



Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra

Rust (*Hemileia vastatrix*) response to climatic conditions and fungicide applications in shade-grown coffee (*Coffea arabica*)

Resposta da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) frente às condições climáticas e aplicações de fungicidas no cultivo de café (*Coffea arabica*) sob sombra

Isidro Calero Ocón

Universidad Nacional, Costa Rica
isidro.calero.ocon@una.cr
<https://orcid.org/0009-0005-9549-4262>

<http://doi.org/10.15359/prme.22-44.8>

Fecha de recepción: 29/01/2024 🌐 Fecha de aceptación: 22/07/2024 🌐 Fecha de publicación: 16/09/2024



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License. Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.



RESUMEN

La roya del café (*Hemileia vastatrix*) se reportó por primera vez en 1869 en una plantación de la isla Sri Lanka, Asia, y se ha propagado hacia todas las zonas cafetaleras alejadas de su centro de origen. La coexistencia entre la planta de café, principalmente *Coffea arabica*, y el hongo *H. vastatrix* conduce a una coevolución, la cual se traduce por la expresión de una gran variabilidad genética en cuanto a la resistencia de la planta frente a la enfermedad y a la virulencia del hongo hacia la planta (Avelino y Rivas, 2013). Las relaciones tróficas entre el hongo y el huésped están influenciadas por la humedad del suelo, la carga fructífera, las resistencias genéticas, las precipitaciones, la humedad relativa y la temperatura; los cuales son los principales factores que actúan sobre la colonización en la planta (Filho y Astorga, 2015). En este estudio se registró el comportamiento de *H. vastatrix* mediante muestreos para describir la relación entre la incidencia de la enfermedad y las condiciones ambientales, tales como la precipitación, la temperatura y la humedad relativa en un período de 18 meses en la Finca Experimental Santa Lucía (FESL), Heredia, Costa Rica. Como principales resultados de este estudio, se demostró que con el uso de fungicidas triazoles e hidróxido de cobre se puede mantener la incidencia de la enfermedad en un rango menor a un 7 %, a pesar del aporte para su desarrollo por parte de las precipitaciones intervalo y un aumento de temperatura, pero no por el incremento de la humedad relativa. Un adecuado manejo para la roya del café y la presencia de sombra puede favorecer la reducción en la incidencia de la enfermedad en el cultivo de café en la FESL.

Palabras clave: café; enfermedad de las plantas; hongo; agricultura; agroclimatología.

ABSTRACT

Coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) was first reported in 1869 on a plantation on the island of Sri Lanka, Asia, and has since spread to all coffee-growing regions far from its center of origin. The coexistence between the coffee plant, primarily *Coffea arabica*, and the fungus *Hemileia vastatrix* leads to coevolution, which manifests in significant genetic variability in the plant's resistance to the disease and the fungus's virulence towards the plant (Avelino and Rivas, 2013). The trophic relationships between the fungus and the host are influenced by soil moisture, fruit load, genetic resistance, precipitation, relative humidity, and temperature; these are the main factors affecting plant colonization (Filho and Astorga, 2015). In this study, the behavior of *H. vastatrix* was recorded through sampling to describe the relationship between disease incidence and environmental conditions, such as precipitation, temperature, and relative humidity, over an 18-month period at the Santa Lucía Experimental Farm (FESL) in Heredia, Costa Rica. The main findings demonstrated that the use of triazole fungicides and copper hydroxide can maintain disease incidence below 7%, despite contributions to its development from precipitation and increased temperatures, but not from increased relative humidity. Proper management of coffee leaf rust and the presence of shade can help reduce the incidence of the disease in the coffee plantation at FESL.

Keywords: coffee; plant disease; fungus; agriculture; agroclimatology.

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
 Isidro Calero Ocón



RESUMO

A ferrugem do café (*Hemileia vastatrix*) foi relatada pela primeira vez em 1869 em uma plantação na ilha do Sri Lanka, Ásia, e se espalhou para todas as áreas de cultivo de café longe de seu centro de origem. A coexistência entre a planta do café, principalmente a *Coffea arabica*, e o fungo *Hemileia vastatrix* leva à coevolução, que se traduz na expressão de uma grande variabilidade genética em termos de resistência da planta à doença e da virulência do fungo em relação à planta (Avelino e Rivas, 2013). As relações tróficas entre o fungo e o hospedeiro são influenciadas pela umidade do solo, carga frutífera, resistências genéticas, precipitação, umidade relativa e temperatura; quais são os principais fatores que atuam na colonização na planta (Filho ou Astorga, 2015). Neste

estudo, o comportamento de *H. vastatrix* foi registrado por amostragem para descrever a relação entre a incidência da doença e as condições ambientais, como precipitação, temperatura e umidade relativa do ar em um período de 18 meses na Fazenda Experimental Santa Lucía (FESL), Heredia, Costa Rica. Os principais resultados deste estudo foram que o uso de fungicidas triazólicos e hidróxido de cobre pode manter a incidência da doença em uma faixa inferior a 7 %, apesar da contribuição para o seu desenvolvimento pela precipitação e aumento da temperatura, mas não pelo aumento da umidade relativa. O manejo adequado da ferrugem do café e a presença de sombra podem favorecer a redução da incidência da doença na cafeicultura na FESL.

Palavras-chave: café; doenças das plantas; fungo; agricultura; agroclimatologia.

INTRODUCCIÓN

La roya del café, causada por el hongo basidiomicete *Hemileia vastatrix*, es la enfermedad más problemática en la producción de este grano (Brenes *et al.*, 2016). Se reportó por primera vez en 1869 en una plantación de la isla Sri Lanka, Asia, y hasta 1970 se registró por primera vez en América en el hemisferio occidental, traída desde el África Occidental y diseminada desde Brasil a países del Sur y Centroamérica en el año 1976, donde estaban algunos de los países productores más importantes del mundo (Agrios, 2008).

Cuando la roya del café afectó a Centroamérica, se impulsó la innovación y la tecnificación en la cafeicultura con el objetivo de dar resiliencia a la producción nacional; Costa Rica fue el país que justamente alcanzó el mayor grado de tecnificación en sus cafetales en el siglo XX. La variedad Obatá fue una alternativa a los cafés de portes altos por su rendimiento muy superior a las variedades tradicionales, pero con la necesidad de un mayor uso de fertilizantes y otros agroquímicos para mantener la productividad (McCook, 2009).

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
Isidro Calero Ocón



Los síntomas de la enfermedad de la roya del café se caracterizan por la presencia de manchas mantecosas en el haz y pústulas color naranja en el envés de las hojas, esto puede causar absición o pérdida programada del follaje y como consecuencia se producen frutos pequeños y de mala calidad. La caída de una hoja puede ocurrir con la presencia de una sola uredia bien desarrollada (Agrios, 2008).

El hongo basidiomiceto *H. vastatrix* es un patógeno obligado, sobrevive en las hojas principalmente en forma de micelio, uredias y uredosporas; en ocasiones, produce teliosporas que al germinar forman basidiósporas, estas últimas no afectan al cultivo de café y aún no se ha reportado el hospedante alternativo, por lo tanto, se piensa que todas las infecciones se deben únicamente a uredosporas porque necesitan un alto nivel de humedad y rocíos para poder germinar e infectar al cultivo, si las condiciones son favorables para la enfermedad puede germinar y entrar a las hojas en menos de 12 horas; las hojas jóvenes son más susceptibles que las maduras (Agrios, 2008).

Una vez que el patógeno inicia el proceso de infección, a los 27 días se pueden observar algunos síntomas tales como manchas de color amarillo pálido en el envés de las hojas, las cuales posteriormente aumentan de tamaño y se unen formando las características manchas amarillas o anaranjadas con apariencia de polvo fino. Para la germinación de las esporas se requiere de la presencia de humedad en el ambiente por al menos seis horas, temperaturas entre 21°C y 25 °C y condiciones de oscuridad. Después de 8,5 horas se comienza a formar los apresorios que infectan las células vivas. Para la germinación es necesario oscuridad y al menos 48 horas sin agua a nivel externo de la hoja. Cuando se reduce la disponibilidad de agua en la hoja se detiene el crecimiento del tubo germinativo de las esporas. Si se da la germinación de estas, el hongo penetra las hojas a través de las estomas localizadas sobre el envés y mediante haustorios extrae nutrientes necesarios para su crecimiento; 30 días después de la colonización, el hongo genera soros que se encargan de producir nuevas uredosporas, a este proceso se le denomina periodo de latencia (Filho y Astorga, 2015).

Las razas de la roya del café se cuentan por decenas, aunque se ha demostrado que la raza 2 es una de las más virulenta y está presente en la mayoría de las zonas cafetaleras del mundo. Para el 2012 estaban reportadas las razas XXIV (v2, 4 y 5) y XXXVI (v2, 4, 5 y 8), lo cual implica que el hongo estaba mutando. La relación entre *Coffea arabica* (la planta) y *H.*

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
 Isidro Calero Ocón



vastatrix (patógeno) está fundamentada por la teoría de gen a gen, donde el hongo de la roya del café contiene genes de virulencia, denominados con la letra v y un número. Se ha encontrado que para cada gen de resistencia SH (que confiere resistencia en la planta de café), hay un gen de virulencia v (Avelino y Rivas, 2013).

La temperatura óptima para el desarrollo de la roya del cafeto es de 22° a 23 °C, el periodo de incubación de la enfermedad se acorta con temperaturas favorables. Entre más cercana esté la temperatura de 22 °C, más probable es que se desarrolle la roya. Cuando la altitud es baja (cerca de 750 m s. n. m.) el periodo de latencia del hongo puede llegar a completarse en 62 días, mientras que a 1200 m s. n. m. puede completarse en 80 días debido a las bajas temperaturas (Filho y Astorga, 2015).

El balance hídrico es otro factor que indirectamente influye en el desarrollo de la enfermedad, la precipitación actúa como factor determinante en la germinación y dispersión de las esporas, y de forma indirecta sobre otros factores ambientales como la humedad relativa, la temperatura y la luminosidad. La sombra se correlaciona en función del tipo de contacto de las gotas de agua sobre las hojas del cultivo de café, en lluvias de baja intensidad la sombra contribuye a limitar la dispersión de esporas de la roya, pero, al contrario, las lluvias fuertes alientan la dispersión, por el impacto de las gotas grandes sobre el dosel de las plantas de café (Filho y Astorga, 2015). Aunque es incierto el dato específico sobre humedad relativa que influye en el desarrollo de la enfermedad se sabe que la mojadura de las hojas tiene un efecto sobre la germinación de la uredospora de la roya (Avelino y Rivas, 2013).

Para el año 2012 se dio un nuevo brote, se presentó en toda Latinoamérica donde había producción de café. La afectación aumentó según la carga fructífera, la precipitación, la cantidad de inóculo primario o residual y la densidad foliar. Dicho brote tuvo mayor presencia durante el pico de cosecha. Los efectos individuales de diferentes factores ambientales y sus interacciones sobre los procesos biológicos del patógeno determinaron el desarrollo de la enfermedad causante de grandes pérdidas (Granados, 2021).

Dentro de los fungicidas sistémicos más usados contra *H. vastatrix* están los triazoles, donde estos evitan la síntesis de Ergosterol (inhibe la dimetilación de esteroides), esta molécula tiene como función darle permeabilidad y fluidez a la membrana celular o modulador de algunas proteínas celulares, no todos los triazoles poseen las mismas características o son iguales en

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
 Isidro Calero Ocón



su mecanismo de acción, pero difieren en su velocidad de acción (Rugeles, 2017). Los fungicidas que pertenecen a la familia de las Estrobilurinas actúan sobre la respiración celular (en las mitocondrias), específicamente tienen su punto de acción sobre el complejo III citocromo bc1 (ubiquinona reductasa) en el sitio Qi (FRAC [Comitê de Ação a Resistência a Fungicidas], 2019).

Los fungicidas cúpricos generalmente actúan por contacto y previenen la enfermedad formando una barrera protectora sobre la superficie de la lámina foliar, lo cual previene el ataque de hongos endoparásitos, los iones de cobre II son absorbidos por las Uredosporas (urediniosporas) hasta que la acumulación resulta letal para el patógeno (Gestor, 2019), además este tipo de fungicida evita que el hongo penetre la hoja, por lo que no puede sintetizar proteínas esenciales. El mecanismo de acción de estos productos consiste en el bloqueo de los procesos de respiración, producción de proteínas y debilitamiento de la membrana celular en las esporas (Barquero, 2013).

OBJETIVO

En este estudio se describió, mediante muestreos continuos en un período de 18 meses entre los años 2022 y 2023, la incidencia de la roya del café (*H. vastatrix*) frente a la precipitación, temperatura, humedad relativa y aplicaciones de fungicidas triazoles e hidróxido de cobre, con la finalidad de aportar información vital para el manejo de la enfermedad.

METODOLOGÍA

Descripción del sitio

El estudio se llevó a cabo en condiciones de campo del cultivo de café ubicado en la Finca Experimental Santa Lucía (FESL), la cual pertenece a la Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Costa Rica. La FESL está ubicada en el distrito de Santa Lucía, cantón Barva, provincia de Heredia, Costa Rica. Refieren para el área experimental una altitud de 1257 m s. n. m., 10° 01' 20" latitud norte y 84° 06' 45" longitud oeste. La zona posee una temperatura promedio/año de 19,3 °C, una humedad relativa promedio/año de 75,9 % y una precipitación promedio/año de 3672 mm, para el año 2022 y los primeros meses del año 2023 (IMN, 2022).

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
Isidro Calero Ocón



En total, la extensión del área establecida con la variedad Caturra fue de 1,35 ha, dividida en tres parcelas como se muestra a continuación en la **Tabla 1**.

Tabla 1

Tamaño de parcelas de café con variedad Caturra

Parcela	Plantas/edad	Poda/edad	Área (ha)
Cases	14 años	2 años	0,54
Tapia	10 años	3 años	0,11
Cedros	13 años	4 años	0,70
Total, de ha			1,35

Nota: elaboración propia, 2022-2023.

Los suelos son de orden andisol, suborden ustands, con textura superficial franco arcillosa y de fertilidad media, clasificado como una mezcla de Dystric Haplustands, Lithic Haplustands y Paralithic Ustorthents (Montes de Oca y Mata, 2019).

Descripción del material vegetal

El material donde se evaluó la incidencia de roya fue *Coffea arabica* L. var. Caturra, con diferente tiempo establecidas en cada parcela. El cultivo se encuentra sembrado a dos plantas por punto de siembra, con una distancia de 2 m entre hileras y 1 m entre puntos de siembra, lo que representa una densidad de siembra de 5.000 puntos de siembra/ha y 10.000 plantas/ha. El promedio productivo de las parcelas fue de 26,7 ha/ha para la cosecha 2022-2023.

El cultivo de café estuvo bajo un 57 % de sombra permanente de árboles de Cas (*Psidium friedrichsthalium*), Guachipelín (*Diphysa americana*), Ciprés (*Cupressus* sp.), Manzana Rosa (*Syzygium jambos*) y Cedro (*Cedrela odorata*), establecidos antes del cultivo de café, mantienen una distancia promedio de 8 m entre cada árbol.

Manejo de aplicaciones y productos

Como parte del manejo fitosanitario del cultivo de café, se realizaron atomizaciones de fungicidas en el área total de las parcelas, con la metodología en zigzag propuesta por Zamora (2015), se aplicó de forma lateral a las hileras de café; el operario caminó por el centro de la calle y realizó la

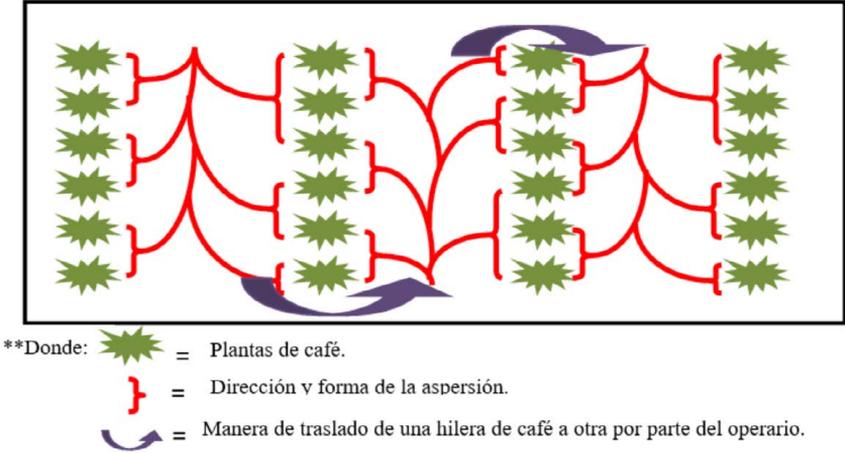
Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
Isidro Calero Ocón



aspersión lateralmente de dos plantas en dos plantas alternando entre hileras, de esta manera se logró avanzar con las dos hileras al mismo tiempo (**Figura 1**). Cada aplicación fue realizada utilizando bombas aspersoras de motor a presión de 500 PSI y boquillas tipo abanico plano en banda.

Figura 1

Representación gráfica de la metodología de aspersión zigzag



Nota: adaptado de Zamora, 2015.

El control de la roya del café se basó en el control químico con fungicidas protectores y sistémicos. Se realizaron siete aplicaciones en total durante los 18 meses, seis con un fungicida sistémico del grupo de los triazoles, con principio activo: Pyraclostrobin, Estrobirulina y Epoxiconazole a una dosis de 1,5 l/ha, en las fechas de: 1-febrero, 31-abril, 13-septiembre, 27-diciembre del 2022 y 19-julio del 2023; dos aplicaciones con un fungicida protector a base de hidróxido de cobre a una dosis de 1,5 kg/ha, solo aplicado cuando la incidencia fue menor a un 5 %, en fechas del 21-julio del 2022 y 28-marzo del 2023.

Variables

Para el adecuado monitoreo de la incidencia de la enfermedad se realizó un muestreo propuesto en el protocolo de vigilancia epidemiológica de la roya en el 2013 (Avelino *et al.*, 2019), donde la incidencia se utilizó para señalar la proporción (o el número) de plantas (o partes de esa planta) afectadas

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
Isidro Calero Ocón



por la enfermedad. El muestreo utilizado fue el propuesto por Barquero (2013), donde se seleccionaron 50 plantas al azar/ha, avanzando dentro de la parcela en forma de zigzag y cada 10 metros se tomó cada una de las plantas utilizadas en la ecuación; se seleccionaron cuatro bandolas de la planta, una por cada punto cardinal a mitad del eje ortotrópico, las hojas elegidas fueron jóvenes y maduras. A continuación, se muestra el cálculo utilizado para definir la incidencia en cada una de las plantas:

$$\frac{\text{Hojas afectadas}}{\text{Hojas totales}} * 100 = \% \text{ incidencia}$$

Se realizó este cálculo antes y después de cada aplicación de fungicida en cada una de las parcelas durante 18 meses (14 muestreos en total), se usó el promedio de dicha incidencia para reportar un solo dato, pues, las aplicaciones de fungicidas se realizaron en un mismo tiempo en todas las parcelas.

La variable incidencia se graficó junto con la precipitación, el porcentaje de humedad relativa y temperatura promedio mínima y máxima para cada mes que duró el estudio. Los datos climáticos fueron tomados de la Estación Automática ubicada en la FESL.

Descripción de manejo agronómico de las parcelas

Durante el 2022, la aplicación total de fertilizante químico fue de 91 kg de N, 4 kg de P₂O₅, 35 kg de K, 3 kg de Mg y 2 kg de S. Estas dosis fueron fraccionadas en tres aplicaciones durante los meses de mayo, julio y agosto. Para los siete primeros meses del año 2023 la aplicación total de fertilizante químico fue de 30 kg de N, 2.6 kg de P₂O₅, 23.2 kg de K, 1 kg de Mg y 1.2 kg de S. Estas dosis fueron fraccionadas en dos aplicaciones durante los meses de mayo y julio. La formulación para la fertilización se realizó mediante el software V8, según análisis químico de suelo y la productividad de las parcelas para cada año.

Para el control de arvenses se realizaron dos aplicaciones de herbicida Glufosinato amonio a una dosis de 2 l/ha para cada aplicación. Adicional al control con herbicida, se realizaron dos controles mecánicos al año con motoguadaña. Ambos (según correspondieron) se realizaron antes de las aplicaciones de fungicidas para mantener limpias las parcelas a la hora del control de roya.

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
 Isidro Calero Ocón



Resultados y discusión

Durante el período en que se llevó a cabo el estudio se logró tener un buen manejo de la enfermedad conforme se aplicaron los fungicidas de la manera correcta, donde se logró humedecer con el producto tanto el haz como el envés de las hojas, se consiguió colocando la boquilla en dirección de los costados y el centro de la planta. **Barquero (2013)** menciona que, para una correcta aplicación de fungicidas en el café, que garantice una mayor eficacia en el control de roya, estos deben aplicarse a las hojas procurando cubrir tanto el dorso como el reverso de la planta, en el envés de las hojas, pues, aunque algunos sean fungicidas sistémicos, pueden tener una mejor movilidad si se aplican sobre toda la planta.

No se relacionó la gravedad de la enfermedad con ningún factor climático o biológico, ya que, la incidencia fue muy baja durante el periodo de evaluación (menor a 10 %), y en estas condiciones **Avelino et al. (2019)** recomiendan utilizar el término de conteo de incidencia para este indicador, y no el de severidad, porque no todas las lesiones son del mismo tamaño y la cantidad puede ser tan alta que el conteo no es posible (lesiones se tornan incipientes), por ende la severidad no es una unidad muy bien definida para poner en marcha una respuesta de aplicación en campo; la severidad normalmente se utiliza cuando se evalúan pérdidas de producción, las cuales están mejor relacionadas con áreas foliares afectadas que con números de hojas afectadas.

En las hojas muy jóvenes donde la maduración de las estomas es incompleta, son menos receptivas a la enfermedad que las hojas adultas (**Avelino y Rivas, 2013**), en las crinolinias fue donde las infecciones de roya se presentaron con más frecuencia, ya que, la humedad es más alta en comparación al dosel vegetal durante el día y donde hay menos luz para el desarrollo de la enfermedad.

La incidencia de roya mostró una reducción en un primer periodo de lluvia del año 2022, en el mes de mayo con un 0 % de incidencia, en contraste con febrero donde se reportó una incidencia máxima para ese año del 6.86 % (antes de las primeras lluvias). Posteriormente, al primer periodo de lluvia, en los meses de junio-septiembre la incidencia de la enfermedad aumentó hasta llegar a 5.14 %, pese a las aplicaciones de fungicidas (**Figura 2**).

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas
 en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
 Isidro Calero Ocón



Durante el 2023, cuatro meses después de que se diera el primer pico de precipitaciones en el mes abril se presentó un aumento de la enfermedad en julio, pasando de una incidencia de 1.9 % a 7 %, respectivamente, siendo esta última la más alta reportada durante el estudio (**Figura 2**).

El aumento en la incidencia podría deberse a lo reportado por **Filho y Astorga (2015)**, donde pasados 30 días de la germinación del hongo después de las primeras lluvias, este genera soros que son los encargados de producir nuevas uredosporas, las cuales se puede visualizar un mes después de la infección. Esto podría explicar la reducción de la incidencia durante este primer pico de precipitación en los meses de mayo del 2022 y abril del 2023, donde la planta podría estar infectada por la enfermedad, pero esto no sería visual, sino hasta tiempo después.

En Centroamérica, los países con extensiones cafetaleras cuentan con influencia tropical y en algunas zonas existe una sola época de lluvias. Se han descrito cuatro fases en el desarrollo de la roya: primera fase, desarrollo lento entre los meses de mayo y julio seguida de una segunda fase de crecimiento acelerado entre los meses de agosto y febrero, hasta llegar al máximo de infección en la tercera fase y, finalmente, una fase de descenso (**Gichuru et al., 2012**). Lo anterior, se asemeja a lo encontrado en la presente investigación, pues, de mayo a julio del 2022 la incidencia máxima fue de 0 % a 0.67 %, respectivamente, mientras que de agosto a marzo del año 2023 estuvo por encima del 4 %. Para los meses de marzo y abril en ambos años (2022-2023), la incidencia tendió a un comportamiento decreciente donde se completa la cuarta fase de descenso de la incidencia (**Figura 2**).

Las lluvias no cesaron durante dos meses del período seco, de diciembre del 2022 a enero del 2023 (**Figura 2**), por lo que el inóculo primario del hongo se pudo haber favorecido al no disminuir la incidencia, gracias a la humedad en el ambiente. Esto podría ser un factor que aumenta la precocidad de la epidemia en los meses donde las precipitaciones comienzan a elevarse (**Avelino y Rivas, 2013**).

Granados (2021) indica que la incidencia, aunque sea alta no es sinónimo de alta esporulación del patógeno, debido a que la exposición de la planta al sol no permite el desarrollo del patógeno, eso explica por qué en condiciones de sombra densa (después de un 20-25 % según el **Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé], (2009)** había una mayor incidencia de la enfermedad, pero no defoliada en grandes cantidades. Sin embargo,

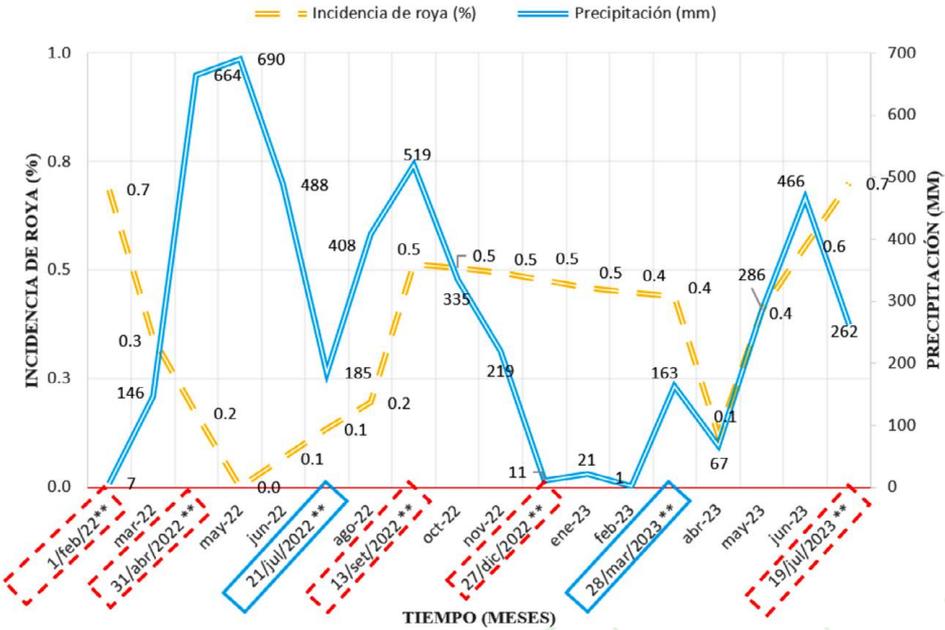
Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
 Isidro Calero Ocón



este autor reconoce que en parcelas en plena exposición incide mucho más la enfermedad debido a la mayor carga fructífera; bajo sombra permite que la temperatura de la hoja sea menor y menos favorable para el desarrollo de la enfermedad, este efecto se debe a que el ingreso de la luz sea el adecuado para la producción de carbohidratos, pero la temperatura que se desarrolla no permite el un crecimiento acelerado de la enfermedad.

Figura 2

Variación en la incidencia de la roya del café (*H. vastatrix*) en relación con las precipitaciones desde enero-2022 hasta julio-2023 en la FESL, Universidad Nacional



Fechas con ** fue donde se realizaron las aplicaciones contra roya con fungicidas de ingrediente activo Pyraclostrobin, Estrobirulina, Epoxiconazole e hidróxido de cobre. En las fechas marcadas en rojo (líneas discontinuas) se usó un fungicida sistémico Pyraclostrobin y Epoxiconazole, fechas marcadas en celeste (líneas continuas) se aplicó un fungicida protector hidróxido de cobre.

Nota: elaboración propia, 2022-2023.

En la **Figura 3** se logra apreciar que, durante el período de estudio, las precipitaciones alcanzaron un máximo diario de 70 mm (línea discontinua) a excepción de mayo del 2022, donde se observa valores de hasta 116 mm, estas condiciones favorecen el desarrollo de la enfermedad, según

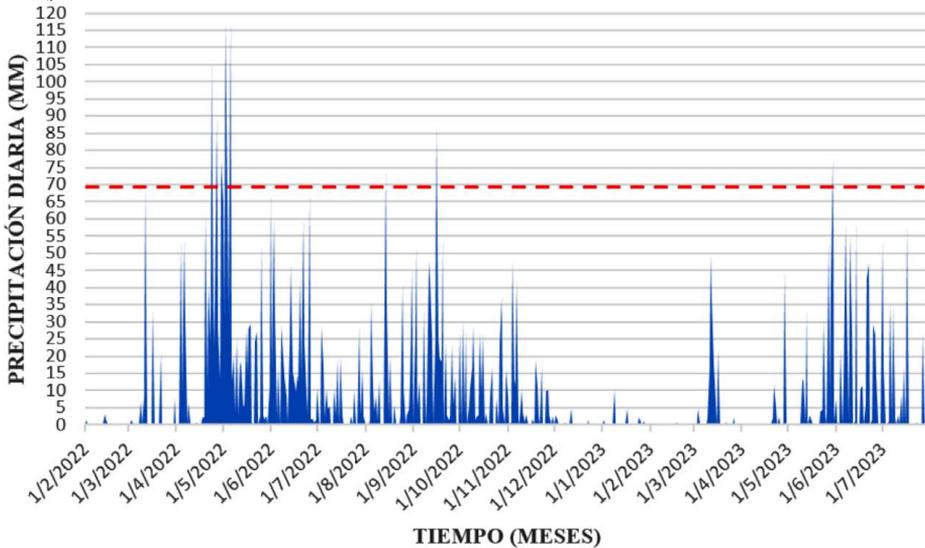
Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
Isidro Calero Ocón



lo descrito en la investigación de **Granados (2021)**, también causa mayores fluctuaciones sobre la incidencia de roya en parcelas con sombra densa con manejo convencional usando fungicidas.

Según **Avelino y Rivas (2013)**, la cantidad de agua para rebalsar la cara superior de la hoja son 5 mm de lluvia continua, cuando esto ocurre el agua despega directamente las uredosporas adheridas al esporóforo, pero si las lluvias son muy intensas pueden eliminar las esporas por lavado.

Figura 3
Precipitación promedio diaria registrada en el periodo desde febrero-2022 hasta julio-2023 en la FES, Universidad Nacional



Línea marcada en rojo (línea discontinua) indica el valor máximo diario.

Nota: elaboración propia, 2022-2023.

En el periodo de evaluación se presentaron temperaturas mínimas de 15 °C y máximas de 26 °C, esta última ocurrió específicamente a partir del mes de abril-2023 hasta julio-2023, y en consecuencia se observa un aumento exponencial sobre la incidencia de roya. En el período de mayo-2022 a sep-2022, la temperatura cayó a 23° C, luego fue de 24° y 25° C, y aun así la incidencia tuvo un crecimiento exponencial; podría ser efecto precedente de las primeras precipitaciones del 2022. La temperatura mínima se incrementó en al menos dos grados durante las noches (17 °C), y se acerca a la

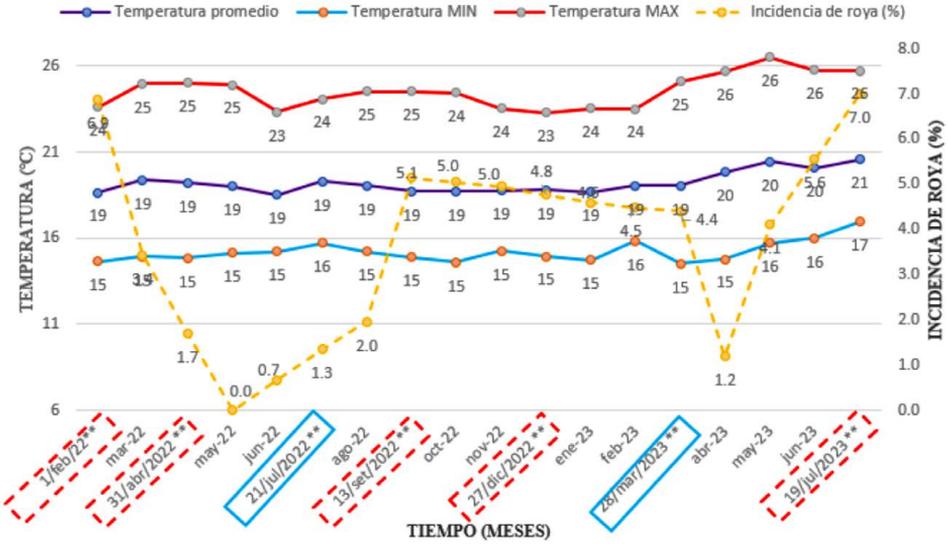
Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
Isidro Calero Ocón



temperatura para el desarrollo de la enfermedad (**Figura 4**). **Avelino y Rivas (2013)** mencionan que, a temperaturas cercanas al intervalo de 18 a 27 °C, los ciclos de la enfermedad se acortan y esto favorece a que la incidencia sea mayor en las plantaciones de café; dicha temperatura tiende a fluctuar menos bajo sombra, pues se genera un microclima que tiende a mitigar los aumentos abruptos de temperatura.

Figura 4

Variación en la incidencia de roya (H. vastatrix) en relación con la temperatura promedio mensual, temperatura promedio mensual mínima y máxima, desde enero-2022 hasta julio-2023 en la FESL, Universidad Nacional



Fechas con ** fue donde se realizaron las aplicaciones contra roya con fungicida a base de Pyraclostrobin, Estrobirulina, Epoxiconazole e hidróxido de cobre. Fechas marcadas en rojo (líneas discontinuas) fue donde se usó un fungicida sistémico a base de Pyraclostrobin y Epoxiconazole, fechas marcadas en celeste (líneas continuas) se aplicó fungicida a base de hidróxido de cobre.

Nota: elaboración propia, 2022-2023.

Los resultados de la presente investigación demuestran que la incidencia de roya puede aumentar en presencia de humedad relativa de 85 y aun cuando estaba en 69 %; aunque con un manejo como el ejecutado durante el periodo de evaluación se puede mantener la incidencia de roya menor a 7 %, esto para las condiciones ambientales de Santa Lucía, Barva, Heredia, Costa Rica. **Granados (2021)** afirma que cuando la humedad relativa es superior al

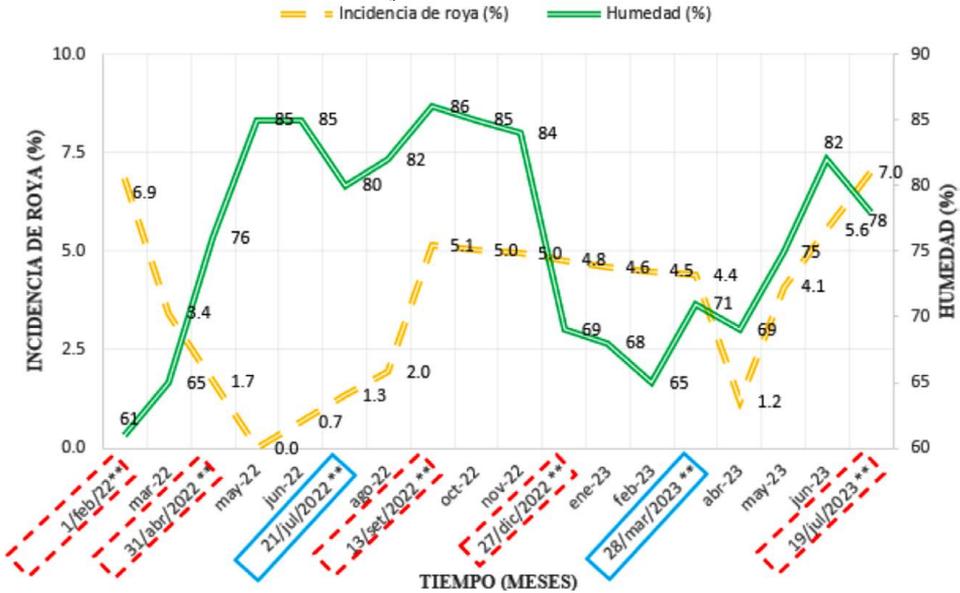
Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
Isidro Calero Ocón



85 %, el patógeno comienza a desarrollar el proceso de penetración y estabilización de su ciclo de vida en el hospedero, dando como consecuencia una creciente incidencia en el cultivo, resultado que discrepa del que se muestra en la **Figura 5**, donde había una humedad relativa inferior a la señalada por el autor, y aun así la enfermedad pudo aumentar su incidencia completando sus ciclos de vida.

Figura 5

Variación en la incidencia de roya (*H. vastatrix*) en relación con la humedad relativa desde enero-2022 hasta julio-2023 en la FESL, Universidad Nacional



Fechas con ** fue donde se realizó las aplicaciones contra roya con fungicida a base de Pyraclostrobin, Estrobirulina, Epoxiconazole e hidróxido de cobre. Fechas marcadas en rojo (líneas discontinuas) se utilizó un fungicida sistémico a base de Pyraclostrobin y Epoxiconazole, y en las fechas marcadas en celeste (líneas continuas) se aplicó un fungicida a base de hidróxido de cobre.

Nota: elaboración propia, 2022-2023.

Durante los 18 meses del estudio, se observaron cuatro etapas distintas en la incidencia de la roya en el cultivo. La primera fase, de febrero a mayo de 2022, mostró una disminución en la incidencia, en este periodo se registró los mayores datos de precipitación llegando a alcanzar hasta 690 mm. Le siguió una segunda fase ascendente desde mayo hasta septiembre de 2022, caracterizada por un aumento en la incidencia de la roya *H. vastatrix*, seguidas

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
Isidro Calero Ocón



por una reducción en las precipitaciones y un nuevo incremento de estas. La tercera etapa, que abarcó desde septiembre de 2022 hasta abril de 2023, comenzó con un leve descenso que culminó en un descenso abrupto hacia el final, donde ocurrió el segundo pico de precipitaciones (519 mm). Finalmente, la cuarta fase, de abril a julio de 2023, evidenció un nuevo incremento en la incidencia de la roya en el cultivo, esto durante un segundo aumento de precipitaciones en el 2023 y donde se registró la temperatura máxima de día (26 °C) y de noche (17 °C), lo cual coincide con un segundo aumento de la humedad relativa para el último periodo de estudio, completando así el ciclo observado durante el periodo de estudio.

De acuerdo con Filho y Astorga (2015), este aumento tardío de la incidencia podría deberse al efecto posterior de las condiciones climáticas, donde las lesiones pueden ser visibles un mes después de las primeras precipitaciones, siendo este factor el más determinante sobre el aumento de la enfermedad, humedad y temperatura.

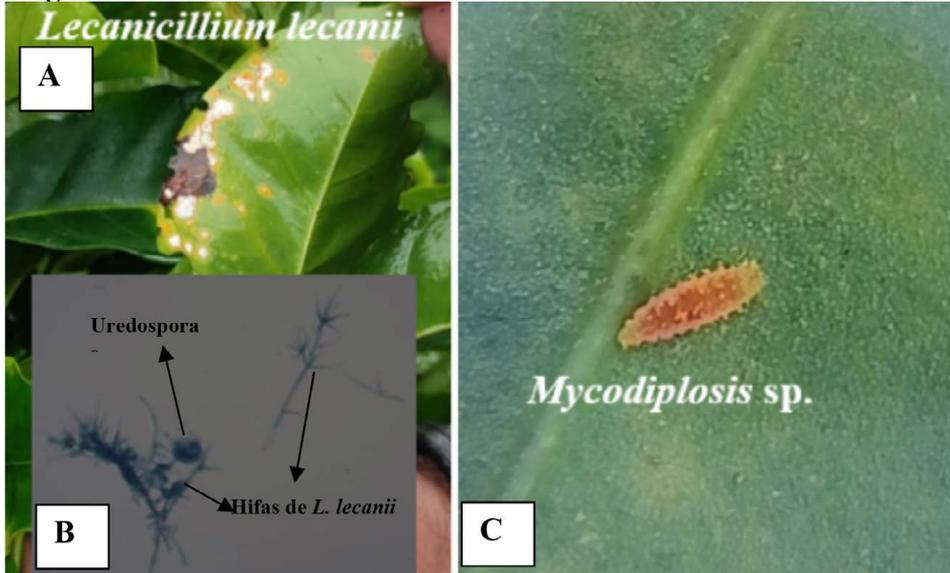
En respuesta a la baja incidencia de la roya y condiciones del medioambiente, se encontraron dos tipos de enemigos naturales de *H. vastatrix* (Figura 6), el que se detectó con más frecuencia fue *Lecanicillium lecanii*, mientras que *Mycodiplosis* sp. únicamente se logró ver al menos cinco veces en el periodo de evaluación. Ambos antagonistas se mostraron cuando la incidencia fue superior al 5 % y bajo alta densidad de sombra, esto concuerda con lo que describen Avelino y Rivas (2013), donde los focos de *L. lecanii* se presentaban cuando las incidencias de roya anaranjada eran las más altas y conforme se reducía la incidencia de roya iba asentándose la presencia de *L. lecanii*. Para *Mycodiplosis* sp., Zamora et al. (2020) encontraron que las larvas de este díptero se alimentan de uredosporas y a mayor disponibilidad de estas mayor era el número de larvas.

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
 Isidro Calero Ocón



Figura 6

Antagonistas de *H. vastatrix* encontrados en la FESL, Universidad Nacional



*A= *Lecanicillium lecanii* en pústulas de roya, B= Micoparasitismo de *Lecanicillium lecanii* encontrados en pústulas de roya visto a 40X, C= Larva de *Mycodiplosis* sp. encontrada alimentándose de uredosporas de roya vista a 60X.

Nota: elaboración propia, 2023.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El control de *H. vastatrix* es difícil, aunque con un manejo adecuado antes de la época lluviosa se pueden lograr resultados satisfactorios. De esta manera, se puede reducir las cantidades de inóculo primario que posterior a las primeras precipitaciones causan las altas incidencias, visibles un mes después de iniciadas las lluvias. Se recomienda hacer las aplicaciones pre-floración con un fungicida a base de Estrobirulina para potencializar el cuaje de las flores, de no realizarse este control en ese periodo se podrían esperar pérdidas primarias y secundarias, tales como baja calidad y agotamiento del material vegetal causadas por la caída de hojas.

Las aplicaciones para un adecuado manejo de esta enfermedad deberían realizarse de manera preventiva y de manera independiente al producto en

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
Isidro Calero Ocón



Revista Perspectivas Rurales by Universidad Nacional is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Creado a partir de la obra en <http://revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales>.

uso (curativos o protectantes), pues, en poco tiempo podría pasar de incidencias leves, aparentemente poco dañinas, a incidencias elevadas. La incidencia después del 10 % provocan una gran cantidad de hojas caídas a causa de la abscisión en respuesta de defensa de la planta frente a la infección.

Los cambios abruptos del clima podrían favorecer el desarrollo de la enfermedad, aunque la cantidad (mm) de lluvia sea la misma en dos años, si se distribuyen durante más cantidad de meses en el año el número de ciclos que se pueden completar, definirán el nivel de pérdidas en el cultivo. Estas precipitaciones prolongadas durante la mayor parte del año influyen directamente en la humedad relativa, la cual es determinante para la proliferación del hongo. Los cambios de temperatura pueden afectar cómo se propaga la enfermedad, según revela este estudio. Los aumentos de temperatura de al menos tres grados, junto con alta humedad (superior al 80 %), podrían promover un aumento exponencial en la incidencia de la enfermedad.

Las condiciones bajo sombra favorecen al desarrollo de la enfermedad, aunque en consecuencia provocan una baja carga fructífera que le permite a la planta defenderse mejor frente a la roya del cafeto, esto facilita un adecuado equilibrio entre el cultivo, enfermedad y parasitoides de la roya naranja. La sombra podría ser parte de la solución en el manejo de la roya anaranjada, dentro del marco de cambio climático, por razones adicionales. En los periodos secos, que se esperan más largos o frecuentes, la sombra intercepta la única fuente de humedad relativa, el rocío y además reduce el estrés de las plantas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrios, G. N. (2008). *Fitopatología*. Editorial Limusa. <https://infoagronomo.net/fitopatologia-gn-agrios-pdf/>
- Avelino, J. y Rivas, G. (2013). La roya anaranjada del cafeto. HAL (*Le Centre pour la Communication Scientifique Directe*). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036>
- Avelino, J., Treminio, E., Casanoves, F., Vilchez, S., Cárdenas, J. y Lizardo, C. (2019). *Guía para la vigilancia de la roya del café (Hemileia Vastatrix)*. CATIE eBooks. <https://agritrop.cirad.fr/595182/>
- Barquero, M. (2013). Recomendaciones para el combate de la roya del cafeto. *Instituto del Café de Costa Rica*, 48.

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
Isidro Calero Ocón



- Brenes, G. C., Víquez, C. S., Thomason, P. O., Ramírez, J. R., Hurtado, A. N., Morales, G. G. y Rodríguez, S. V. (2016). La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe. *Instituto Interamericano de Cooperación Para la Agricultura (IICA)*.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé]. (2009). *Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región*. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0379.pdf><https://repositorio.ica.int/bitstream/11324/2792/1/BVE17048805e.pdf>
- Filho, E. y Astorga, C. (2015). *Prevención y control de la roya del café. Manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores*. En CATIE, Turrialba (Costa Rica). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8186>
- Gestor. (31 de 10 de 2019). *EL COBRE, UN FUNGICIDA HISTÓRICO*. <https://www.silosdelcinca.com/fungicida/cobre-fungicida-historico/>
- Gichuru, E., Ithiru, J. M., Silva, M. C., Pereira, A. P. y Várzea, V. (2012). Additional physiological races of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) identified in Kenya. *Tropical Plant Pathology*, 37(6), 424-427. <https://doi.org/10.1590/s1982-56762012000600008>
- Granados Brenes, E. (2021). *Evaluación de la Roya de café bajo sombra y estrategias de manejo*. Universidad de Costa Rica, Sede del Atlántico.
- IMN. (2022). *Datos meteorológicos*. <https://www.imn.ac.cr/web/imn>
- FRAC [COMITÊ DE AÇÃO A RESISTÊNCIA A FUNGICIDAS]. (2019). *Clasificación de fungicidas y bactericidas según el modo de acción*. <https://fmcagro.es/blog/ver-entrada/clasificaci%C3%B3ndelosmodosdeacci%C3%B3ndeFRACeIRAC>
- López Bravo, D., De Melo Virginio Filho, E. y Avelino, J. (2012). Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. *Crop Protection*, 38, 21-29. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.011>
- McCook, S. (2009). La roya del café en Costa Rica: Epidemias, innovación y medioambiente, 1950-1995. *Revista de História*, 59, 99-117. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6820121>
- Montes de Oca, P. y Mata, R. (2019). Clasificación de los suelos de la finca Experimental Santa Lucía. *Ciencias Ambientales*. <https://doi.org/10.15359/rca.12-1.3>

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
Isidro Calero Ocón



- Rugeles Barrios, O. (11 de octubre de 2017). *Triazoles, ¿Todos iguales? ¿Se deben mezclar?* <https://www.metroflorcolombia.com/triazoles-todos-iguales-se-deben-mezclar/>
- Treminio, E. (2019). Estimación de la eficiencia de métodos territoriales de muestreo de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en Honduras, El Salvador, Panamá y República Dominicana (Tesis Doctoral, CATIE).
- Zamora Picado, F. (2015). *Eficiencia en el combate de la roya del café (Hemileia vastatrix) con diferentes metodologías de aspersión para fungicidas*. Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Costa Rica.
- Zamora Macorra, E. J., Zamora Macorra, M. y Elizalde Gaytan, K. G. (2020). Interacción entre *Mycodiplosis* y *Hemileia vastatrix* en tres escenarios de manejo del cultivo de café (*Coffea arabica*). *Revista mexicana de fitopatología*, 38(3), 3.

Respuesta de la roya (*Hemileia vastatrix*) frente a condiciones climáticas y aplicaciones de fungicidas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) bajo sombra
Isidro Calero Ocón

