

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Microorganismos como agentes biológicos para el manejo de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk & Broome), Madriz, Nicaragua

Microorganisms as biological agents for the management of coffee rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Broome), Madriz, Nicaragua

Víctor Monzón Ruiz¹, Eliar Noe Navarrete Castillo², Juan Ramon Diaz Bustamante³

¹ MSc. Agroecología y Desarrollo Sostenible, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9018-5026> / victor.monzon@ci.una.edu.ni

² Ingeniero Agrónomo graduado en la Universidad Nacional Agraria, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0725-6520> / eliarnavarrete@gmail.com

³ Ingeniero Agrónomo graduado en la Universidad Nacional Agraria, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3584-2140> / juanramon_97_1@hotmail.com

Universidad Nacional Agraria, Nicaragua

Autor de correspondencia: victor.monzon@ci.una.edu.ni



RESUMEN

Los microorganismos antagonísticos representan una alternativa para el manejo de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk & Broome), enfermedad de importancia económica en los cafetales nicaragüenses. Con el objetivo de evaluar diferentes alternativas de manejo biológico para esta enfermedad, en el municipio de San Lucas, Madriz, Nicaragua, se estableció un experimento con medidas repetidas en el tiempo con submuestras, en una plantación de café de ocho años, variedad caturra con presencia de roya; los tratamientos evaluados fueron: 1) *Lecanicillium* spp, 2) *Trichoderma* spp, 3) *Bacillus subtilis* (Serenade® ASO), 4) Azoxistrobina + Cyproconazole (Amistar Xtra®), y 5) Testigo absoluto (sin aplicación); las variables evaluadas fueron número de hojas totales, número de hojas sanas, incidencia (%) y severidad (%). Se realizó un análisis de varianza y separación de medias por Tukey con 95 % de confiabilidad. Las aplicaciones y muestreos se realizaron aproximadamente cada 15 días. El tratamiento Amistar Xtra® presentó los valores más bajos de incidencia y severidad de la roya del café; sin embargo, el mejor producto biológico fue *Lecanicillium* spp, registrando los niveles más bajos de incidencia (15.76 %) y severidad (11.33 %) en la última fecha de muestreo,

ABSTRACT

Antagonistic microorganisms represent an alternative for the management of coffee rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Broome), an economically important disease in Nicaraguan coffee plantations. In order to evaluate different biological management alternatives for this disease, an experiment was conducted in the municipality of San Lucas, Madriz, Nicaragua. The experiment involved repeated measurements over time with subsampling in an eight-year-old coffee plantation of the caturra variety with rust presence. The evaluated treatments were: 1) *Lecanicillium* spp, 2) *Trichoderma* spp, 3) *Bacillus subtilis* (Serenade® ASO), 4) Azoxystrobin + Cyproconazole (Amistar Xtra®), and 5) Absolute control (no application). The assessed variables included total leaf count, healthy leaf count, incidence (%), and severity (%). An analysis of variance and Tukey's mean separation with 95 % confidence were performed. Applications and samplings were conducted approximately every 15 days. The Amistar Xtra® treatment showed the lowest values of coffee rust incidence and severity. However, the best biological product was *Lecanicillium* spp, which recorded the lowest levels of incidence (15.76 %) and severity (11.33 %) at the last sampling date. Starting from the fifth application, incidence

Recibido: 27 de noviembre del 2023
Aceptado: 4 de junio del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donald.juarez@ci.una.edu.ni

Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

en relación con el resto de los productos biológicos a partir de la quinta aplicación, la incidencia disminuyó en 74 % y la severidad en 66 % respecto a la última fecha de muestreo, representando una alternativa biológica para el manejo de la roya del café.

Palabras clave: *Lecanicillium* spp, *Trichoderma* spp, *Bacillus subtilis*, incidencia, severidad.

decreased by 74 %, and severity decreased by 66 % compared to the last sampling date, representing a biological alternative for coffee rust management.

Keywords: *Lecanicillium*, *Trichoderma*, *Bacillus subtilis*, incidence, severity.

La roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk & Broome) es una enfermedad de importancia en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), ha sido manejada tradicionalmente mediante métodos químicos, sin embargo, este agente causal puede manejarse con el uso de productos biológicos, a los que se les reconoce como insumos amigables con el ambiente.

El cultivo de café es un rubro de importancia en Nicaragua para la economía nacional. Representa alrededor del 30 % del PIB agrícola y 50 % de las divisas provenientes de las exportaciones. La actividad cafetalera emplea 31.5 % del total de la mano de obra agrícola nacional (Moraga *et al.*, 2011).

Según el Banco Central de Nicaragua (BCN, 2011) como se cita en Escobedo *et al.* (s.f.) en Nicaragua, el café representa el 25 % del área de cultivos dedicados a la exportación y genera un tercio del empleo rural (más de 300 000 empleos), aportando el 2 % del Producto Interno Bruto (PIB) nacional. Este cultivo es producido por 44 519 productores que cultivan un área de 126 154 ha⁻¹ (180 220 manzanas); del total de productores, el 97.4 % son pequeños y medianos productores [Instituto Nacional de Información de Desarrollo y Ministerio Agropecuario y Forestal (INIDE y MAGFOR, 2012)].

Guharay *et al.* (2000) indican que este cultivo es limitado por factores que afectan su producción, como condiciones edáficas, problemas de plagas como el minador (*Leucoptera coffeella* Guerin - Meneville), broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari.), cochinilla harinosa (*Planococcus citri* L.) entre otros; y enfermedades como la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk & Broome), mancha de hierro (*Cercospora coffeicola* Berk & Cke), antracnosis (*Colletotrichum* spp. Noack), ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk & Curt), derrite (*Phoma costarricensis*), mal de hilachas (*Pellicularia koleroga* Cooke).

La roya del café provoca la caída prematura de las hojas, reduce la capacidad fotosintética, debilitamiento, y en infecciones severas, puede ocasionar muerte regresiva en ramas e incluso la muerte de los árboles (Guharay *et al.*, 2000).

Entre las alternativas de manejo biológico de enfermedades se encuentra el uso de microorganismos benéficos tales como hongos, bacterias, nematodos y virus, que por diferentes mecanismos atacan y regulan a los patógenos de las plantas y las enfermedades que ellos causan (Cristancho, 2003), sin embargo, debido a diversos problemas fitosanitarios como plagas y enfermedades, el principal método de manejo es el uso de agroquímicos, que incluyen plaguicidas con diversos grados de toxicidad y de residualidad, causando daños al ambiente y a la salud humana (Perfecto *et al.*, 2007).

De acuerdo con Hernández *et al.* (2021), la efectividad de los biofungicidas basados en bacterias, se sitúa entre 50 % para el control de la germinación de esporas patógenas y 90 % para lesiones en tejido foliar, cuando son aplicados previamente a la exposición de las esporas de la roya del café. Para que se presenten los efectos benéficos, las bacterias necesitan colonizar el tejido de las hojas de los cafetos, lo que provoca un aumento en el sistema inmune de la planta, genera un ambiente competitivo por espacio y restricción de nutrientes (Silva *et al.*, 2012). Haddad *et al.* (2009) afirman que, la concentración del inóculo de un biofungicida también es un factor importante para promover el buen desarrollo de las bacterias benéficas y proteger a los cafetos de la infección por roya del café.

Los biofungicidas basados en hongos tienen modos de acción similar a las bacterias, induciendo resistencia sistémica a las plantas y coadyuvando al vigor general de ella (Herrera-Estrella y Chet, 2004). Pero también pueden actuar como micoparásitos o hiperparásitos, proceso mediante el cual, el micelio del agente de control biológico penetra diferentes estructuras del hongo patógeno y degrada parcialmente sus células, mediante la acción de enzimas líticas como quitinasas, glucanasas y proteasas (Viterbo *et al.*, 2002; Herrera-Estrella y Chet, 2004).

El objetivo de esta investigación es evaluar diferentes alternativas de manejo biológico de la roya del café como un mecanismo antagónico que pueda usarse dentro de un plan de manejo integrado de plagas en la agricultura sustentable.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio. Esta investigación se realizó en una plantación de café ubicada en la comunidad El Chichicaste, municipio de San Lucas, departamento de Madriz, a 230 km de la capital Managua. Se seleccionó la Finca Las Pilas del productor Claudio de Jesús Alvarenga, ubicada en las coordenadas 13°22'34" de latitud Norte y 86°36'41" de longitud Oeste a una altitud de 1 130 msnm, con temperatura promedio anual de 22 °C y precipitación promedio anual de 1 300 mm [Instituto de Promoción Humana Somoto (INPRHU, 2018)]. La investigación se realizó de noviembre del 2018 a marzo del 2019.

Descripción general del estudio. El área experimental se diseñó para ser analizadas con medidas repetidas en el tiempo con submuestras. La variedad presente es Caturra de ocho años y con incidencia de la roya de café, los tratamientos evaluados fueron: 1) *Lecanicillium* spp 2) *Trichoderma* spp 3) *Bacillus subtilis* cepa QST 713 Serenade® ASO 4) Producto químico a base de Azoxistrobina + Cyproconazole (Amistar Xtra®) y 5) Testigo absoluto (sin aplicación de producto). Las aplicaciones de los tratamientos se realizaron cada 15 días a partir del 30 de noviembre del 2018 hasta el 11 de marzo del 2019; se utilizó una bomba de mochila con capacidad de 20 litros con boquilla tipo cónica regulable, este tipo de boquilla es la más recomendable para la aplicación de estos productos debido a su alta turbulencia y gotas más finas, lo que permite una buena cobertura (Unisem, 2014).

Descripción de los tratamientos. Se evaluaron tres tratamientos de origen biológico, dos de ellos a base de hongos antagonistas (*Lecanicillium* spp, *Trichoderma* spp) con dosis de 300 g ha⁻¹, y uno con el uso de la bacteria *Bacillus subtilis* a una dosis de 3.6 L ha⁻¹; también se evaluó un producto sintético en dosis comercial 0.35 L ha⁻¹. Un quinto tratamiento fue el testigo absoluto (sin aplicación de producto).

***Lecanicillium* spp.** El hongo *Lecanicillium* spp se obtuvo del laboratorio de hongos entomopatógenos de la Universidad Nacional Agraria; proviene de la finca cafetalera Santa Emilia, ubicada en el Tuma, comunidad de La Dalia, en el departamento de Matagalpa, en la zona central Norte de Nicaragua. Este hongo se extrajo de hojas infestadas con roya hiperparasitadas por *Lecanicillium* spp.

***Trichoderma* spp cepa T0301.** El hongo *Trichoderma* spp, también se obtuvo del mismo laboratorio y fue extraído de muestras de suelo de una plantación de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), ubicada en El Viejo, municipio del departamento de Chinandega, en el occidente de Nicaragua.

***Bacillus subtilis* cepa QST 713 (Serenade® ASO).** Es un fungicida bactericida biológico preventivo para múltiples cultivos, contiene la bacteria *Bacillus subtilis* cepa QST 713; microorganismo que está presente también en la naturaleza y que previene el crecimiento de agentes patógenos al competir con ellos por su espacio vital y por los nutrientes, cuando se aplica en la zona radicular. La bacteria, además, favorece la resistencia de las plantas y sintetiza sustancias que actúan perforando y desorganizando la membrana celular (BAYER, 2024, parr. 4).

***Azoxistrobina* + *Cyproconazole* (Amistar Xtra®).** Es un fungicida sintético sistémico para el manejo de enfermedades foliares en diferentes cultivos. Amistar Xtra® combina la destacada acción preventiva y antiesporulante de azoxistrobina, perteneciente al grupo de las estrobilurinas, con el efecto curativo y erradicante de cyproconazole, perteneciente al grupo de los triazoles. La mezcla de ambos principios activos determina una acción combinada, bloqueando el proceso respiratorio y la síntesis de ergosterol en los hongos. Esta acción asegura un amplio espectro de control durante un periodo prolongado y reduce el riesgo de aparición de cepas resistentes (Syngenta, 2019).

Testigo absoluto. No se realizó ninguna aplicación y el manejo fitosanitario fue de acuerdo con lo que tradicionalmente realiza el productor que consiste en podas sanitarias y fertilización edáfica y foliar.

Variables evaluadas

Número de hojas totales. Se contabilizó el total de hojas en tres bandolas (ramas productivas) ubicadas cada una en la región alta, media y baja de la planta. Para el análisis estadístico se usó el promedio del número de hojas obtenidas del total de muestreo (ocho momentos).

Número de hojas sanas. Se contabilizaron las hojas que visiblemente no presentaban síntomas de enfermedad o presenciade hongos. Su análisis fue idéntico al de número de hojas totales.

Incidencia de roya (%). La incidencia de roya se medió utilizando el total de hojas afectadas con roya del café de cada bandola, dividido entre el total de hojas por bandola multiplicadas por cien, para obtener el porcentaje de incidencia según la ecuación propuesta por Vargas (2017).

$$\text{Incidencia de roya (\%)} = \frac{\text{Total de hojas con roya por bandola}}{\text{Total de hojas muestreadas por bandola}} \times 100$$

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Severidad de roya (%). Se utilizó la metodología empleada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2013), quien emplea una escala que presenta un porcentaje de daño desde el grado cero, que representa la hoja completamente sana, hasta el grado 4, que es una hoja con más del 50 % de su área afectada. En el Cuadro 1, se indica el grado de severidad en función del porcentaje de daño ocasionado por la roya del café.

Cuadro 1. Escala de severidad para roya

Grado	Porcentaje de daño en la hoja
0	Sana (sin síntomas visibles)
1	1% - 5 % de área afectada
2	6 % - 20 % de área afectada
3	21 % - 50 % de área afectada
4	> 50 % de área afectada

Fuente: SAGARPA (2013).

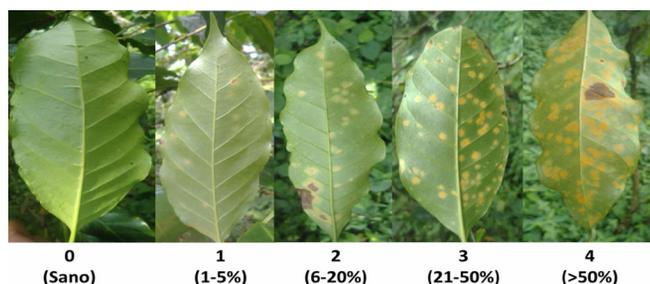


Figura 1. Escala de severidad de roya del café según sintomatología. Fuente: DGSV-Sinavef-Lanref, citado por SAGARPA (2013).

Esta escala permite determinar la severidad sobre la base del porcentaje de afectación que se usa en la ecuación de Townsend y Heuberger (1943):

$$\text{Severidad de roya (\%)} = \frac{(N_0 \times 0) + (N_1 \times 1) + (N_2 \times 2) + (N_3 \times 3) + (N_4 \times 4) \times 100}{N \times 4}$$

Donde:

- N: Número total de hojas por muestreo
- N_0 : Número de hojas con valor 0 de la escala
- N_1 : Número de hojas con valor 1 de la escala
- N_2 : Número de hojas con valor 2 de la escala
- N_3 : Número de hojas con valor 3 de la escala
- N_4 : Número de hojas con valor 4 de la escala

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza para todas las variables, transformando los datos de incidencia y severidad de roya en arcoseno ($\sqrt{x/100}$); en el caso del número de hojas totales y número de hojas sanas, se transformaron en raíz ($\sqrt{x+0.5}$), luego se hicieron comparaciones de medias por Tukey ($\alpha=0.05$). Se utilizó el programa estadístico SAS versión 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de hojas totales. Se registran diferencias significativas para esta variable ($p = 0.0001$), siendo el tratamiento *Bacillus subtilis* (Serenade® ASO) el que presenta mayor cantidad de hojas totales por bandola (Figura 2).

R. C. Larios-González (comunicación personal, 6 de diciembre, 2023) indica que el revestimiento es una fase fenológica de la planta de café que consiste en la formación de nuevas hojas; es favorecida por agentes del clima, principalmente, las precipitaciones y la temperatura, así como por el nivel de fertilidad del suelo y el estado sanitario de la planta.

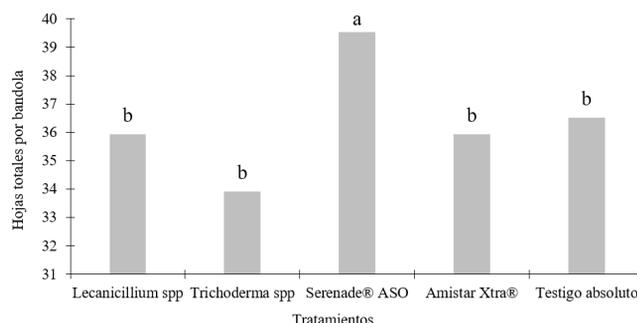


Figura 2. Número de hojas promedio por bandola según tratamiento.

La edad de la planta influye en la susceptibilidad a la roya de café. Perfect daily grind (2019), plantea que las plantas de café después de cinco años son más vulnerables a la roya del café. Según González (2013), a partir del 60 % de incidencia, la planta inicia el proceso de defoliación como mecanismo de autodefensa ante la enfermedad, lo que representa un menor número de hojas totales.

Bettiol y Varzea (1992) en condiciones controladas y utilizando dosis altas de *Bacillus subtilis* registran un 100 % de control sobre la roya del café cuando las aplicaciones se realizan de manera preventiva. También Guerra y Welchez (2013) determinaron que aplicaciones de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* spp permiten un control a largo tiempo de esta enfermedad, así como un aumento en el número de hojas.

El testigo absoluto tiene igual efecto que Amistar Xtra®, *Trichoderma* spp y *Lecanicillium* spp. Según Barquero (2013), la realización de prácticas agronómicas como la poda del café tienen un efecto directo sobre la capacidad productiva de la plantación, pero además y de forma indirecta, si se realizan bien, limitan el progreso de la roya, así como de otras enfermedades del cultivo. También la poda reduce el número total de hojas en la planta.

Número de hojas sanas. Se registran diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p = 0.0001$). La mayor cantidad de hojas sanas se obtiene con el tratamiento Azoxistrobina + Cyproconazole (Amistar Xtra®) con 31 hojas por bandola,

CIENCIA DE LAS PLANTAS

seguido de *Bacillus subtilis* (Serenade® ASO) con 26 hojas sanas; el tratamiento con el menor número de hojas sanas es *Trichoderma* spp con 15 hojas por bandola (Figura 3).

El manejo del cultivo, las variedades de café, la densidad de siembra, el estado nutricional de la planta, el uso y manejo de sombra, el control de plantas arvenses y, muy en especial, la edad de la planta de café, son otros factores que tienen influencia e implicaciones en las funciones fisiológicas y en el desarrollo de la roya del café (Virginio y Astargo, 2015).

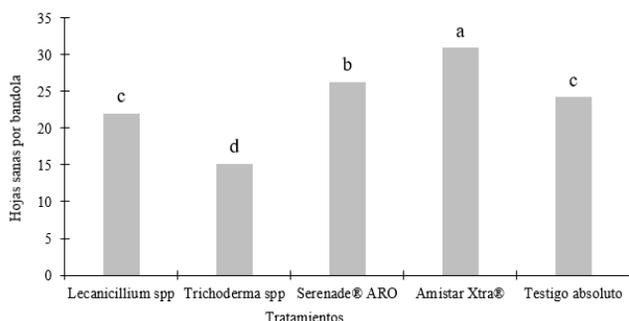


Figura 3. Número de hojas sanas promedio por bandola según tratamiento.

El cultivo de café bajo sombra regulada proporciona condiciones de microclima que propician el desarrollo de la roya del café, lo que coincide con Virginio y Astargo (2015) quienes señalan que, bajo condiciones de sombra, las hojas se mantienen mojadas por más tiempo posterior a un evento lluvioso, lo que favorece la germinación de las esporas, las temperaturas son cercanas a las óptimas para la germinación y penetración del hongo y hay una mayor humedad relativa.

El estrato alto de la planta de café presenta el mayor porcentaje de hojas sanas (26 %), seguido del estrato medio con un porcentaje de 23 %. El estrato bajo presenta el menor porcentaje de hojas sanas con un promedio de 22 %.

El estrato bajo de la planta presenta los menores porcentajes de número de hojas totales y número de hojas sanas debido a que en las hojas de los estratos medio y bajo se aloja el inóculo residual de la roya, el que se beneficia con las primeras lluvias y acelera el proceso infeccioso; esto mismo ha sido reportado por Barquero (2013) quien indica que el inóculo residual se encuentra en las hojas internas de las bandolas, principalmente la de los estratos medio y bajo de la planta.

Incidencia de roya (%). Se determinaron diferencias estadísticas entre las fechas de muestreos y tratamientos para esta variable ($p = 0.0001$) obteniendo alto porcentaje de incidencia de roya

en todo el periodo de estudio, que sobrepasan los niveles aceptables, el que debe ser de 10 % según Sierras-Sanz y Montoya-Restrepo (1995) y el Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA, 2017). En la segunda semana del mes de diciembre del 2018 se presentó la menor incidencia de roya con 11.98 % en el tratamiento testigo (sin aplicación de producto), seguido del tratamiento *Lecanicillium* spp con 15.76 % en la última semana de muestreo (marzo, 2019). La mayor incidencia se registra en la última semana de enero del 2019 con 79.81 % en el tratamiento *Trichoderma* spp y manteniendo alta incidencia en los meses de febrero y marzo (Figura 4).

Algunos de los factores que influyeron en estos resultados son: existencia de lotes con edad mayor de 10 años, manejo inadecuado de plagas y enfermedades y el predominio de la variedad Caturra, la que es altamente susceptible al ataque de la roya del café. Estrada (2015) indica que la variedad Caturra, es susceptible al ataque de roya, y propone el uso de cultivares resistentes como medida eficaz para el manejo de roya. Sin embargo, no se debe descartar el uso de productos biológicos de manera constante como una alternativa amigable con el ambiente, aunque con el producto químico Azoxistrobina + Cyproconazole (Amistar Xtra®) se haya registrado 0.91 % de incidencia en la segunda semana de enero y 0 % en el resto de las fechas muestreadas.

Severidad de roya (%). Se determinan diferencias significativas entre las fechas de muestreos y tratamientos ($p = 0.0001$). Los porcentajes de severidad de roya (para todos los casos) en la primera fecha de muestreo varía entre 19.67 % y 38 %. En enero se registra alta severidad de roya en el testigo (38.67 %) y con el uso de *Trichoderma* spp (37 %), clasificándose en el grado 3 de acuerdo con la escala de severidad.

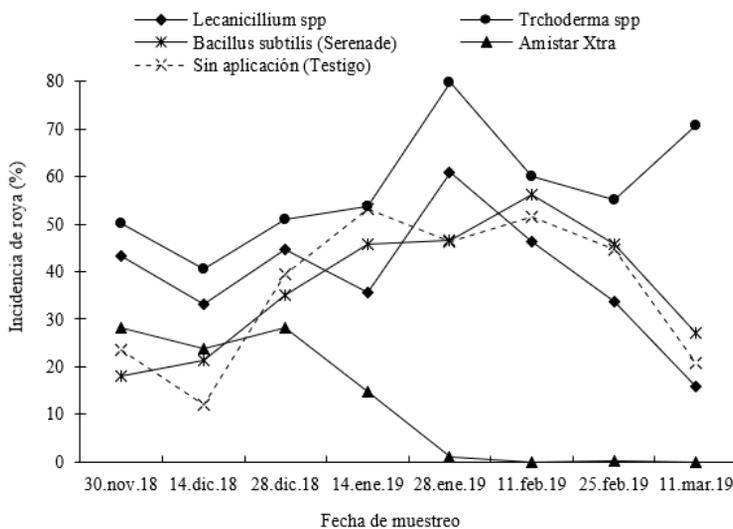


Figura 4. Incidencia de roya según momento de muestreo y tratamiento

CIENCIA DE LAS PLANTAS

En marzo del 2019 se presentó la menor severidad de roya con 11.33 % correspondiente a 2 en la escala y se registró en el tratamiento *Lecanicillium* spp, siendo este producto biológico la mejor alternativa para el manejo de roya ante el uso de productos químicos, aunque con Azoxistrobina + Cyproconazole (Amistar Xtra®) se haya registrado 1.33 % a finales de enero y 0 % de severidad de roya en febrero y marzo del 2019 (Figura 5).

Los altos porcentajes de severidad de roya que se presentaron en la última semana de noviembre del 2018 y en la segunda semana del mes de enero de 2019 se debió a que en este periodo del año las afectaciones por roya aumentan por las condiciones favorables para su desarrollo y las nulas labores de manejo durante la temporada de cosecha. Los recolectores (cortadores) también se convierten en agentes diseminadores de la enfermedad.

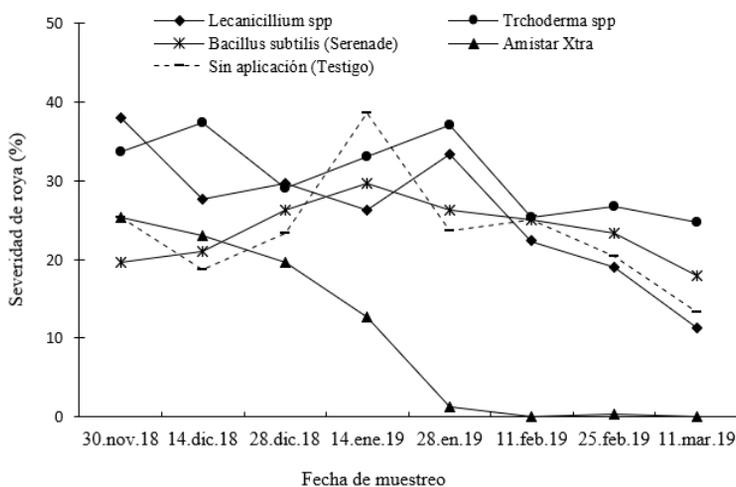


Figura 5. Severidad de roya (%) según momento de muestreo y tratamientos.

Las afectaciones se ven favorecidas debido a que la plantación se encuentra en un periodo de estrés causado por la carga fructífera y la cosecha. López (2010) reporta diferencias estadísticas de severidad entre cargas fructíferas.

Tanto la incidencia como la severidad inician a disminuir a partir de la segunda semana de enero (quinta aplicación de productos) y se registra al final del muestreo (marzo) que, entre los agentes biológicos, es *Lecanicillium* spp el que presenta menor afectación (Figura 4 y 5); este comportamiento puede también estar relacionada a las pérdidas de hojas afectadas por roya y a su caída natural durante la fase fenológica de defoliación.

CONCLUSIONES

El uso de Amistar Xtra® disminuye drásticamente la incidencia y severidad de la roya del café a partir de la tercera aplicación, llegando a cero en el sexto muestreo; en el caso de los productos biológicos, la incidencia y severidad inician a descender a partir de la quinta aplicación, registrándose los menores valores con el uso de *Lecanicillium* spp con dosis de 300 g ha⁻¹, disminuyendo la incidencia en 74 % y la severidad en 66 % respecto a la última fecha de muestreo.

AGRADECIMIENTOS

A la Unión Europea a través de Amigos de la Tierra por el financiamiento otorgado para la realización de esta investigación en colaboración con la Universidad Nacional Agraria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barquero Miranda, M. (2013). *Recomendaciones para el combate de la roya del cafeto (Hemileia vastatrix Berk et Br.)*. <https://www.researchgate.net/publication/281625030>
- BAYER. (2024). *Serenade® ASO*. <https://www.cropscience.bayer.es/Productos/Biologicos/Serenade-ASO.aspx>
- Bettiol, W., & Varzea, V. M. P. (1992). Controle biológico da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) do cafeeiro com *Bacillus subtilis* em condições controladas. *Fitopatologia Brasileira*, 17(1), 91-95. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/10748>
- Cristancho Ardila, M. A. (2003). *Control Biológico de enfermedades*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/993/9/7.%20Control%20biol%C3%B3gico%20de%20enfermedades.pdf>
- Escobedo, A., Bendaña, E. y Gutiérrez, R. (s.f.). *Café de Nicaragua*. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8657/Cafe_de_Nicaragua_Cartilla.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Estrada Carhuallanqui, P. (2015). *Severidad de Hemileia vastatrix Berk. & Br. en plantones de cuatro variedades de Coffea arábica L. en Río Negro Satipo* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4018>
- Guerra Burgos, J. O. y Welchez Arita, J. A. (2013). *Evaluación de la efectividad de cuatro fungicidas biológicos en el control del hongo de la roya de café Hemileia vastatrix* [Tesis de ingeniería, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. Repositorio Institucional. <https://bdigital.zamorano.edu/items/f77a1e0d-90fd-42a4-bbb5-5ee467139634>

CIENCIA DE LAS PLANTAS

- Guharay, F., Monterey, J., Monterroso, D. y Staver, Ch. (2000). *Manejo integrado de plagas en el cultivo de café*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Haddad, F., Maffia, L. A., Mizubuti, E. S. G., & Teixeira, H. (2009). Biological control of coffee rust by antagonistic bacteria under field conditions in Brazil. *Biological Control*, 49(2), 114-119. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.02.004>
- Hernández, C., López, L. y Sánchez, L. (2021). Agentes de control biológico de la roya del café ¿Cómo funcionan y qué tan efectivos son? *Bio Tecnología*, 25(1), 21-30. <https://smbb.mx/wp-content/uploads/2021/05/Hernandez-et-al.-2021.pdf>
- Herrera-Estrella, A., & Chet, I. (2004). *The biological control agent Trichoderma from fundamentals to applications*. https://www.researchgate.net/publication/267364021_The_Biological_Control_Agent_Trichoderma_From_Fundamentals_To_Applications
- Instituto de Promoción Humana Somoto. (2018). *Registro de datos meteorológicos de INPRHU*. INPRHU.
- Instituto Nacional de Información de Desarrollo y Ministerio Agropecuario y Forestal. (2012). *Informe final IV Censo Nacional Agropecuario*. <http://www.fao.org/3/I9362ES/i9362es.pdf>
- López Bravo, D. F. (2010). *Efecto de la carga fructífera sobre la roya (Hemileia vastatrix) del café, bajo condiciones microclimáticas de sol y sombra, en Turrialba, Costa Rica* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4863>
- Moraga, P., Bolaños, T., Ilich, R., Munguía, R., Pohlan, J., Barios, M., Haggar, J. y Gamboa, W. (2011). Árboles de sombra e intensidad del cultivo afectan el rendimiento de café (*Coffea arabica* L.) y la valoración ecológica en Masatepe, Nicaragua. *La Calera*, 11(17), 41 - 47. <https://lactalera.una.edu.ni/index.php/CALERA/article/view/141>
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. (2017). *Sistema de alerta temprana para la roya y otras plagas del café para la región del OIRSA: Implementación del modelo piloto del sistema de alerta temprana (SAT) para la roya del café en la región del OIRSA*. [https://www.oirsa.org/contenido/2018/Sanidad_Vegetal/Manuales%20OIRSA%202015-2018/ANEXO.%203.%20SISTEMA%20DE%20ALERTA%20TEMPRANA%20PARA%20LA%20ROYA%20Y%20OTRAS%20PLAGAS%20DEL%20CAFE%20\(1\).pdf](https://www.oirsa.org/contenido/2018/Sanidad_Vegetal/Manuales%20OIRSA%202015-2018/ANEXO.%203.%20SISTEMA%20DE%20ALERTA%20TEMPRANA%20PARA%20LA%20ROYA%20Y%20OTRAS%20PLAGAS%20DEL%20CAFE%20(1).pdf)
- Perfect daily grind. (2019). *Guía de plagas y enfermedades comunes del café*. <https://perfectdailygrind.com/es/2019/01/25/guia-de-plagas-y-enfermedades-comunes-del-cafe/>
- Perfecto, I., Rice, R. A., Greenberg, R., & Van der Voort, M. E. (2007). Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity: Shade coffee plantations can contain as much biodiversity as forest habitats. *BioScience*, 46(8), 598 - 608. <https://doi.org/10.2307/1312989>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2013). *Roya del caféto Hemileia vastatrix Berkeley & Broome*. <https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Roya%20cafetito/Fichas%20tecnicas/Ficha%20T%C3%A9cnica%20de%20Roya%20del%20cafetito.pdf>
- Sierras-Sanz, C. A. y Montoya-Restrepo, E. C. (1995). *Control de la roya del caféto con base en niveles de infección y su efecto en la producción*. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc046%2802%29069-080.pdf>
- Silva, H. S. A., Tozzi, J. P. L., Terrasan, C. R. F., & Bettiol, W. (2012). Endophytic microorganisms from coffee tissues as plant growth promoters and biocontrol agents of coffee leaf rust. *Biological Control*, 63(1), 62-67. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S104996441200117X?via%3Dihub>
- SYNGENTA. (2019). *Amistar Xtra*. <https://www.syngenta.com.ar/product/crop-protection/fungicida/amistar-xtra>
- Townsend, G. R., & Heuberger, J. W. (1943). *Methods for estimating losses caused by diseases in fungicidal experiments*. <https://eurekamag.com/research/025/008/025008582.php>
- Unisem. (2014). *Selección de boquilla correcta*. <https://semillastodoterreno.com/2014/07/seleccione-la-boquilla-correcta>
- Vargas Tenorio, D. A. (2017). *Efecto de la aplicación de Lecanicullium lecanii sobre la incidencia y severidad de la roya (Hemileia vastatrix) en el cultivo de café (Coffea arabica)* [Tesis de Ingeniería, Universidad de Costa Rica]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3432/1/40419.pdf>
- Virginio Filho, E. de M. y Astorga Domain, C. (2015). *Prevención y control de la roya del café: Manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores*. <https://worldcoffeeresearch.org/es/resources/prevention-and-control-of-coffee-leaf-rust>
- Viterbo, A., Ramot, O., Chernin, L., & Chet, I. (2002). Significance of lytic enzymes from Trichoderma spp. in the biocontrol of fungal plant pathogens. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 81, 549–556. <https://doi.org/10.1023/A:1020553421740>