10¹² conidias/200 litros; *Lecanicillium lecanii* polvo mojable la dosis fue 4 x 10¹²/200 litros y *Bacillus subtilis* en liquido la dosis aplicada fue 3.74 x 10¹² UFC/200

litros; una vez disuelta se realizó la solución final adicionando 50 ml de aceite agrícola como indica Santos et al., (2013). La formulación se obtuvo de la ficha técnica de los productos empleados.

Aplicación de biocontroladores

Inmediatamente después de la preparación de los productos se pasó a realizar las aplicaciones haciendo uso de la motofumigadora; el horario elegido fue por la tarde a partir de las 4:00 pm, para evitar la muerte de los microorganismos por efecto del intenso sol (Galvao et al., 2014). La aplicación se realizó a la parte aérea de la planta específicamente al envés de las hojas. También se realizó aplicación al suelo, a la base de la planta de cafeto con *Trichoderma* spp. con la finalidad de cortar el ciclo de *Hemileia vastatrix*, siendo las aplicaciones en los meses de enero, marzo y mayo.



Figura 1: Aplicación de biocontroladores con mochila aspersora.

Variables evaluadas:

Porcentaje de incidencia de la roya de café

La incidencia de la roya amarilla se determinó haciendo muestreos; de cada unidad experimental se extrajeron muestras de 10 plantas; de cada planta se tomaron 10 hojas de manera aleatoria del tercio medio de la planta; se determinó el porcentaje de incidencia de la enfermedad aplicando la fórmula siguiente.

$$\% \text{ incidencia} = \frac{\text{número total de hojas enfermas}}{\text{número total de hojas}} \times 100$$

Grado de severidad en la planta de café

El grado de severidad de roya amarilla en planta se determinó tomando 10 plantas, del cual se evaluó haciendo uso la escala propuesta por (SAGARPA, 2013).

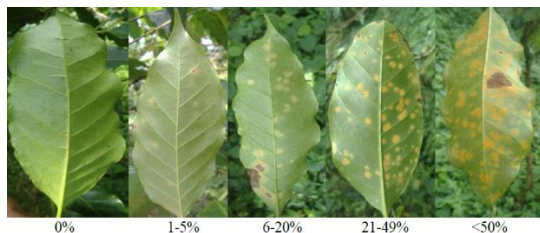


Figura 2: Escala de severidad de *H. vastatrix* en hojas según Créditos: DGSV-Sinavef-Lanref.

Número de pústulas por hoja

El número de pústulas por hoja se evaluó haciendo muestreo de 10 plantas, de las cuales se extrajo 10 hojas, haciendo un total de 100 hojas por tratamiento. Estas fueron contabilizadas el número total de pústulas presentes por hoja de café. Los resultados se expresaron en unidades.

RESULTADOS

Efecto de los biocontroladores

En la Tabla 1, se muestra el resumen del análisis de varianza de un testigo y seis tratamientos aplicados a plantas de café en el mes de mayo; como se observa en la última columna de la Tabla existe diferencia estadística altamente significativa entre los efectos de los tratamientos en el control de *Hemileia vastatrix*.

Para las variables porcentaje de incidencia, grado de severidad en hojas, número de pústulas y grado de severidad en plantas se encontró un P-valor menor que alfa 0,05. Estadísticamente no significativo para la variable número de hojas caídas con P-valor mayor que alfa 0,05. Asimismo, se observó que entre bloques no hubo diferencia estadística significativa para las variables evaluadas. Para determinar qué tratamientos controlaron mejor las variables dependientes se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey, con nivel de significación de alfa 0,05, que se muestra las figuras.

Tabla 6:

Análisis de varianza del efecto de aplicación de Bacillus subtilis, Lecanicillium lecanii y Trichoderma spp., en la incidencia de Hemileia vastatrix en Coffea arabica.

Variables	Fuentes de Variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F	P - Valor
Incidencia	Bloques	0.300	2	0.150	0.096	0.910
	Tratamientos	3817.339	6	636.223	404.482	0.000
	Error	18.875	12	1.573		
	Total	3836.515	20			
Severidad en hojas	Bloques	0.006	2	0.003	0.946	0.415
	Tratamientos	1.773	6	0.296	92.748	0.000
	Error	0.038	12	0.003		
	Total	1.818	20			
Número de hojas caídas	Bloques	0.039	2	0.020	0.317	0.734
	Tratamientos	13.003	6	2.167	34.967	0.000
	Error	0.744	12	0.062		
	Total	13.786	20			
Número de	Bloques	0.015	2	0.007	0.437	0.656

pústulas	Tratamientos	57.039	6	9.506	556.448	0.000
	Error	0.205	12	0.017		
	Total	57.259	20			
Área foliar	Bloques	92.611	2	46.305	3.074	0.084
	Tratamientos	129.464	6	21.577	1.432	0.280
	Error	180.771	12	15.064		
	Total	402.845	20			
Severidad en planta	Bloques	0.005	2	0.002	0.360	0.705
	Tratamientos	2.413	6	0.402	59.904	0.000
	Error	0.081	12	0.007		
	Total	2.499	20			

En la Figura 3, se observa que el testigo presentó una incidencia de roya del 95,67%, siendo el que mayor incidencia presentó, a diferencia los tratamientos aplicados con biocontroladores de la roya amarilla, que presentaron una incidencia menor; siendo los mejores tratamientos T₆, T₃ y T₁, que consistieron en la aplicación con *Lecanicillium lecanii* (aplicación aérea) y *Trichoderma spp.* (aplicación al suelo) que presentó 35.00% de incidencia, seguido por el tratamiento *Lecanicillium lecanii* (aplicación aérea) con promedio de 36,47% y finalmente *Trichoderma spp.* (aplicación aérea y suelo).

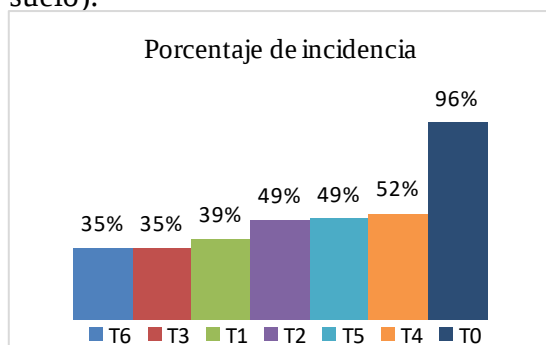


Figura 2: Porcentaje de incidencia de roya amarilla según tratamientos.

En la Figura 4, se observa que el tratamiento control presentó una severidad de grado 3,90 como promedio, equivalente en porcentaje de daño entre 21 y 49%, siendo el de mayor severidad; asimismo, se observó que los tratamientos aplicados con biocontroladores de roya amarilla presentaron una severidad menor, donde T₃ y T₆ presentaron como promedio 0,90 de grado severidad; seguido por T₁ que registró una severidad de grado 1,17 en promedio, siendo los que mayor efecto de control tuvieron en cuanto a la severidad de roya amarilla.

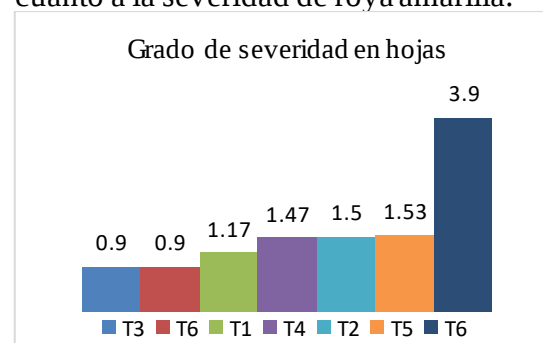


Figura 3: Grado de severidad de roya amarilla en hojas de cañeto.

Hiperparasitismo y antagonismo de *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome en cafetales de Satipo - Perú

En la Figura 5, se observa que el testigo presentó un promedio de 52,83 hojas caídas por causa del ataque de la roya amarilla, que es diferente a los tratamientos con aplicación de controladores biológicos; los tratamientos T₆ y T₃ registraron 24,03 y 24,13 hojas caídas; T₁ registró 24,79, T₂ registró un promedio de 31,03 hojas caídas y T₄ registró 31,23.

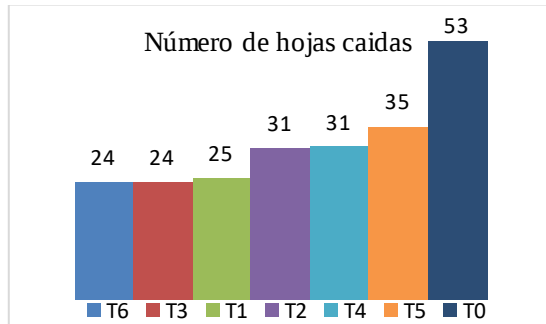


Figura 4: Número de hojas caídas por planta en el suelo.

En la Figura 6, se observa que el testigo tuvo como promedio 49,23 pústulas por hoja, que presentó diferencia estadística significativa en comparación con el tratamiento T₆ que obtuvo un promedio de 3,57 pústulas; T₃ presentó un promedio de 3,73 pústulas, T₁ que presentó 4,73 pústulas, siendo los tratamientos que menor número de pústulas presentaron. Cabe mencionar también los demás tratamientos se diferenciaron del testigo. Los tratamientos que consistieron en la aplicación de controladores biológicos presentaron menor número de pústulas por hoja. Se observó también que tuvieron promedios menores al testigo.

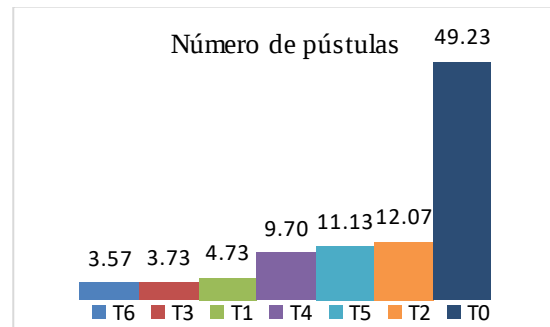


Figura 5: Número de pústulas por hoja de planta de café.

La capacidad de hiperparasitismo de *L. lecanii* y la capacidad antagónica de *Trichoderma spp.*, se mostró evidente como se observa en la (Figura 7) donde el tratamiento control presentó una severidad de grado 4,70 como promedio, que representa en porcentaje de daño mayor al 60% en proceso de defoliación, siendo el que mayor severidad presentó, diferenciándose estadísticamente de los tratamientos aplicados con hiperparásitos controladores de roya amarilla, las mismas que presentaron una severidad menor.

Los mejores tratamientos T₆, T₃ y T₁ que consistieron en aplicaciones con *L. lecanii* (aérea) y *Trichoderma spp.* (al suelo), *L. lecanii* (aérea) y *Trichoderma spp.*, que presentaron promedios 0.93, 1.20 y 1.27 grados de severidad respectivamente. También se puede observar que los demás tratamientos presentaron promedios que son diferentes estadísticamente del tratamiento testigo; T₂ y T₅ que consistió en la aplicación de *Bacillus subtilis* (aérea) presentaron un promedio 2,00 de grado de severidad y *B. subtilis* (aérea) y *Trichoderma spp.* (suelo) registró un promedio 2.03.

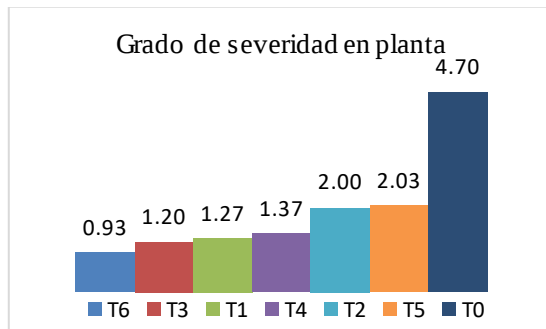


Figura 6: Grado de severidad de *H. vastatrix* en plantas de ca feto.

DISCUSIONES

Sobre la incidencia de la roya del café los mejores tratamientos fueron el T₆ *Lecanicillium lecanii* (aplicación aérea) + *Trichoderma spp.* (aplicación al suelo) con 35.00%; en segundo lugar, el T₃ *Lecanicillium lecanii* (aplicación aérea) con promedio de 36,47% y en tercer lugar T₁ *Trichoderma spp.* (aplicación aérea y suelo). Siendo el testigo con una incidencia de roya del 95,67%.

Sobre el nivel de severidad en hojas el testigo T₀ presentó una severidad de grado 3,90 como promedio, equivalente en porcentaje de daño entre 21 y 49%, siendo el de mayor severidad. Los tratamientos T₃ *Lecanicillium lecanii* (aplicación aérea) y T₆ *Lecanicillium lecanii* (aplicación aérea) + *Trichoderma spp.* (aplicación al suelo) presentaron como promedio 0,90; seguido por T₁ *Trichoderma spp.* (aplicación aérea y suelo) que registró 1,17 en promedio, siendo los que tuvieron mayor efecto de control.

Respecto al número de hojas caídas el testigo T₀ presentó un promedio de 52,83 hojas caídas, que es diferente a los tratamientos con aplicación de controladores biológicos; los tratamientos T₆ (*Lecanicillium lecanii* con aplicación aérea + *Trichoderma spp.* con aplicación al suelo) y T₃ (*Lecanicillium lecanii* con aplicación aérea + *Trichoderma spp.* con aplicación aérea) registraron 24,03 y 24,13

hojas caídas respectivamente; T₁ (*Trichoderma spp.* con aplicación aérea y suelo) registró 24,79; T₂ (*Bacillus subtilis* con aplicación aérea) registró un promedio de 31,03 hojas caídas y T₄ (*Trichoderma spp.* con aplicación aérea) registró 31,23. Estos datos demuestran que la aplicación de todos los biocontroladores tiene un efecto significativo de control ya que superan estadísticamente al testigo.

En cuanto a severidad en planta los mejores tratamientos, y T₁ que consistieron en aplicaciones con T₆ *L. lecanii* (aérea) + *Trichoderma spp.* (al suelo), T₃ *L. lecanii* con aplicación aérea + *Trichoderma spp.* con aplicación aérea, T₁ (*Trichoderma spp.* con aplicación aérea y suelo) que presentaron promedios 0.93, 1.20 y 1.27 grados de severidad respectivamente. También se puede observar que los demás tratamientos presentaron promedios que son diferentes estadísticamente del tratamiento testigo; y que consistió en la aplicación de T₂ *Bacillus subtilis* (aérea) presentaron un promedio 2,00 mientras que T₅ *B. subtilis* (aérea) + *Trichoderma spp.* (suelo) registró un promedio 2.03.

Los resultados demuestran que el hongo *Lecanicillium lecanii* aplicados para el control de *Hemileia vastatrix* son comparables a lo que encontró (Alarcón y Carrión, 1994), quienes reportan que el parasitismo llegó hasta un 74% en cafetales con roya. De igual modo concuerda con lo manifestado por (Laurindo et al., 2019) sobre el antagonismo de este hongo sobre dicha plaga. Asimismo, se refuerza lo manifestado por (Pérez et al., 2019), quien fundamenta que el hongo es capaz de producir una extensa diversidad de antibióticos y enzimas hidrolíticas extracelulares.

También se confirma lo mencionado por (Galvao et al., 2014) quien menciona que el agente causal de la roya amarilla es naturalmente hiperparasitado por el hongo *L. lecanii*, lo que indica, que es su

potencial biocontrolador. Asimismo con los resultados obtenidos en Satipo, donde se concluye que el biocontrolador actuó con una capa protectora que no permitió la germinación de las esporas de *H. vastatrix* (Gamarra et al., 2013).

Asimismo, durante el experimento se observó desprendimiento de hojas por causa de la infección del hongo *H. vastatrix*, lo cual está relacionado con la maduración del fruto y la época de cosecha. Al respecto González et al., (2014) menciona que ciertos hongos como *L. lecanii* pueden actuar como micoparásitos de *H. vastatrix* llegando a atacar los micelios y conidios. De igual modo se concuerda con lo manifestado por Mayorga et al., (2012) cuando indica que este hongo produce enzimas como quitinasas que hacen posible la penetración de las esporas con la muerte del patógeno.

El efecto de este hongo también lo señala Jackson et al., (2012), quien indica que hay hiperparasitismo de *L. lecanii* contra *H. vastatrix*.

El mejor efecto contra *H. vastatrix* se favorece con el clima tropical húmedo de la zona de Satipo, lo cual concuerda con (Alemán et al., 2014), quien indica que *L. lecanii* provoca epizootias en circunstancias tropicales, debido a que es sustancial los entornos medioambientales para beneficiar la germinación del hongo. De igual modo se refuerza lo manifestado por (Gómez et al., 2018) y (Vandermeer et al., 2009), quienes sostienen que *Lecanicillium lecanii* es considerado un hongo hiperparásito de *Hemileia vastatrix* ejercida en forma natural parasitando a este hongo. Esta acción es reforzada por (González y Surís, 2007), quienes obtuvieron como resultado un alto porcentaje de parasitismo y deformación de uredosporas del fitopatógeno.

Respecto al efecto de la bacteria *Bacillus subtilis* sobre *H. vastatrix* se coincide con (Ortiz et al., 2018) quien indica que esta

bacteria tuvo mejor desempeño que el testigo.

Respecto a los resultados de *Trichoderma* spp. Se reafirma con lo mencionado por Ramos et al., (2019) quien refiere a *Trichoderma* spp., como reductor del crecimiento micelial de los hongos fitopatógenos; lo mismo que León et al., (2019) afirma que estos hongos generan 100% de micoparasitismo, esto debido a los metabolitos que inhiben completamente el desarrollo micelial del patógeno.

Los resultados de otros autores confirman lo mencionado por (Cubilla et al., 2019), que *Trichoderma* como hiperparásito suprime a los microorganismos que generan las enfermedades fitopatógenas. Esto coincide con (Rolz et al., 2013), quien encontró que las dos cepas de *Trichoderma hamatum* y *Trichoderma harzianum*, tuvieron una directa esporulación sobre los pústulas de *H. vastatrix*. De igual modo con lo manifestado por (Haddad et al., 2009), quien menciona que *Trichoderma* sp. tuvo diferencia estadística altamente significativa, en comparación con los demás tratamientos en estudio.

El estudio demuestra la efectividad de esta bacteria y este hongo como expresan (Guerra y Welchez, 2013), quienes compararon con el testigo de aplicación de sulfato de cobre y la aplicación de *B. subtilis* y *Trichoderma* spp. demostrando igual efecto.

CONCLUSIONES

Se reafirma la capacidad de hiperparasitismo del hongo *L. lecanii* contra *H. vastatrix*, lo cual se ve evidenciado en el control de la incidencia de roya amarilla en el cultivo de café, con incidencia de 35%; asimismo, la aplicación de *Trichoderma* spp., mantuvo la incidencia en 39%, a diferencia del testigo que presentó un 96% de incidencia.

La severidad de roya amarilla del café fue controlada por *L. lecanii* y *Trichoderma*

spp., que mantuvieron la severidad en grado 0.93 y 1.27, evidenciando su capacidad de hiperparasitismo y antagonismo de los hongos mencionados. Se recomienda realizar nuevos estudios similares para confirmar los resultados obtenidos en esta investigación, para que así pueda ser empleado por los agricultores en sus cafetales como una alternativa biológica para control de *H. vastatrix*.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Alarcón, R., Carrión, G. (1994). Uso de *Verticillium lecanii* en cafetales como control biológico de la roya del cafeto. *Revista fitopatología* (Perú), 29(1), 82-85.
- Alemán, Y., Montano M, Martínez, B. (2014). Cepas prometedoras de *Lecanicillium lecanii* para el control biológico de *Rhipicephalus* (Boophilus) microplus Canestrini. *Revista de salud animal*, 36(2), 123-135.
- Alvarado A., Castillo, Z. (1996). Progreso de la roya del cafeto sobre genotipos resistentes y susceptibles a *Hemileia vastatrix*. *Cenicafé*, 47(1):42-52.
- Aparecida, E., Alves, D., Barcelos, A., Monteiro, A. (2006). Influence of culture media in viability test of conidia of entomopathogenic fungi. *Ciência Rural*, 36(4), 1309-1312.
doi.org/10.1590/S0103-84782006000400043
- Carrión, G. (1988). Estudios sobre el control biológico de la roya del cafeto mediante *Verticillium lecanii* en México. *Micología Neotropical Aplicada*, 1(1), 79-86.
- Cortez, H. (2007). Producción de *Lecanicillium lecanii* en diferentes sustratos y patogenicidad. *Revista agricultura técnica en México*, 33(1), 83-87.
- Coutinho, T., Rijkenberg, F., Van Asch, M. (1993). Appressorium formation by *Hemileia vastatrix*. *Mycological Research*, 97(8), 951-956.
doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80861-7
- Cristancho, M. y Leguizamón, J. (1995). Efecto protector de *Bacillus thuringiensis* en las plantas de café contra el desarrollo de *Hemileia vastatrix* Berk. *Cinecafé*. 46(3):140-151.
- Cristancho, M., Escobar, C., y Ocampo, J. (2007). Evolución de razas de *Hemileia vastatrix* en Colombia. *Cenicafé*, 58(4), 340-359.
- Cubilla, A., Ruiz, D., Romero, M., Flores, M., Barúa, J. 2019. Antibiosis de proteínas y metabolitos en especies de *Trichoderma* contra aislamientos paraguayos de *Macrophomina phaseolina*. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 63-77.
doi.org/10.15517/am.v30i1.34423
- De Souza, E., De Oliveira, N., Wilcken, C., Batista, A. (2004). Patogenicidade de *Verticillium lecanii* ao pulgão-do-pinus. *Revista Árvore*, 28(5), 765-770.
doi.org/10.1590/S010067622004000500017
- Fernández, F., López, I., Trujillo, J., Pascoli, M., Cuervo, R. (2019). Bioformulado de *Beauveria bassiana* (ATCC MYA-4886) y *Trichoderma lignorum* (ATCC-8751) como biocontrolador de *Atta cephalotes*. *Revista Entramado*, 15(1), 288-296.
doi.org/10.18041/19003803/entr amado.1.5417

- Galvao, J. y Bettiol, W. (2014). Effects of UV-B radiation on *Lecanicillium* spp., biological control agents of the coffee leaf rust pathogen. *Tropical Plant Pathology*, 39(5), 392-400. doi.org/10.1590/S1982-56762014000500006
- Gamarra, D., Torres, G., Casas, J., Riveros, H. (2015). Caracterización y Manejo Integrado de la Roya Amarilla del Café en Selva Central del Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú. 2(15)1-12.
- Garrido, M., Vilela, N. (2019). Capacidad antagónica de *Trichoderma harzianum* frente a *Rhizoctonia*, *Nakatea sigmoidea* y *Sclerotium rolfsii* y su efecto en cepas nativas de *Trichoderma* aisladas de cultivos de arroz. *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 199-206. doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.05
- Gómez, I., Pérez, E., Escamilla, E., Martínez, M., Carrión, G., Hernández, T. (2018). Selección in vitro de micoparásitos con potencial de control biológico sobre roya del café (*Hemileia vastatrix*). *Revista mexicana de fitopatología*, 36(1), 172-183. doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1708-1
- González, E., y Surís, M. (2007). Selección in vitro de aislamientos promisorios de *Lecanicillium lecanii* (zare y gams) para la lucha biológica de *Hemileia vastatrix* (Berk. et Br.). *Protección vegetal*, 22(2), 128-130.
- González, I., Arias, Y., Infante, D., Martínez, B., Peteira, B. (2014). Inducción de enzimas hidrolíticas en una cepa de *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) Zare & W. Gams en medio líquido. *Revista de Protección Vegetal*, 29(2), 137-140
- Guerra, J. y Welchez, J. (2013). Evaluación de la efectividad de cuatro fungicidas biológicos en el control del hongo de la roya de café *Hemileia vastatrix*. *Control Biológico de Enfermedades de Plantas en América Latina y el Caribe*, 255-257.
- Haddad, F., Maffia, L., Mizubuti, E., y Teixeira, H. (2009). Biological control of coffee rust by antagonistic bacteria under field conditions in Brazil. *Biological Control*, 49(09), 114-119.
- Hindorf, H., y Omondi, O. (2011). A review of three major fungal diseases of *Coffea arabica* L. in the rainforests of Ethiopia and progress in breeding for resistance in Kenya. *Journal of Advanced Research*, 2(2), 109-120. doi.org/10.1016/j.jare.2010.08.006
- Infante, D., Martínez, B., González, N. y Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Protección Vegetal*, 24 (1), 14-21.
- Jackson, D., Skillman, J., y Vandermeer, J. (2012). Incidencia en el suelo y dispersión de *lecanicillium lecanii*, un hongo patógeno de la escama verde del café (*coccus viridis*) y de la roya del café (*Hemileia vastatrix*). *Biological Control*, 61 (12), 89-97.

- Ji, S., Liu, Z., Liu, B., Wang, Y. (2019). Comparative analysis of biocontrol agent *Trichoderma asperellum* ACCC30536 transcriptome during its interaction with *Populus davidiana* × *P. alba* var. *pyramidalis*. *Microbiological Research*, 227, 126294. doi.org/10.1016/j.micres.2019.126294
- Kushalappa, A. (1978). Análise quantitativa e qualitativa da intensidade da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk et Br.) durante a estação chuvosa, em Viçosa, Minas Gerais. *Cenicafé*, 3(1), 118-119.
- Laurindo, K., Vieira, D., Carmos, A., Moreira, J., Cardoso, R. (2019). biological management of *Pratylenchus brachyurus* in soybean crops. *Revista Caatinga*, 32(1), 41-51. doi.org/10.1590/1983-21252019v32n105rc
- León, B., Arévalo, E., Sophie, A. (2019). Sudden death of *Theobroma cacao* L. caused by *Verticillium dahliae* Kleb. in Peru and its in vitro biocontrol. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(1), 133-148. doi.org/10.21930/rcta.vol20_nu m1_art:1251
- Mayorga, L., Calderón E., Gutiérrez A., González R., Azaola, A., y Barranco, E. (2012). Caracterización y expresión del gen quitinasa chit II de *Lecanicillium lecanii* en fermentación en estado sólido. *Revista mexicana de ingeniería química*, 11(1), 97-104.
- McCook, S. (2008). Crônica de uma praga anunciada epidemias agrícolas e história ambiental do café nas Américas. *Varia Historia*, 24(39), 87-111. doi.org/10.1590/S0104-87752008000100005
- Meira, C., Rodrigues, L., Moraes, S. (2008). Análise da epidemia da ferrugem do cafeeiro com árvore de decisão. *Tropical Plant Pathology*, 33(2), 114-124. doi.org/10.1590/S1982-56762008000200005
- Mengue, J., Walker, C., Mezzomo, R., Muniz, M. (2019). Antagonism and Effect of Volatile Metabolites of *Trichoderma* spp. on *Cladosporium* spp. *Revista Floresta e Ambiente*, 26(2), 2-9. doi.org/10.1590/2179-8087.059417
- Mousumi, M., Haridas, M., Sabu, A. (2019). Biological control of black pepper and ginger pathogens, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* and *Phytophthora capsici*, using *Trichoderma* spp. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17(1), 177-183. doi.org/10.1016/j.bcab.2018.11.021
- Nutman, F., Roberts, F., y Clarke, R. (1963). Studies on the biology of *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(1), 27-44. doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80005-4
- Ortiz, E., Duchicela, J., Debut, A. (2018). Scanning electron microscopic observations of early stages of interaction of *Trichoderma harzianum*, *Gliocladium virens* and *Bacillus subtilis* with *Acaulospora colombiana*. *Revista argentina de microbiología*, 50(2), 227-229. doi.org/10.1016/j.ram.2017.06.

- 005 biote.v15n2.38025
- Pereira, M., Chiarello, S., Messa, S., Malherbe, J., Ribeiro, R. (2005). Seleção de isolados de *Verticillium lecanii* para o controle de *Cinara atlântica*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(11), 1141-1144. doi.org/10.1590/S0100-204X2005001100013
- Pérez, D., García, P. (2019). Identificación del agente causal del marchitamiento en *Caesalpinia spinosa* tara y el efecto antagónico de aislados de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* sp. *Ecología Aplicada*, 18(1), 51-57. doi.org/10.21704/rea.v18i1.1306
- Ramos, T., Figueredo, A., Garcia, C., Tessmann, D. (2019). Pine Seeds Treatment with *Trichoderma* for *Fusarium* Control. *Floresta e Ambiente*, 26(2), e20170875. doi.org/10.1590/2179-8087.087517
- Rivera, M., Milanés, M., Ramos, S. (2005). Métodos de control de las principales plagas, enfermedades y malezas en *Calendula officinalis* L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 10(1).
- Santos, A., Grijalba, E., Zuluaga, M., Gómez, M., Villamizar, L. (2013). Compatibilidad in vitro de un bioplaguicida a base de *Lecanicillium lecanii* (Hypocreales: Clavicipitaceae) con agroquímicos empleados en los cultivos de algodón y berenjena. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(2), 132-142. doi.org/10.15446/rev.colomb.
- Silva, R., Zambolim, L., y Pérez, E. (1997). Identificación de razas fisiológicas de la roya del cafeto en el estado Táchira, Venezuela. *Bioagro*, 9(3), 95-98.
- Umaña, J., Orozco, S., Umaña, R., Molina, R. (2019). Identificación molecular y características fisiológicas de aislamientos de *Trichoderma* para el biocontrol de dos patógenos en la piña. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(1), 125-142. doi.org/10.15359/rca.53-1.7
- Vandermeer, J., Perfecto, I. y Liere, H. (2009). Evidence for hyperparasitism of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) by the entomogenous fungus, *Lecanicillium lecanii*, through a complex ecological web. *Plant Pathology*, 58 (1), 636 – 641
- Wellman, F. (1952). Peligro de introducción de la *Hemileia vastatrix* del café a las Américas. *Cenicafé*, 2(2):47-50.