

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



ÍNDICE HOLÍSTICO DE RIESGO PARA MANEJO DE ROYA (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) EN EL CULTIVO DE CAFÉ EN HONDURAS.

Tesis

Que presenta SOBEYDA CAROLINA REYES ROBLES

Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila

Agosto 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



ÍNDICE HOLÍSTICO DE RIESGO PARA CONTROL DE ROYA (*Hemila vastatrix* Berk. & Broome) EN EL CULTIVO DE CAFÉ.

Tesis

Que presenta SOBEYDA CAROLINA REYES ROBLES

como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Dr. Alejandro Moreno Reséndez
Director (UAAAN)

PhD. Juan Francisco Barrera Gaytán
Director externo (ECOSUR)

Torreón, Coahuila

Agosto 2021

ÍNDICE HOLÍSTICO DE RIESGO PARA CONTROL DE ROYA (*Hemilia vastatrix* Berk. & Broome) EN EL CULTIVO DE CAFÉ EN HONDURAS.

Tesis

Elaborada por SOBEYDA CAROLINA REYES ROBLES como requisito parcial para obtener el Grado de Doctor en Ciencias en Producción Agropecuaria con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría.



Dr. Alejandro Moreno Reséndez
Asesor principal



PhD. Juan Francisco Barrera Gaytán
Asesor



Dr. José Luis Reyes Carrillo
Asesor



Dr. Aldo Iván Ortega Morales
Asesor



Dr. Jesús Neftalí Gutiérrez Rivera
Asesor



Dr. Urbano Nava Camberos
Asesor



Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por considerarme como Becario internacional para realizar mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- UL, donde el personal académico y administrativo, demostró su calidez humana y solidaridad.

Al Programa de Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, por aceptarme como su alumna y brindarme el apoyo incondicional para culminar con éxito esta meta tan valiosa. En especial al Doctor Francisco Gerardo Veliz y la Sra. Aurelia Nájera.

Al comité de asesores por su tiempo, dedicación y esfuerzo en mi formación profesional y personal.

A mi amada familia: Mi hijo Luis Ernesto Velásquez Reyes, Mis Padres: Magdaleno Reyes y Berta Robles, y mis hermanos, por creer en mí, soñar a mi lado, darme ánimo y ayudarme a concluir los estudios de posgrado.

A los amados seres en especial J.A, que ya no están a nuestro lado y han dejado un vacío irreparable en nuestro corazón; desde donde estén les abrazamos con este logro.

Carta de aceptación y envío de los Artículos



24Feb21

Estimada Sobeyda Carolina Reyes-Robles, hago constar que hemos recibido el manuscrito SWE#3318: **Primer registro de Hammoderus inermisen Coffea arabica en Honduras**, de los autores Sobeyda Carolina Reyes-Robles, Alejandro Moreno-Reséndez, José Luis Reyes-Carrillo, Juan Francisco Barrera-Gaytán, Urbano Nava-Camberos, Cristian Yizard Lizardo-Chávez y Ángel Rafael Trejo-Sosa, que ha sido aceptado para publicarse en la revista Southwestern Entomologist en el volumen 46.

Agradecemos la elección de nuestra revista para publicar su importante trabajo.

Con afecto,

Carlos A. Blanco

Carlos A. Blanco, Ph.D.

Editor Asociado

Martes, julio 13, 2021 4:49 p.m.

Me permito informarle que su manuscrito fue recibido en Agrociencia para revisión inicial previa al proceso de arbitraje, con clave 2491 (21-119), intitulada: **ÍNDICE HOLÍSTICO DE RIESGO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN EL MANEJO DE LA ROYA *Hemileia vastatrix* EN CAFETALES DE HONDURAS**, cuyos autores son: Carolina **Reyes Robles**, Alejandro **Moreno Resendez**, José **Luis Reyes Carrillo**, Juan **Francisco Barrera Gaytán** Ángel **Trejo Sosa**, Juan Rafael **López Dubón**.

Después, todas las comunicaciones serán a través de: agrociencia14@gmail.com; y _agrocien@colpos.mx

Agradezco su interés por publicar en Agrociencia y le saludo atentamente.

SAID INFANTE GIL
EDITOR GENERAL DEL CP

Índice General

Contenido

Resumen	i
Abstract	ii
INTRODUCCIÓN	1
Manejo Integrado de Plagas	6
Manejo Holístico de Plagas	7
Índice Holístico de Riesgo	9
REFERENCIAS	11
CONCLUSIONES GENERALES	45

Resumen

ÍNDICE HOLÍSTICO DE RIESGO PARA MANEJO DE ROYA (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) EN EL CULTIVO DE CAFÉ EN HONDURAS.

SOBEYDA CAROLINA REYES ROBLES

Para obtener el Grado de Doctor en Ciencias en Producción Agropecuaria

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Dr. Alejandro Moreno Reséndez
Director de tesis

La roya del café, causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, es la enfermedad más importante del café (*Coffea* spp.) a nivel mundial. Dado que la carencia de un método de toma de decisiones con enfoque holístico que limita un manejo eficaz de esta enfermedad, se planteó el objetivo de determinar el Índice holístico de riesgo (IHR) ante la roya en zonas cafetaleras de El Lago de Yojoa, El Paraíso y Olancho, Honduras. Primero se realizó un diagnóstico participativo de la caficultura. Después, se aplicaron encuestas semiestructuradas para conocer la condición socioeconómica de 43 productores y se muestrearon sus fincas de café (*C. arabica*). El diagnóstico indicó que el manejo deficiente de los cafetales, la incidencia de plagas y enfermedades y una economía precaria del caficultor fueron los tres problemas más importantes de la caficultura. Como variables o indicadores del IHR se identificaron una variable de amenaza (hojas con roya), tres de vulnerabilidad (altitud, variedad de café y sombra) y tres de capacidad de respuesta (tecnificación, cosecha esperada y cafetos productivos). El IHR y la resiliencia se relacionaron mediante una ecuación de potencia y, a partir de ésta, se determinaron los criterios para establecer sus categorías. También, mediante los muestreos MAR, se encontraron otras plagas y enfermedades de importancia económica para el cultivo de café, entre ellas una especie de barrenador que causan daño a la planta de café. Se hizo la identificación de esta especie y se clasificó como *Hammoderus inermis*.

Palabras clave: Índices Holísticos de Riesgo, muestreo agroecológico, *Coffea arabica*,

Abstract

HOLISTIC RISK INDEX FOR THE MANAGEMENT OF ROYA (*Hemilea vastatrix* Berk. & Broome) IN THE CROP OF COFFEE IN HONDURAS.

SOBEYDA CAROLINA REYES

To obtain the degree of Doctor en Ciencias en Producción Agropecuaria

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Alejandro Moreno Reséndez

Thesis director

Coffee rust, caused by the fungus *Hemileia vastatrix*, is the most important disease of coffee (*Coffea spp.*) worldwide. Given that the lack of a holistic decision-making method limits the effective management of this disease, the objective was to determine the Holistic Risk Index (IHR) for coffee rust in coffee growing areas of El Lago de Yojoa, El Paraíso and Olancho, Honduras. First, a participatory diagnosis of coffee growing was carried out. Then, semi-structured surveys were applied to determine the socioeconomic condition of 43 producers and their coffee (*C. arabica*) farms were sampled. The diagnosis indicated that deficient management of coffee plantations, the incidence of pests and diseases, and the precarious economic situation of coffee growers were the three most important problems of coffee growing. As variables or indicators of the IHR, one variable of threat (leaves with rust), three of vulnerability (altitude, coffee variety and shade) and three of response capacity (technification, expected harvest and productive coffee trees) were identified. The IHR and resilience were related by means of a power equation and, based on this, the criteria for establishing their categories were determined. Also, through MAR sampling, other pests and diseases of economic importance for coffee cultivation were found, including a species of borer that causes damage to the coffee plant. This species was identified and classified as *Hammoderus inermis*

Keyword: Holistic risk indices, agroecological sampling, *Coffea arabica*,

INTRODUCCIÓN

El café pertenece al género *Coffea*, el cual forma parte de las *rubiáceas*, una familia que agrupa alrededor de 6,000 especies de plantas (Davis et al., 2006). Mundialmente hay dos especies de café cultivadas con fines comerciales: *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner (Guyeux et al., 2019). Estas especies de café se cultivan principalmente en países en desarrollo de regiones tropicales y subtropicales, donde contribuyen a la economía familiar de millones de personas que dependen directa e indirectamente de los ingresos que genera el cultivo, el procesamiento y la comercialización (International Coffee Organization (ICO), 2015, 2020).

Entre los factores que limitan las ganancias por la venta de la producción del café, y que representan un riesgo en el bienestar de las familias productoras, se encuentran las plagas y enfermedades del cultivo (Waller et al., 2007; Krishnan et al., 2021). Una de las enfermedades de mayor impacto negativo es la roya del café causada por el hongo fitopatógeno *Hemileia vastatrix* (Zambolin, 2016). Este hongo es un parásito obligado de las hojas vivas de café, siendo *C. arabica* la especie comercial más susceptible (Avelino et al., 2015). Esta enfermedad causa defoliación de las plantas fuertemente infestadas y puede causar la muerte de ramas, e incluso, puede matar a la planta (Avelino et al., 2015). En 2012, se presentó un brote devastador de esta enfermedad en Centroamérica y México con pérdidas monetarias estimadas en 369.3 millones de dólares en el ciclo 2012-2013 y 245 millones de dólares en el ciclo 2013/2014 (ICO, 2015).

La estrategia más efectiva de manejo de las plagas y enfermedades es el Manejo Integrado de Plagas (MIP), la cual fue propuesta por primera vez por Stern et al. (1959). En el caso del MIP de la roya, se recomiendan los siguientes métodos o tácticas: monitoreo de la infestación y de las condiciones climáticas para emitir avisos de alerta temprana; la renovación de cafetales viejos, el uso de variedades de café resistentes y tolerantes a la roya; la

fertilización del suelo y del follaje para mejorar la nutrición; el manejo del dosel de los árboles de sombra; el control de la maleza para reducir el exceso de humedad; y la aspersión de fungicidas en las variedades de café susceptibles, entre otras (Zambolin, 2016; Talhinhos et al., 2017; Avelino y Anzueto, 2020).

Al integrar en el MIP las practicas antes mencionadas, se proyecta evitar que *H. vastatrix*, provoque pérdidas económicas. Para ello, la estrategia MIP se auxilia de umbrales de acción como el nivel de daño económico y el umbral económico (Kogan, 1998; Norris et al., 2003). Desafortunadamente, la toma de decisiones en el manejo de plagas basada en umbrales de acción, no considera muchos de los aspectos sociales, económicos y ambientales relevantes del sistema socioambiental (Pimentel y Burgess, 2014).

Para solventar esta deficiencia, se ha propuesto el Manejo Holístico de Plagas (MHP), una estrategia de manejo de plagas basada en un enfoque holístico del sistema socioambiental (Barrera, 2020 a, b). A diferencia del MIP, la toma de decisiones en el MHP se basa en el Índice Holístico de Riesgo (IHR). La conveniencia de usar el enfoque de riesgo en la toma de decisiones ha sido explorada en el manejo de diferentes amenazas en varios sistemas socioambientales (Altieri y Nicholls, 2013; Montalba et al., 2013; Gazzano et al., 2015).

El IHR se estima a partir de variables sociales, económicas y ambientales agrupadas en tres componentes o constructos: la amenaza (plagas y enfermedades), la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta de los productores y sus unidades de producción. También se ha propuesto que la capacidad de respuesta puede ser considerada como una aproximación a la estimación de la resiliencia (Barrera, 2020 a, b).

Con base en lo antes expuesto, la presente investigación surge para dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿puede el IHR ayudar en la identificación de la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta de las zonas

cafetaleras, hacia la amenaza que representa la roya en Honduras?; o bien, ¿es factible conocer la resiliencia de estas zonas cafetaleras a través del IHR?

Por otro lado, en las plantaciones de café se presentan otras plagas y enfermedades que pueden causar importantes daños al cultivo. Al respecto, durante la conducción de la presente investigación se reportó en cafetales de los departamentos de Cortés y Comayagua (Honduras), un ataque muy fuerte de escarabajos barrenadores de tallo y raíz de la familia *Cerambycidae*. Según la literatura, solo el barrenador *Hammoderus maculosus*, ha sido reportado atacando plantas de café en Honduras (Muñoz 1990).

Con la finalidad de identificar la especie involucrada causando daños en estas plantaciones de café en Honduras, se tomaron muestras de tallos infestados con larvas para obtener los adultos en laboratorio. En este caso, nos preguntamos si la especie de barrenador encontrada en estos cafetales sería *H. maculosus*.

Esta tesis tiene el objetivo general de estimar el IHR para la toma de decisiones en el manejo de la roya en el cultivo de café en tres regiones cafetaleras de Honduras. Para abordar este objetivo se proponen los siguientes objetivos específicos: i) Caracterizar a los productores de café de las tres zonas cafetaleras de Honduras que participaron en la investigación; ii) Identificar mediante un diagnóstico y muestreo agroecológico, las variables e índices relacionados con la amenaza, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta de productores de café y sus unidades de producción ante la roya; iii) Estimar el Índice Holístico de Riesgo de productores de café ante la roya; y iv) Identificar la especie de barrenador del tallo y raíz encontrado en las plantaciones muestreadas.

REVISIÓN DE LITERATURA

Cultivo de café y la relación con plagas y enfermedades

El café se cultiva en más de 60 países de la región tropical y en otras latitudes del mundo (Waller et al., 2007). La producción mundial de café de la cosecha 2020-2021 se ha pronosticado en 6.1 millones de toneladas para *C. arabica*, y en 4.5 millones de toneladas de café robusta (ICO,2020). Así mismo, expertos en producción de café, consideran que la demanda de este producto, podría aumentar en los próximos años, sin embargo, para que esto suceda el cultivo tiene que superar desafíos como invertir en investigaciones para hacer frente a la roya del café, que de acuerdo con ICO (2015), está enfermedad causó pérdidas considerables en Centroamérica y México.

Por otro lado, el hongo *H. vastatrix*, agente causal de la enfermedad conocida como roya del café, es un parásito obligado que afecta las hojas vivas de los cafetos, siendo *C. arabica* la especie más susceptible. Ataques fuertes del hongo pueden causar defoliación severa y la muerte de ramas en las plantas susceptibles, e incluso, la planta completa puede morir (Cressey, 2013; Avelino et al., 2015; Krishnan et al., 2021).

Existen aproximadamente 50 razas fisiológicas de *H. vastatrix* en el mundo, de las cuales 16 se han reportado en Brasil (Capucho et al., 2013). La roya tiene dos fases de desarrollo: la primera consiste en la formación del inóculo primario, responsable del desarrollo inicial de la epidemia; y la segunda fase consiste en la repetición del ciclo patológico también conocido como policiclo, el cual da lugar a la formación del inóculo secundario (Avelino y Rivas,2013). Esta enfermedad se reproduce fácilmente en ambientes húmedos, sombríos y con temperaturas entre 21 y 27 °C (Altieri y Nicholls, 2013).

Factores como los cambios en las condiciones climáticas, alta variabilidad en la precipitación y en las temperaturas, deficiente manejo productivo de las

parcelas, el uso de variedades de escasa resistencia, entre otros que están asociados al sistema, afectan la incidencia y severidad de la roya (Jha et al., 2014; Talhinhos et al., 2017; Castillo et al., 2020). Estudios indican una relación importante entre los efectos del cambio climático y la probabilidad de aumento en los brotes de roya (Bebber et al., 2016).

Además de la roya, el cultivo del café en la región tropical es afectado por otros problemas fitosanitarios, como ser: la broca del grano (*Hypothenemus hampei*), el minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*) y el barrenador del tallo y la raíz (*Hammoderus* spp.) entre los insectos; y el ojo de gallo (*Mycena citricolor*), el mal de hilachas (*Corticium koleroga*), y la antracnosis (*Colletotrichum coffeanum*), entre los hongos fitopatógenos (Barrera y Gómez, 2019).

También los barrenadores del tallo y la raíz del café del género *Hammoderus* (Dillon y Dillon, 1941), constituyen un grupo de insectos plaga que puede ocasionar graves pérdidas a los productores de café, sin embargo, han sido poco estudiados. Los insectos de este género, son de los más representativos de la familia *Cerambycidae*, se conocen como escarabajos longicornios por sus antenas tan largas que sobrepasan la longitud del cuerpo y se caracterizan por sus colores y estampados atractivos (Bezark, 2016, 2019; Monné, 2017).

Las hembras de los barrenadores colocan los huevos sobre la corteza de los tallos a una altura aproximada de 30 cm con respecto al suelo; al emerger, la larva penetra el tallo donde se alimenta de la médula de la planta y elabora una galería muy larga que se puede extender hasta la raíz (Martínez, 2000).

En el cultivo de café se han identificado 32 especies de barrenadores, los cuales se encuentran desde México hasta América del Sur (Constantino y Benavides, 2015; Botero y Santos-Silva, 2017; Monné, 2018). En los

agroecosistemas del café, de toda esta región se han reportado cuatro especies de *Hammoderus* que causan daños económicos: *H. maculosus*, *H. spinipennis*, *H. mexicanus* (Breuning, 1950) y *H. colombienses* Thomson 1860 (Muñoz, 1990; Barrera, 2008; Constantino y Benavides, 2015). En el caso de Honduras, están reportadas cuatro especies de *Hammoderus*: *H. elatus* (Bates 1872), *H. maculosus*, *H. spinipennis* y *H. inermis* (Thomson 1860, 1861) en las regiones norte y occidente del país (Chemsak et al., 1980; Turnbow et al., 2003; Monné, 2005). Sin embargo, solo *H. maculosus* ha sido reportada atacando plantas de café (Muñoz, 1990).

Manejo Integrado de Plagas

El manejo de las plagas ha evolucionado a través de la historia como consecuencia de la necesidad del ser humano por evitar o reducir los daños económicos, ambientales y sociales provocados por las plagas y las enfermedades (Stenberg, 2017). Como resultado de esa evolución, en la actualidad se reconoce que el Manejo Integrado de Plagas (MIP) es la estrategia idónea para enfrentar a estos organismos dañinos (Baker, 2020). La base conceptual y metodológica que dio origen al MIP fue propuesta por Stern et al. (1959) hace más de 60 años, desde entonces, la toma de decisiones con esta estrategia se basa en umbrales de acción, específicamente, mediante el Nivel de Daño Económico y el Umbral Económico. Sin embargo, en la práctica, a través de los umbrales de acción el MIP privilegia la aplicación de productos químicos sobre los métodos de prevención para reducir poblaciones de las plagas (Morales, 2002; Guedes, 2016).

Actualmente es bien conocido que la aplicación desmedida de plaguicidas provoca la pérdida de enemigos naturales, favorece la resistencia en los organismos plagas, propicia la muerte de polinizadores, e incrementa los gastos en los equipos de aplicación y protección, todo lo cual ocasiona altos costos ambientales y sociales (Parsa, et al., 2014; Pimentel y Burgess, 2014).

Manejo Holístico de Plagas

Ante esta problemática, han surgido otras estrategias de manejo de plagas que proponen métodos más amigables con la naturaleza y, en general, menos nocivos para la vida en la tierra (Dara, 2019). Una de estas estrategias alternativas es el Manejo Holístico de Plagas (MHP), el cual propone reducir las poblaciones de organismos plaga bajo un enfoque holístico; para lograrlo, el MHP se basa en dos ideas centrales: i) las acciones de manejo de plagas deben colocar al productor en el centro del sistema; y ii) el manejo de plagas debe considerar no solo las plagas sino también otros componentes importantes del sistema en cuestión (Horgan, 2017). El MHP se define como un sistema regional participativo de toma de decisiones en el manejo de plagas; está dirigido al bienestar de la población humana; implementa procesos y productos de bajo impacto y calidad para el autoconsumo y la competencia en el mercado; estos procesos y productos se generan a partir de sistemas integrales de producción; el productor maneja estos procesos como una estrategia para enfocarse en las causas de los brotes de plagas (Barrera, 2020 a). Asimismo, el productor implementa prácticas agrícolas para minimizar los costos económicos, ambientales y sociales derivados de los brotes de plagas y su mala gestión. A diferencia del MIP, en el MHP se toman las decisiones con base en el riesgo que representan las plagas; además, el manejo de las plagas se realiza tomando en cuenta los elementos más importantes del sistema socioambiental (Barrera, 2020 b).

La implementación del MHP requiere como primer paso definir el sistema objeto del manejo; de acuerdo con García (1994), el sistema se define identificando sus límites. Para ello, se pueden usar varias técnicas, sin embargo, el método empleado por el MHP sugiere realizar diagnósticos con la participación de los productores y otros agentes sociales, con estos diagnósticos se recopila información sobre los principales problemas del sistema, los cuales a su vez definen los límites del mismo (Cadena y Gómez, 2019).

Otro aspecto necesario para aplicar el enfoque holístico, de acuerdo con el MHP, es identificar las interacciones entre los elementos del sistema; esto se puede conseguir aplicando un análisis estructural (Mojica, 2004). La virtud del análisis estructural es que permite conocer el funcionamiento del sistema a partir de establecer el grado de interdependencia (dependencia) y el grado de influencia (motricidad) entre estos problemas o variables, con lo cual se identifican aquellos elementos de mayor relevancia del sistema (Wellman, 2000).

Una vez definido el sistema socioambiental, según Barrera (2020 a, b), es necesario conocer el estado en que éste se encuentra con respecto a las plagas y enfermedades. Ello requiere, en primer lugar, identificar las variables e indicadores asociados a los elementos del sistema y, en segundo lugar, muestrear el sistema para obtener los valores de esas variables e indicadores (Guharay et al., 2000). Los valores se obtienen mediante entrevistas semiestructuradas a los productores y un muestreo agroecológico de sus unidades de producción (Instituto Nacional Mexicano de Café (INMECAFE), 1985). El MHP propone aplicar el llamado Manejo Agroecológico Rápido (MAR); la entrevista semiestructurada, contempla preguntas sobre los aspectos socioeconómicos del productor y su familia, así como afiliación a una organización, manejo agronómico de la plantación incluidas las plagas y enfermedades, y aspectos relacionados con la cosecha y su comercialización (Medina Fernández et al., 2006).

El muestreo agroecológico de la unidad de producción, que se realiza en una parte representativa de la plantación, por ejemplo, en una superficie de 400 a 625 m²; en esta superficie se recaba información sobre el cultivo, el manejo y conservación del suelo, las plagas y enfermedades y la cosecha, entre otros (Altieri y Nicholls, 2002, 2013).

Índice Holístico de Riesgo

El análisis de la información recopilada durante el MAR, permite estimar el riesgo y sus componentes (Montalba et al., 2013). Se han propuesto varios modelos para la conceptualización y estimación del riesgo, entre ellos el modelo de riesgo de la escuela ecológica, que introduce la noción de ajuste de las amenazas naturales considerando las interacciones entre el hombre y la tecnología (Kate, 1971; Guidetti, 2014); los riesgos naturales (R) a través del análisis de las amenazas (A) en un área y de su vulnerabilidad (V) a éstos con la fórmula $R = A \cdot V$ (Cardona 2004, 2008); y el concepto de vulnerabilidad para estimar el grado de pérdidas y daños como resultado de un hecho natural (Freeman et al., 2009; Vilches y Reyes, 2011).

En el caso del MHP, se ha propuesto estimar el riesgo mediante el Índice Holístico de Riesgo (IHR), el cual se calcula con la fórmula $IHR = \frac{(A+V)}{C}$. El IHR tiene tres componentes o constructos: la amenaza (A), la vulnerabilidad (V), y la capacidad de respuesta (C) (Barrera, 2020 a, b). La amenaza representa a las plagas y enfermedades; la vulnerabilidad se refiere a las condiciones preexistentes o características del productor y su hogar y las características de su unidad de producción, las cuales determinan el grado de exposición ante una amenaza; y la capacidad de respuesta, es decir, las acciones de manejo que reducen el grado de exposición ante las amenazas y permiten resistir y recuperarse del daño que proviene de las amenazas (Altieri et al., 2002; Montalba et al., 2013).

Barrera (2020 a, b) ha propuesto hacer una estimación aproximada de la resiliencia (E) mediante una derivación de la fórmula del IHR de la siguiente manera: $E \sim C = \frac{(A+V)}{IHR}$. Este autor también propone usar un método gráfico para estimar E, ya que existe una relación de potencia que relaciona el IHR con la C.

Se considera que el IHR es una herramienta útil para los productores, técnicos y tomadores de decisiones, ya que dimensiona la vulnerabilidad y la fortaleza del sistema socioambiental ante las amenazas. A través del monitoreo constante que permite identificar a tiempo la existencia de una amenaza (Smith y Olesen, 2010).

REFERENCIAS

- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2002). Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. Manejo integrado de plagas. *Agroecología*, 64, 17-24.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), 7-20
- Avelino, J., & Rivas, G. (2013). La roya anaranjada del cafeto. 47. hal-01071036
- Avelino, J., & F. Anzueto. (2020). Coffee rust epidemics in Central America: Chronicle of a resistance breakdown following the great epidemics of 2012 and 2013. *In: Ristaino, J.B., & A. Records (eds). Emerging plant diseases and global food security.* The American Phyto- pathological Society. p 185–198. doi: 10.1094/9780890546383.009
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., & Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7(2), 303-321.
- Baker, B. P., Green, T. A., & Loker, A. J. (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, 140, 104095.
- Barrera, J.F. (2020a). Beyond IPM: Introduction to the theory of Holistic Pest Management. p 154. Springer Nature. doi: 10.1007/978-3-030-43370-3.
- Barrera, J.F. (2020b). Holistic Pest Management. *In: Perez-Staples, D., F. Diaz-Fleischer, P. Montoya, and M.T. Vera (ed). Area-wide management of fruit fly pests.* CRC Press. doi: 10.1201/9780429355738.
- Barrera, J.F., & J. Gómez Ruiz. (2019). Plagas y enfermedades del café: Características, manejo y retos. En: E. Bello Baltazar, L. Soto Pinto, G. Huerta Palacios & J. Gómez Ruiz (eds.), *Caminar el cafetal: Perspectivas socioambientales del café y su gente.* p. 115-139 El Colegio de la Frontera Sur, Juan Pablos Editores.
- Bates, H. W. (1872). On the Longicorn Coleoptera of Chontales, Nicaragua. *Transactions of the Royal Entomological Society of London.* 20: 163-238.
- Bates, H. W. (1881–1884) *Biologia Centrali-Americana. Insecta. Coleoptera. Volume I, Part 1.* R. H. 329 pp.
- Bebber, D. P., Castillo, Á. D., & Gurr, S. J. (2016). Modelling coffee leaf rust risk in Colombia with climate reanalysis data. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 371 (1709), 20150458.

- Benavides, P., A. Bustillo., & C. Góngora. (2012). IPM program to control coffee berry borer *Hypothenemus hampei*, with emphasis on highly pathogenic mixed strains of *Beauveria bassiana*, to overcome insecticide resistance in Colombia. *intech open access publisher*. p. 513-537.
- Bezark, L. (2016). Checklist of the Oxypeltidae, Vesperidae, Disteniidae and Cerambycidae (Coleoptera) of the Western Hemisphere. <https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/whemis16.htm>.
- Bezark, L. (2019). Checklist of the Oxypeltidae, Vesperidae, Disteniidae and Cerambycidae (Coleoptera) of the Western Hemisphere. 503 pp. <http://bezbycids.com/byciddb/checklists/WestHemiCerambycidae2019.pdf>.
- Breuning, S. V. (1950). Nouvelles formes de Lamiaires (Troisième partie). *Bulletin de l'Institut de Sciences Naturelles de Belgique* 26: 1-32.
- Botero, J. P., & A. Santos-Silva. (2017). Four new species, taxonomic, and nomenclatural notes in *Hammatoderus* Gemminger and Harold, 1873 (Coleoptera, Cerambycidae, Lamiinae). *Zootaxa*, 4231: 377-397.
- Cadena Durán, O., & Gómez Sánchez, A. (2019). Racionalidades y prácticas campesinas cafeteras en el departamento del Huila, Colombia. *Economía & Región*, 8(2)157-184. <https://revistas.utb.edu.co/index.php/economiaayregion/article/view/80>
- Capucho, A. S., I. Zambolim., P. G. C. Cabral., E. Maciel- Zambolim., & E.T. Caixeta. (2013). Climate favourability to leaf rust in conilon coffee. *Australasian plant pathology*, 42(5). 511-514.
- Cardona, O. D. (2004). The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management. *J. O. Mapping vulnerability. Disasters, development and people*
- Cardona, O. D. (2008). A system of indicators for disaster risk management in the Americas.
- Castillo, N. E. T., Melchor-Martínez, E. M., Sierra, J. S. O., Ramírez-Mendoza, R. A., Parra-Saldívar, R., & Iqbal, H. M. (2020). Impact of climate change and early development of coffee rust. An overview of control strategies to preserve organic cultivars in Mexico. *Science of The Total Environment*, 140225.
- Constantino, L. M, Benavides M., & Esteban Durán J. R. (2014). Description of a new species of coffee stem and root borer of the genus *Plagiohammus* Dillon and Dillon from Colombia (Coleoptera: Cerambycidae: Lamiinae), with a key to the Neotropical species. *Insecta Mundi*, 0337: 1-21.
- Constantino, L., & P. Benavides. (2015). El barrenador del tallo y la raíz del café *Plagiohammus colombiensis*. *Cenicafé* 66: 17-24.
- Cressey, D. (2013). Coffee rust regains foothold. *Nature News*, 493(7434), 587. <https://doi.org/10.1038/493587a>

- Davis, A. P., Govaerts, R., Bridson, D. M., & Stoffelen, P. (2006). An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 152(4), 465-512.
- Dara, S. K. (2019). The new integrated pest management paradigm for the modern age. *Journal of Integrated Pest Management*, 10(1), 12.
- Dillon, L. S., & Dillon, E. S. (1941). The tribe Monochamini in the western hemisphere (Coleoptera: Cerambycidae). Reading Public Museum and Art Gallery Scientific Publication No. 1. Freeman, P. K., Martin, L. A., Linnerooth-Bayer, J., Warner, K., & Pflug, G. (2009). Gestión de riesgo de desastres naturales. *Banco Interamericano de Desarrollo de Desarrollo (BID)*. *sfsl*.
- García, R. (1994). Interdisciplinarietà y sistemas complejos. Interdisciplinarietà y sistemas complejos. Interdisciplinarietà y sistemas complejos. *Ciencias y formación ambiental*. Barcelona: GEDISA/CIIH-UNAM/PNUMA. México. p. 85-124.
- Gazzano, I., Altieri, M. A., Achkar, M., & Burgueño, J. (2015). Holistic Risk Index: A Case Study of Cattle Producers in the Protected Area of Farrapos Estuaries—Uruguay. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39(2), 209-223.
- Guharay F., J. Monterrey, D. Moterroso., & C. Staver (2000). Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Serie Técnica. Manual Técnico No. 44. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE. 267 p.
- Guyeux, C., Charr, J., Tran, H., Furtado, A., Henry, R., Cruzillat, D., Guyot., & R., Hamon, P. (2019). Evaluation of chloroplast genome annotation tools and application to analysis of the evolution of coffee species. *PloS One*, 14(6), e0216347. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216347>.
- Guedes, R. N. C., Smagghe, G., Stark, J. D., & Desneux, N. (2016). Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. *Annual review of entomology*, 61, 43-62.
- Guidetti, P., Parravicini, V., Morri, C., & Bianchi, C. N. (2014). Against nature? Why ecologists should not diverge from natural history. *Vie et Milieu/Life & Environment*, 64, 1-8.
- Horgan, F. (2017). Integrated pest management for sustainable rice cultivation: a holistic approach. *Achieving sustainable cultivation of rice: Cultivation, pest and disease management*. Ecological engineering and diversification of habitat in DOI: 10.19103/AS.2016.0003.23.
- International Coffee Organization (2015). Annual Review 2013– 2014. *Strengthening the global coffee sector through international cooperation*. e.pdf (Consulta: junio 2021).
- International Coffee Organization (2020). The value of coffee. *Sustainability, inclusiveness, and resilience of the coffee global value chain*. Development report. ICO FR/01/19E. <https://www.internationalcoffeecouncil.com/cdr2020?lang=es> (Consulta: julio 2021).

- Instituto Mexicano del Café. (1985). Estimación de cosecha de café. Apuntes sobre caficultura entregados por las diferentes gerencias de la Dirección de Producción y Mejoramiento del Café. México. 13 p.
- Jha, S., Bacon, C. M., Philpott, S. M., Ernesto Mendez, V., Läderach, P., & Rice, R. A. (2014). Shade coffee: update on a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*, *64*(5), 416-428.
- Kates, R. W. (1971). Natural hazard in human ecological perspective: hypotheses and models. *Economic Geography*, *47*(3), 438-451. DOI: [10.2307/142820](https://doi.org/10.2307/142820)
- Krishnan, S., Matsumoto, T., & Nagai, C. (2021). Vulnerability of coffee (*Coffea* spp.) genetic resources. *Genet Resour Crop Evol*. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01217-1>
- Kogan, M. (1998). Integrated pest management: Historical perspectives and contemporary developments. *Annu. Rev. Entomol.* *43*: 243-270. doi: 10.1146/annurev.ento.43.1.243
- Martínez, C. (2000). Escarabajos longicornios (Coleoptera: Cerambycidae) de Colombia. *Biota Colombiana* *1*: 76-105. <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/57>.
- Macchiavelli, R. E., & Rodríguez, R. D. P. (2000). Methods for efficient estimation of rust incidence in coffee plantations. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, *84*(1-2), 65-78.
- Madden LV, Hughes G., & van den Bosch F. (2017). Estimating Plant Disease by Sampling. In *The Study of Plant Disease Epidemics*, ed. LV Madden, G Hughes, F van den Bosch, pp. 279-318. The American Phytopathological Society
- Medina Fernández, B.Y., C. Muñoz, J. Haggar., & R. Aguilar. (2006). Metodología para la evaluación de servicios ambientales. Asociación Nacional del Café. Foreign & Commonwealth Office. London. 36 p.
- Mojica F.J. (2004). El modelo prospectivo llevado a la práctica. Primera versión. Convenio Andrés Bello (CAB). Serie: Documentos de Ciencia, Tecnología e Innovación de los países del CAB. Bogotá, Colombia. 178 p.
- Monné, M. A. (2005). Catalogue of the Cerambycidae (Coleoptera) of the neotropical region. Part II. Subfamily Lamiinae. *Zootaxa*, *1023*: 1-760.
- Monné, M. A., & Bezark. (2013). Checklist of the Oxypeltidae, Vesperidae, Disteniidae and Cerambycidae, (Coleoptera) of the Western Hemisphere. <http://plant.cdfa.ca.gov/byciddb/checklists/WestHemiCerambycidae2013.pdf>
- Monné, M. L., Monné, M. A., & Wang, Q. (2017). General Morphology, Classification, and Biology of Cerambycidae. (1st Ed). In *Cerambycidae of the World*(pp. 15-84). CRC Press.
- Monné, M. A. (2018). Catalogue of the Cerambycidae (Coleoptera) of the Neotropical Region. Part II. Subfamily Lamiinae. p. 707. http://www.cerambycidae.cl/bibliografia/Parte2_Lamiinae_2018.pdf

- Montalba, R., García, M., Altieri, M., Fonseca, & F., Vieli, L. (2013). Utilización del Índice Holístico de Riesgo (IHR) como medida de resiliencia socioecológica a condiciones de escasez de recursos hídricos. Aplicación en comunidades campesinas e indígenas de la Araucanía, Chile. *Agroecología*, 8(1), 63-70.
- Morales, H. (2002). Pest management in traditional tropical agroecosystems: Lessons for pest prevention research and extension. *Integrated Pest Management Reviews*, 7(3), 145-163
- Muñoz, H. (1990). Manual de plagas y enfermedades del café. Instituto Hondureño del Café. Div. Agrícola. No. 633.734 M294: 9-35.
- Norris, R.F., E.P. Caswell-Chen, & and M. Kogan. (2003). Concepts in Integrated Pest Management. Prentice Hall. 586 p.
- Parsa, S., Morse, S., Bonifacio, A., Chancellor, T. C., Condori, B., Crespo-Pérez, V., ... & Dangles, O. (2014). Obstacles to integrated pest management adoption in developing countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(10), 3889-3894
- Pimentel, D., & Burgess, M. (2014). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. In *Integrated pest management* (pp. 47-71). Springer, Dordrecht.
- Smith, P., & Olesen, J. E. (2010). Synergies between the mitigation of, and adaptation to, climate change in agriculture. *The Journal of Agricultural Science*, 148(5), 543-552.
- Stenberg, J. A. (2017). A conceptual framework for integrated pest management. *Trends in plant science*, 22(9), 759-769.
- Stern, V.M., R.F. Smith, R. Van den Bosch., & K.S. Hagen (1959). The integrated control concept. *Hilgardia*. 29: 81-101.
- Talhinhas, P., Batista, D., Diniz, I., Vieira, A., Silva, D. N., Loureiro, A., Tavares, S., Pereira, A. P., Azinheira, H. G., Guerra-Guimarães, L., Várzea, V., & Silva, M. (2017). The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. *Molecular plant pathology*, 18(8), 1039–1051. <https://doi.org/10.1111/mpp.12512>
- Thomson, J. L. (1860 y 1861). Essai d'une classification de la famille des Cerambycides et matériaux pour servir a une monographie de cette famille: 98-99. <https://ia902305.us.archive.org/7/items/essaiduneclassif00thom/essaiduneclassif00thom.pdf>.
- Turnbow, R. H, Cave, R. D., & Thomas, M. C. (2003). A list of the Cerambycidae of Honduras, with additions of previously unrecorded species. *Ceiba*, 44: 1-43.
- Vilches, O. R., & Reyes, C. M. (2011). Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales. *Revista Universitaria de Geografía*, 20, 83-116.
- Waller, J. M., Bigger, M., & Hillocks, R. J. (2007). *Coffee pests, diseases and their management*. CABI.

Wellman, B. (2000). El análisis estructural: del método y la metáfora a la teoría y la sustancia. *Política y sociedad*, 33(22), 3.

Zambolim, L.; Zambolim, E.M., & Várzea, V.M.P. (2005). Durable resistance to coffee leaf rust. Vicosa, Universidade Federal de Viçosa, 450 p.

Zambolim, L. (2016). Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 41(1), 1-8<https://doi.org/10.1007/s40858-016-0065->

Artículos

1

1 **ÍNDICE HOLÍSTICO DE RIESGO PARA LA TOMA DE DECISIONES EN EL**
 2 **MANEJO DE LA ROYA *Hemileia vastatrix* EN CAFETALES DE HONDURAS**

3 Carolina **Reyes Robles**¹, Alejandro **Moreno Resendez**¹, José Luis **Reyes Carrillo**¹, Juan
 4 Francisco **Barrera Gaytán**^{2*}, Ángel **Trejo Sosa**³, Juan Rafael **López Dubón**³

5 **RESUMEN**

6 La roya del café, causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, es la enfermedad más importante del
 7 café (*Coffea* spp.) a nivel mundial. Dado que la carencia de un método de toma de decisiones con
 8 enfoque holístico limita un manejo eficaz de esta enfermedad, se planteó el objetivo de determinar
 9 el Índice Holístico de Riesgo (IHR) ante la roya en zonas cafetaleras de El Lago de Yojoa, El
 10 Paraíso y Olancho, Honduras. Primero se realizó un diagnóstico participativo de la caficultura.
 11 Después, se aplicaron encuestas semiestructuradas para conocer la condición socioeconómica de
 12 43 productores y se muestrearon sus fincas de café (*C. arabica*). El diagnóstico indicó que el
 13 manejo deficiente de los cafetales, la incidencia de plagas y enfermedades y una economía precaria
 14 del caficultor fueron los tres problemas más importantes de la caficultura. Como variables o
 15 indicadores del IHR se identificaron una variable de amenaza (hojas con roya), tres de
 16 vulnerabilidad (altitud, variedad de café y sombra) y tres de capacidad de respuesta (tecnificación,
 17 cosecha esperada y cafetos productivos). El IHR y la resiliencia se relacionaron mediante una
 18 ecuación de potencia y, a partir de ésta, se determinaron los criterios para establecer sus categorías.

¹ Programa de Postgrado en Ciencias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna, Periférico Raúl López Sánchez, Valle Verde, C.P. 27054, Torreón, Coahuila, México.

² Grupo Académico Ecología de Artrópodos y Manejo de Plagas, Departamento Agricultura, Sociedad y Ambiente, El Colegio de la Frontera Sur, Carretera Antigua Aeropuerto km 2.5, Tapachula C.P. 30700, Chiapas, México; autor de correspondencia: jbarrera@ecosur.mx.

³ Centro de Investigación y Capacitación, Jesús Aguilar Paz, Instituto Hondureño del Café, Aldea La Fe, Ilama, Santa Bárbara, Honduras, C.A.

1 El IHR fue mayor para los productores de la zona de El Lago de Yojoa, por lo tanto, también fueron
2 los menos resilientes. La capacidad de respuesta fue similar entre los productores de Olancho y El
3 Paraíso. A pesar que la roya fue mayor amenaza para los productores de El Paraíso, su
4 vulnerabilidad fue menor. A partir conocer los elementos y funcionamiento del sistema
5 socioambiental, y la definición de los criterios para gestionar el IHR, se propuso un plan de trabajo
6 para reducir el riesgo e incrementar la resiliencia de estos productores ante la roya de café.

7 **Palabras claves:** roya del café, *Coffea arabica*, vulnerabilidad, capacidad de respuesta, enfoque
8 holístico, gestión del riesgo.

9 INTRODUCCIÓN

10 El café (*Coffea* spp.) es una planta que se cultiva principalmente en países en desarrollo de
11 regiones tropicales y subtropicales donde contribuye a la economía familiar de millones de
12 personas que dependen directa e indirectamente de los ingresos que genera su cultivo,
13 procesamiento y comercialización (ICO, 2015, 2020). Entre los factores que limitan las ganancias
14 por la venta de la producción del café, y que ponen en riesgo el bienestar de las familias
15 productoras, se encuentran las plagas y enfermedades del cultivo (Waller *et al.*, 2007; Krishnan *et*
16 *al.*, 2021). Una de las enfermedades de mayor impacto negativo en este cultivo es la roya del café
17 causada por el hongo fitopatógeno *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome. Este hongo es un parásito
18 obligado de las hojas vivas de los cafetos, siendo *C. arabica* L. la especie comercial más
19 susceptible. Las plantas fuertemente atacadas por *H. vastatrix* pierden las hojas y, eventualmente,
20 algunas ramas o la planta pueden morir (Avelino *et al.*, 2015). Tras el devastador brote de esta
21 enfermedad en Centroamérica y México en 2012, se estimaron pérdidas monetarias de 369.3
22 millones de dólares en el ciclo 2012/13 y 245 millones de dólares en el ciclo 2013/14 (ICO, 2015).
23 Por lo tanto, el manejo efectivo de las plagas y enfermedades que afectan la producción y calidad
24 del café representa uno de los desafíos más importantes para esta industria en el mundo.

1 Actualmente, los productores de café recurren al Manejo Integrado de Plagas (MIP) como
2 estrategia para enfrentar a la roya. Entre las tácticas que forman parte del MIP de esta enfermedad
3 se pueden citar: el monitoreo de la infestación y del clima para emitir avisos de alerta temprana; la
4 renovación de cafetales viejos; el uso de variedades de café resistentes y tolerantes a la roya; la
5 fertilización del suelo y follaje para mejorar la nutrición de los cafetos; el manejo del dosel de los
6 árboles de sombra y el control de la maleza para reducir el exceso de humedad; y la aspersión de
7 fungicidas en las variedades de café susceptibles (Zambolin, 2016; Talhinhos *et al.*, 2017; Avelino
8 y Anzueto 2020).

9 Al integrar de manera armoniosa las tácticas antes mencionadas, se pretende evitar que *H.*
10 *vastatrix* provoque pérdidas económicas. Para ello, la estrategia MIP se auxilia de umbrales de
11 acción como el nivel de daño económico y el umbral económico (Stem *et al.* 1959, Kogan 1998,
12 Norris *et al.* 2003). Desafortunadamente, la toma de decisiones en el manejo de plagas basada en
13 umbrales de acción deja de lado aspectos sociales, económicos y ambientales relevantes del sistema
14 socioambiental. Para subsanar esta deficiencia, el Manejo Holístico de Plagas (MHP), una
15 estrategia de manejo de plagas basada en un enfoque holístico del sistema socioambiental, ha
16 propuesto el Índice Holístico de Riesgo (IHR) como herramienta de toma de decisiones (Barrera
17 2020 a, b). Este índice se obtiene a partir de variables sociales, económicas y ambientales agrupadas
18 en tres componentes o constructos: la amenaza (*e.g.* plagas y enfermedades), la vulnerabilidad y la
19 capacidad de respuesta de los productores y sus unidades de producción. Otros autores coinciden
20 en señalar la importancia del enfoque de riesgo en la toma de decisiones para manejar los sistemas
21 socioambientales (Altieri y Nicholls, 2013; Montalba *et al.* 2013; Gazzano *et al.*, 2015).

22 Este trabajo plantea la hipótesis que la toma de decisiones basada en riesgo y resiliencia permite
23 identificar las zonas cafetaleras más vulnerables y con menor capacidad de respuesta hacia la
24 amenaza que representa la roya y, por lo tanto, orientar las acciones de manejo de esta enfermedad

1 hacia los productores que tienen sus fincas en esas zonas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo
2 fue determinar el IHR ante *H. vastatrix* en productores de zonas cafetaleras de Honduras. Para ello,
3 se establecieron los siguientes tres objetivos específicos: identificar la problemática de la
4 producción y comercialización del café (1) y determinar el IHR (2) y la resiliencia (3) ante la roya
5 de productores de café de tres zonas cafetaleras de Honduras. Con los resultados de esta
6 investigación se espera identificar las zonas más vulnerables y contribuir a la toma de decisiones
7 del manejo de la roya con criterios de riesgo y resiliencia.

8 **MATERIALES Y MÉTODOS**

9 **Zona y periodo de estudio**

10 El estudio se realizó en cafetales de productores de tres zonas cafetaleras de Honduras,
11 Centroamérica: zona Centro Norte o zona del Lago de Yojoa, que comprendió productores
12 ubicados en los departamentos de Cortés, Santa Bárbara y Comayagua; zona Oriente con
13 productores del departamento de El Paraíso; y zona Centro Oriente con productores del
14 departamento de Olancho. Para los fines de este estudio, se llamará productores del Lago de Yojoa
15 a los productores ubicados en la zona Centro Norte, productores de El Paraíso a los de la zona
16 Oriente y productores de Olancho a los de la zona Centro Oriente. Las actividades de esta
17 investigación se llevaron a cabo de septiembre de 2016 a abril de 2017 en coordinación con el
18 Instituto Hondureño del Café (IHCAFÉ).

19 **Identificación de los problemas**

20 De acuerdo con García (1994), un estudio integral comienza con realizar un diagnóstico del
21 funcionamiento del sistema. En este sentido, la presente investigación inició con un taller
22 diagnóstico en el que participaron 32 productores de café. A través de la técnica “lluvia de ideas”
23 los productores expresaron en forma verbal y escrita sus principales problemas en la producción y

1 comercialización del café. Después, a cada productor se le pidió que escribiera en una hoja de papel
2 los 20 problemas más importantes y que identificara los 10 de mayor importancia, ordenándolos
3 en forma ascendente (1= más importante, 10= menos importante). Con el propósito de identificar
4 los 10 problemas más importantes del grupo de productores, se calculó el promedio de puntos
5 obtenido por cada problema priorizado individualmente.

6 **Interacciones entre variables**

7 Siguiendo con la idea de García (1994), quien señala que los estudios integrales comienzan con
8 realizar un diagnóstico del funcionamiento del sistema, las 10 necesidades (ahora convertidas en
9 variables) más importantes se analizaron mediante un análisis estructural (Mojica 1991, 2004). Este
10 análisis permite conocer el funcionamiento del sistema a partir de establecer el grado de
11 interdependencia (dependencia) y el grado de influencia (motricidad) entre las variables. Como
12 consecuencia, a través de graficar la relación entre la dependencia (abscisas) con respecto a la
13 motricidad (ordenadas), se establecieron las cuatro áreas o zonas del análisis estructural en las
14 cuales se distribuyen las variables bajo estudio: zona autónoma (baja dependencia, baja
15 motricidad), zona de poder (baja dependencia, alta motricidad), zona de salida (alta dependencia,
16 baja motricidad) y zona de conflicto (alta dependencia, alta motricidad).

17 **Muestreo Agroecológico Rápido**

18 La información se levantó mediante un Muestreo Agroecológico Rápido (MAR) de acuerdo a
19 la metodología de Barrera (2020 a, b). El MAR consistió en una entrevista semiestructurada a
20 productores y un muestreo de sus cafetales. En total, se realizaron 43 encuestas y se muestrearon
21 43 cafetales.

22 **Entrevista al productor**

1 La entrevista semiestructurada consistió en 47 preguntas para caracterizar los aspectos
2 socioeconómicos del productor (dueño o encargado) y su hogar como la edad, sexo, escolaridad,
3 composición de la familia, ingresos, afiliación a una organización, nivel de interés en el cultivo de
4 café, áreas de siembra, variedades, densidad de siembra, manejo agronómico, árboles de sombra,
5 conservación de suelos, plagas y enfermedades predominantes, rendimiento esperado, beneficiado
6 o procesamiento del café, comercialización del grano y costos de producción.

7 **Muestreo de la unidad de producción**

8 **Ubicación.** Se hizo un croquis del predio o unidad de producción y con una aplicación para
9 Andorid se determinaron las coordenadas geográficas y la altitud (msnm).

10 **Área de muestreo.** Dentro de la unidad de producción se delimitó una “parcela interna” de 20 x
11 20 m para realizar el muestreo del cafetal.

12 **Cafetos y árboles de sombra.** Se contó el total de cafetos y árboles de sombra en la parcela interna.
13 De cada uno de los árboles de sombra se determinó la especie, la altura y el diámetro del tallo a la
14 altura del pecho (DAP) de los árboles con DAP>5 cm. También se determinó la presencia/ ausencia
15 de epífitas y plantas parásitas sobre los árboles de sombra.

16 **Porcentaje de sombra.** Se determinó el porcentaje de sombra (cobertura vegetal) en la parcela
17 interna con el método de la cuadrícula (Medina Fernández *et al.*, 2006). Este método consistió en
18 registrar el número de cafetos que se encontraban bajo un árbol de sombra muestreando un caféto
19 sí, y otro no.

20 **Cobertura del suelo.** Mediante el método de “punta de zapato” (Guharay *et al.* 2000) se registró
21 la ausencia (hojarasca y suelo desnudo) o presencia de vegetación viva o cobertura vegetal del
22 suelo (arvenses o maleza) en 30 puntos (separados cada 5 m) ubicados entre las hileras de los

1 cafetos de la parcela interna. La cobertura vegetal del suelo se clasificó en los siguientes grupos de
2 arvenses: zacates, plantas anuales y perennes de hoja ancha y los bejuco entre las hileras de cafetos
3 o sobre los cafetos.

4 **Plagas y enfermedades.** Se hizo un muestreo de las plagas y enfermedades más comunes del café
5 con el método del "recuento integral" (Guharay *et al.* 2000). El muestreo de insectos (broca,
6 escamas, piojo harinoso, etc.) y hongos fitopatógenos (roya, ojo de gallo, antracnosis, etc.) se
7 realizó en una rama del tercio medio de cada uno de 20 cafetos de la parcela interna. El porcentaje
8 de infestación de cada organismo se calculó con base en el número de frutos u hojas afectados por
9 rama. Para el caso de barrenadores (Cerambycidae) y grillos (Gryllidae), también se muestreó el
10 tallo de los cafetos.

11 **Estimación de la cosecha.** Se realizó la estimación de cosecha con el método del Instituto
12 Mexicano del Café (INMECAFÉ, 1985). Para ello, se eligieron 25 cafetos en la parcela interna
13 distribuidos en un cuadro de 5 x 5 cafetos. A estos cafetos se les determinó edad, variedad, altura
14 de planta, grosor del tallo, número de ejes (ramas ortotrópicas), defoliación y número de cafetos en
15 producción (categoría I, normales; categoría II, cafetos que requerían poda). Posteriormente, se
16 contaron los frutos de un café representativo de cada una de estas dos categorías productivas. El
17 número total de frutos por parcela interna se estimó multiplicando el número de frutos por categoría
18 de café por el número de cafetos de cada categoría.

19 **Caracterización de productores**

20 Los 43 productores participantes en el estudio se caracterizaron a partir de la información
21 procedente de las encuestas y los muestreos de cafetales. Para ello, se tomó de referencia la

1 clasificación del IHCAFÉ, la cual clasifica a los productores en cuatro grupos con base en el manejo
2 agronómico de su cafetal en el año.

3 De acuerdo con esta categorización, los 43 productores que participaron en el presente estudio
4 se clasificaron en cuatro grupos (Cuadro 1). El 11.6% de los productores se clasificó en el grupo
5 1; el 51.2% en el grupo 2; el 20.9% en el grupo 3; y el 16.3% en el grupo 4. Con respecto a la
6 ubicación geográfica de los productores, el 25.6% se ubicó en Olancho; el 27.9% en El Paraiso; y
7 el 46.5% en el Lago Yojoa.

8 **Cálculo del Índice Holístico de Riesgo**

9 Una vez tabulada la información de las entrevistas a los productores y el muestreo de las
10 unidades de producción, las variables se clasificaron de acuerdo a los componentes o constructos
11 del riesgo (IHR): amenaza (A), vulnerabilidad (V) y capacidad de respuesta (C) (Cuadro 2).
12 Enseguida, se estableció la relación causa-efecto entre las variables clasificadas en V y C con
13 respecto a A (roya del café). Después, las variables de los tres componentes se estandarizaron en
14 una escala de 1 a 100. Una vez estandarizadas las variables, el valor de cada componente del riesgo
15 se calculó mediante la suma de los valores individuales de las variables que lo integraron.
16 Finalmente, el riesgo (IHR) de cada productor (n= 43) a la roya se calculó con la fórmula
17 $IHR=(A+V)/C$ (Ecuación 1) (Barrera 2020 a, b).

18 **Análisis del Índice Holístico de Riesgo**

19 La interacción entre los componentes del riesgo se analizó mediante el Triángulo Holístico de
20 Riesgo (THR) propuesto por Barrera (2020 a, b). El THR es una gráfica triangular cuyos lados son
21 A, V y C. Esta gráfica contiene ocho zonas o áreas que representan diferentes intensidades del
22 riesgo, desde muy bajo hasta muy alto.

- 1 Cuadro 1. Categorización de los productores de café participantes en el estudio según el manejo
2 agronómico del cultivo en Honduras, C.A. 2016-2017.

Grupos o Categorías	Descripción de las principales actividades agronómicas en el año	Zonas de estudio			Total
		Lago de Yojoa	El Paraiso	Olancho	
1	Control de maleza y no aplica ningún tipo de agroquímico.	3	1	1	5
2	Control de maleza, aplica de 1-2 fertilizaciones y aplica un fungicida.	11	5	6	22
3	Control de maleza, aplica mínimo tres fertilizaciones, aplica fungicidas y hace podas.	4	3	2	9
4	Control de maleza, aplica más de cuatro fertilizaciones, aplica fungicidas, hace podas y usa un programa integral de control de plagas y nutrición de la planta.	2	3	2	7
Total		20	12	11	43

- 3 También se hizo un análisis para determinar la resiliencia de cada productor ante la roya. Para
4 ello, se hizo una estimación aproximada de la resiliencia (E) a partir de despejar C de la Ecuación
5 1, de la siguiente manera: $E \approx C = (A+V)/IHR$ (Ecuación 2). Gráficamente, E también se estimó al

1 establecer la relación del riesgo (IHR) con respecto a la capacidad de respuesta (C) (Barrera 2020
2 a, b). Asimismo, se hizo un análisis gráfico mediante gráficas radiales para determinar la
3 importancia de las variables al interior de cada componente del riesgo (Barrera 2020 a, b). Los
4 análisis anteriores se realizaron comparando las tres zonas cafetaleras.

5 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

6 **Identificación de los problemas que limitan la caficultura**

7 La presente investigación identificó los 10 problemas más importantes del sistema
8 socioambiental de café de productores de Honduras (Cuadro 3). Entre estos problemas, el más
9 sentido por los productores fue el manejo deficiente del cafetal. A diferencia de lo reportado por
10 productores en México (Chiapas), donde el precio bajo del café suele ser el problema más
11 importante (Barrera *et al.* 2004), este problema se ubicó en séptimo lugar en Honduras. La
12 incidencia de plagas y enfermedades ocupó el segundo lugar en importancia, incluso un lugar por
13 arriba de una economía precaria del productor; probablemente esto se explica por la pérdida de
14 resistencia a *H. vastatrix* de las principales variedades de café cultivadas en Honduras (Morales y
15 Grajeda, 2019). Tanto en Honduras (este trabajo) como en Chiapas (Barrera *et al.* 2004),
16 coincidió que la falta de personal técnico (o pobre asesoría técnica) se ubicó en el cuarto y quinto
17 lugar de importancia, respectivamente. Otro problema cuya importancia fue catalogada casi de
18 manera similar por lo productores en ambos países fue la mala organización, la cual se ubicó en
19 décimo (Honduras) y noveno (Chiapas, México) lugar. Por el contrario, los productores
20 hondureños identificaron problemas relacionados con la calidad del café entre los 10 más
21 importantes (sexto y octavo lugar), en tanto que para los productores de Chiapas la calidad no figuró
22 entre estos problemas (Barrera *et al.* 2004).

1 Cuadro 2. Componentes e indicadores del IHR y su relación con la roya (*Hemileia vastatrix*).

Componente	Indicador (y variables)	Relación con la roya (% de A, V o C)
Amenaza (A)	Porcentaje de hojas con roya (número de hojas de café; incidencia de roya)	Incidencia de roya: muy baja (0.1-4.9%): A=5%; baja (5.0-9.9%): A=20%; media (10.0-14.9%): A=30%; alta (15.0-19.9%): A=50%; muy alta (>=20%): A=100%
Vulnerabilidad (V)	Altitud del predio (metros sobre el nivel del mar)	Altitud: baja (<600 m): V=50%; media (600-1000 m): V=100%; alta (1001-1200 m): V=75%; muy alta (>1200 m): V=25%
Vulnerabilidad (V)	Variedad de café (Grado de susceptibilidad/ tolerancia a roya)	Variedad de café: susceptible: V=100%; medianamente tolerante (mezcla de susceptibles y tolerantes): V=50%; muy tolerante: V=0%
Vulnerabilidad (V)	% de sombra (número de cafetos bajo sombra)	Sombra: no hay: V=80%; poca: V=40%; media: V=20%; mucha: V=100%
Capacidad de respuesta (C)	Grado de tecnificación (agroquímicos, poda)	Tecnificación: baja: C=25%; media: C=50%; alta: C=75%; muy alta: C=100%
Capacidad de respuesta (C)	Diferencia entre rendimiento obtenido y esperado (Q/Mz)	Rendimiento: muy malo (< -15 Q/Mz): C=0%; malo (-15 Q/Mz a < 0 Q/Mz): C=25%; igual (0 Q/Mz): C=50%; bueno (> 0 Q/Mz a <=20 Q/Mz): C=75%; muy bueno (> 20 Q/Mz): C=100%
Capacidad de respuesta (C)	Categorías productivas (% de cafetos I y II)	% I y II: no hay, C=0%; baja: C=25%; regular: C=50%; alta: C=75%; muy alta: C=100%

- 1 Cuadro 3. Principales problemas en orden de importancia que limitan la producción y
 2 comercialización del café en zonas cafetales de Honduras. Diagnóstico con participación de
 3 productores de café en 2016.

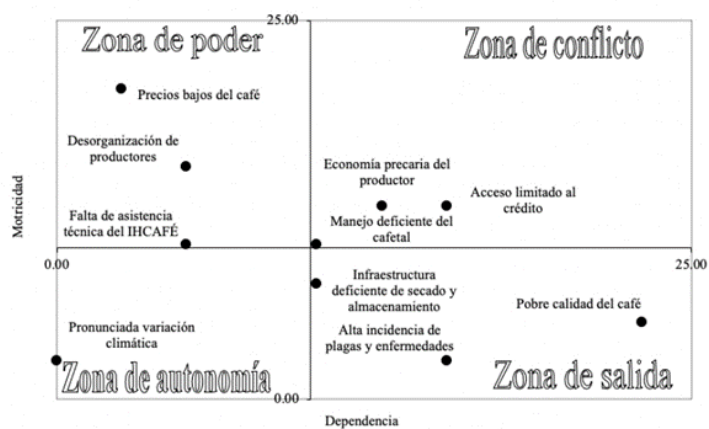
Orden de importancia	Tipo de problema	Promedio de calificación (1= más importante, 2= menos importante)
1	Manejo deficiente del cafetal	1.67
2	Alta incidencia de plagas y enfermedades	2.44
3	Economía precaria del productor	4.56
4	Falta de asistencia técnica del IHCAFÉ	5.11
5	Acceso limitado a crédito	5.89
6	Infraestructura deficiente de secado y almacenamiento del café	7.33
7	Precios bajos del café	7.56
8	Pobre calidad del café	7.67
9	Pronunciada variación climática	8.33
10	Desorganización de productores	8.78

- 4 Aunque las diferencias en la problemática señalada por los productores en estos estudios pudo
 5 deberse a que se realizaron en momentos diferentes (México 2004, Honduras 2016), ambos países
 6 venían de sufrir crisis muy graves: Honduras la roya en 2012-2014 y México los bajos precios
 7 internacionales del café de 2000-2004; esta comparación permite identificar algunas coincidencias

1 en la problemática del café entre estos países, a pesar del tiempo transcurrido entre los estudios y
 2 el tipo de crisis que padecieron en su momento.

3 **Interacciones entre problemas**

4 De acuerdo con el análisis estructural, los problemas más importantes por su capacidad de
 5 contribuir a la solución de otros problemas de los productores de café —si ellos mismos fueran
 6 solucionados (zona de poder)— estuvieron relacionados con el precio del café, la organización de
 7 productores y la asistencia técnica (Figura 1).



8
 9 Figura 1. Análisis estructural de los principales problemas que limitan la producción y
 10 comercialización del café en zonas cafetaleras de Honduras. 2016.

11 Por lo tanto, una estrategia de mejora del bienestar de los productores debería basarse en la
 12 solución de los problemas de la zona de poder.

1 Otros problemas que merecen atención por su gran capacidad de contribuir a resolver problemas
2 —si fueran resueltos— fueron la economía precaria del productor, el acceso limitado al crédito y
3 el manejo deficiente del cafetal; sin embargo, por situarse estos problemas en la zona de conflicto
4 (Figura 1), su solución se torna difícil porque, de acuerdo con el análisis estructural, depende
5 mucho de la solución de otros problemas del sistema.

6 La incidencia de plagas y enfermedades del cultivo, el segundo problema en importancia según
7 el diagnóstico participativo con productores, por ubicarse en la zona de salida del análisis
8 estructural presenta dos características que complican su solución (Figura 1). La primera, es que,
9 por su alto nivel de dependencia, la solución de los problemas de plagas y enfermedades requiere
10 solucionar primero otros problemas del sistema como, por ejemplo, disponer de los recursos
11 necesarios para implementar los métodos de control o las prácticas agronómicas del manejo de
12 cafetal; y, la segunda, que tal vez es aún más importante, se refiere a su baja motricidad, es decir,
13 que la solución de los problemas de plagas y enfermedades contribuye poco a solucionar otros
14 problemas del sistema. Estudios similares realizados en México también han encontrado que los
15 problemas de plagas y enfermedades se situaron en la zona de salida del análisis estructural
16 (Barrera et al. 2013), lo que reafirma la opinión de Barrera (2020 a, b) en el sentido que una
17 estrategia de manejo de plagas y enfermedades que ignora o da poca importancia a otros elementos
18 del sistema socioambiental, no solo tendrá pobres resultados en su manejo, también su contribución
19 a resolver otros problemas será muy limitada. En la misma situación que los problemas de plagas
20 y enfermedades, según el análisis estructural (Figura 1), se encontraron la calidad del café y la
21 infraestructura de secado y almacenamiento del café.

22 Por otro lado, y como era de esperarse, la pronunciada variabilidad climática se ubicó en la zona
23 de autonomía o de problemas autónomos del análisis estructural (Figura 1), es decir, en la zona de

1 aquellos problemas que por su baja dependencia y motricidad con respecto a los otros problemas
2 del sistema socioambiental, su solución es percibida como muy difícil o imposible por el común
3 de las personas. Esta percepción por parte de los productores de café de Mesoamérica de “nada se
4 puede hacer” para evitar el impacto de los eventos extremos del clima (sequías, lluvias torrenciales)
5 —y de los desastres que conlleva— ha sido documentada en la literatura (*e.g.* Eakin *et al.* 2014).

6 **Riesgo hacia la roya**

7 De acuerdo con el THR (Figura 2), la mayoría (n=31, 72.1%) de los 43 productores evaluados
8 se ubicó en la zona de riesgo bajo ante la amenaza que representa la roya del café; el resto de los
9 productores (n=12), se ubicó en las zonas de riesgo muy bajo (n= 2, 4.7%), medio (n=9, 20.9%) y
10 alto (n=1, 2.3%). En todos los casos, el riesgo tuvo mayor influencia del componente vulnerabilidad
11 ($V > 34.3\%$) que del componente amenaza ($A < 22.4\%$). Por su parte, la capacidad de respuesta varió
12 de $C = 18.0\%$ para el caso del productor ubicado en el riesgo más alto (IHR=4.6) hasta $C = 52.2\%$ en
13 el caso del productor con el riesgo más bajo (IHR=0.8).

14 Al analizar los resultados del THR por zona cafetalera de estudio (Cuadro 4), se observó que
15 mayor porcentaje de productores de El Paraiso se ubicaron en la zona de riesgo bajo (n=10,
16 83.3%), en comparación con los productores del Lago de Yojoa (n=14, 70%) o de Olancho (n=7,
17 63.6%). También se observó mayor variabilidad del riesgo y sus componentes en el caso de los
18 productores del Lago de Yojoa, que en los productores de las otras dos zonas consideradas en el
19 estudio.

20



1

2 Figura 2. Triángulo holístico de riesgo para los componentes del IHR ante la roya (*Hemileia*
3 *vastatrix*) de 43 productores de café de Honduras. 2016-2017.

4 Al desglosar los componentes del riesgo en sus variables (Figura 3), se observó que la roya
5 representó una mayor amenaza (variable infestación) para los productores de El Paraiso (65.8%)
6 que para los de Olancho (33.6%) o el Lago de Yojoa (24.5%); en parte, esto puede explicarse
7 porque los cafetales de los productores de El Paraiso se ubicaron en altitudes más vulnerables a
8 esta enfermedad. Aunque la roya representó una amenaza menos importante para los productores
9 ubicados en el Lago de Yojoa, y los valores de las variables de la vulnerabilidad fueron parecidos
10 a los de las otras zonas cafetaleras, los valores de las variables de la capacidad de respuesta fueron
11 menores, particularmente con respecto a la variable de cafetos productivos (Figura 3).

12

Resiliencia hacia la roya

13 La relación del IHR con la capacidad de respuesta (C), considerada una aproximación a la
14 resiliencia (E), se ajustó a una ecuación de potencia con el coeficiente b de valor negativo, es decir,
15 que la resiliencia disminuyó de manera potencial conforme el valor del riesgo se incrementó. Para

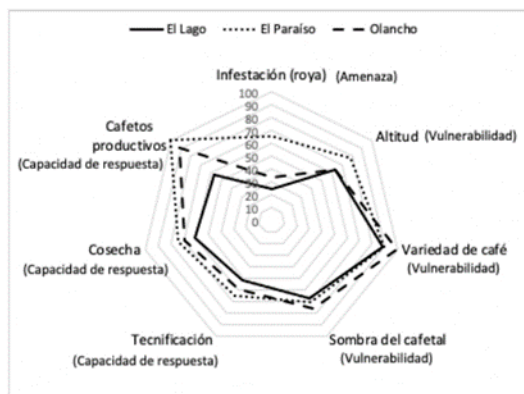
- 1 el caso de los datos correspondientes a los 43 productores bajo estudio, la ecuación de potencia fue
 2 $E \approx C = 50.852 * IHR^{-0.637}$ ($R^2 = 0.99$).
 3 Cuadro 4. Índice Holístico de Riesgo (IHR) ante la roya (*Hemileia vastatrix*) y sus componentes
 4 de 43 productores de café en tres zonas cafetaleras de Honduras. 2016-2017.

Zona	Componentes del IHR,			IHR,	Número de productores por			
	% promedio \pm error est. (rango) ¹			promedi	categoría del IHR ²			
	A	V	C	o \pm error	MB	B	M	A
Lago de Yojoa	5.4 \pm 1.6 (0-22.4)	53.9 \pm 2.6 (34.3-80.5)	40.6 \pm 2.2 (18.0-55.2)	1.7 \pm 0.2 (0.8-4.6)	1	14	4	1
El Paraiso	11.5 \pm 2.2 (0-20.2)	44.1 \pm 1.6 (36.3-52.9)	44.3 \pm 1.2 (37.5-50.1)	1.3 \pm 0.1 (1.0-1.7)	0	10	2	0
Olancho	5.8 \pm 2.2 (0-16.8)	49.5 \pm 1.9 (38.2-61.2)	44.7 \pm 1.8 (36.2-52.1)	1.3 \pm 0.1 (0.9-1.8)	1	7	3	0
Todos	7.2 \pm 1.2 (0-22.4)	50.1 \pm 1.5 (34.3-61.2)	42.7 \pm 1.2 (18.0-55.2)	1.5 \pm 0.1 (0.8-4.6)	2	31	9	1

¹ A= amenaza (roya), V= vulnerabilidad, C= capacidad de respuesta; ² MB= muy bajo, B= bajo, M= medio, A= alto.

- 5 Con esta ecuación se obtuvieron los valores de E para IHR= 1.0, 1.5 y 4.0, valores del riesgo
 6 que corresponden a los límites de las zonas del THR (Figura 2), y con ellos se generaron criterios
 7 prácticos para determinar las categorías de E (Cuadro 5). Según estos criterios, los productores del
 8 Lago de Yojoa fueron menos resilientes pues con IHR de 1.7 (Cuadro 4) se ubicaron en la categoría

1 de resiliencia media ($E = 36.27$ para $IHR = 1.7$), mientras que los productores El Paraiso y Olancho
 2 con $IHR = 1.3$ (Cuadro 4) se ubicaron en la categoría de resiliencia alta ($E = 43.01$ para $IHR = 1.3$)
 3 (Figura 4).



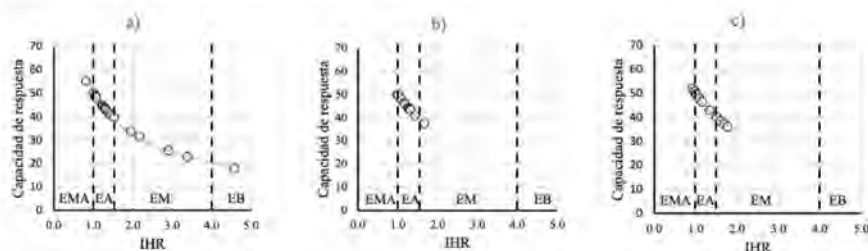
4
 5 Figura 3. Comparación de las variables que integran los componentes del IHR ante la roya
 6 (*Hemileia vastatrix*) de 43 productores de café en tres zonas cafetaleras de Honduras. 2016-2017.
 7 Cuadro 5. Criterios para definir las categorías de E, una aproximación a la resiliencia, con base a
 8 la información del riesgo (IHR).

Categorías	Riesgo (IHR)		Resiliencia (E)	
	Valores ¹		Valores ²	
Muy bajo	<1.0		>50.85	Muy alta
Bajo	1.0 – 1.5		39.28 – 50.85	Alta
Medio	>1.5 – 4.0		21.03 – 39.27	Media
Alto	>4.0		<21.03	Baja

¹ Valores que corresponden a los límites de las zonas de la Figura 2; ² Valores calculados con la ecuación $E \approx C = 50.852 * IHR^{-0.637}$.

9 En un estudio realizado con productores de café de México (Chiapas) para estimar el riesgo ante
 10 la roya con variables diferentes a las utilizadas en esta investigación, se encontró que la ecuación
 11 que describió la relación IHR con E fue $E \approx C = 54.325 * IHR^{-0.817}$ ($R^2 = 0.98$) (Barrera 2020 a, b). Por
 12 lo tanto, se confirma que entre el IHR y la E se establece una relación no lineal del tipo de potencia.

1 Por otro lado, se observó que si bien hay diferencias en la estimación de E entre la ecuación de
 2 México y la generada con productores hondureños, las diferencias fueron pequeñas; en particular,
 3 se observó que ambas ecuaciones estimaron prácticamente igual los valores de E a partir de IHR=
 4 1.3. Queda por comprobar si a partir de conocer el riesgo, estas ecuaciones sirven de referencia
 5 para estimar la resiliencia ante la roya de productores de otras latitudes.

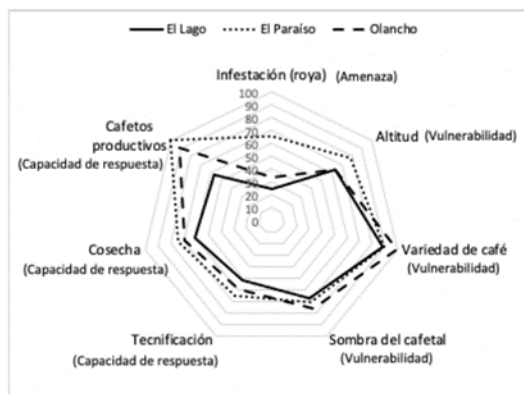


6
 7 Figura 4. Una aproximación a la resiliencia (E) ante la roya (*Hemileia vastatrix*) basada en la
 8 relación entre el Índice Holístico de Riesgo (IHR) y la capacidad de respuesta (C)
 9 ($E \approx C = 50.852 * IHR^{-0.637}$) de 43 productores de café en tres zonas cafetaleras de Honduras, 2016-
 10 2017. a) Lago de Yojoa, b) El Paraiso, c) Olanchito; Las líneas punteadas indican las categorías de
 11 E establecidas a partir de los límites de las zonas del Triángulo Holístico de Riesgo: EMA= muy
 12 alta, EA= alta, EM= media, y EB= baja.

13 Un plan de trabajo con toma de decisiones basadas en gestión del riesgo

14 A partir del conocimiento de los principales elementos y funcionamiento del sistema
 15 socioambiental de café de los productores participantes en este estudio (Cuadro 3, Figura 1), y la
 16 definición de los criterios para gestionar el riesgo que representa la amenaza de la roya para este
 17 sistema (Cuadro 5), con base en Barrera (2020 a) se propone un plan de trabajo para reducir el
 18 riesgo e incrementar la resiliencia del sistema ante la roya del café (Cuadro 6). El plan establece
 19 como objetivo general la mejora de la economía de los productores, pues sin recursos económicos

1 de resiliencia media ($E = 36.27$ para $IHR = 1.7$), mientras que los productores El Paraiso y Olancho
 2 con $IHR = 1.3$ (Cuadro 4) se ubicaron en la categoría de resiliencia alta ($E = 43.01$ para $IHR = 1.3$)
 3 (Figura 4).



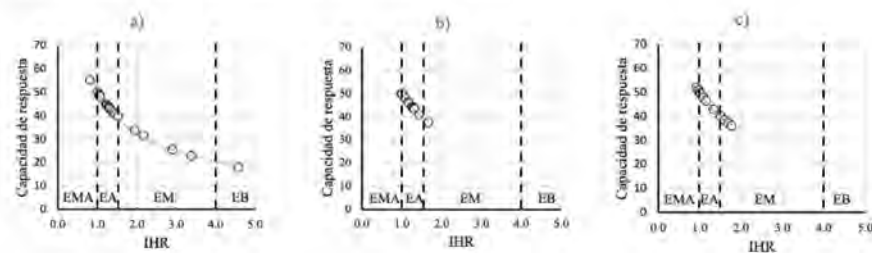
4
 5 Figura 3. Comparación de las variables que integran los componentes del IHR ante la roya
 6 (*Hemileia vastatrix*) de 43 productores de café en tres zonas cafetaleras de Honduras. 2016-2017.
 7 Cuadro 5. Criterios para definir las categorías de E, una aproximación a la resiliencia, con base a
 8 la información del riesgo (IHR).

Categorías	Riesgo (IHR)		Resiliencia (E)	
	Valores ¹		Valores ²	Categorías
Muy bajo	<1.0		>50.85	Muy alta
Bajo	1.0 – 1.5		39.28 – 50.85	Alta
Medio	>1.5 – 4.0		21.03 – 39.27	Media
Alto	>4.0		<21.03	Baja

¹ Valores que corresponden a los límites de las zonas de la Figura 2; ² Valores calculados con la ecuación $E \approx C = 50.852 * IHR^{-0.637}$.

9 En un estudio realizado con productores de café de México (Chiapas) para estimar el riesgo ante
 10 la roya con variables diferentes a las utilizadas en esta investigación, se encontró que la ecuación
 11 que describió la relación IHR con E fue $E \approx C = 54.325 * IHR^{-0.817}$ ($R^2 = 0.98$) (Barrera 2020 a, b). Por
 12 lo tanto, se confirma que entre el IHR y la E se establece una relación no lineal del tipo de potencia.

1 Por otro lado, se observó que si bien hay diferencias en la estimación de E entre la ecuación de
 2 México y la generada con productores hondureños, las diferencias fueron pequeñas; en particular,
 3 se observó que ambas ecuaciones estimaron prácticamente igual los valores de E a partir de IHR=
 4 1.3. Queda por comprobar si a partir de conocer el riesgo, estas ecuaciones sirven de referencia
 5 para estimar la resiliencia ante la roya de productores de otras latitudes.



6
 7 Figura 4. Una aproximación a la resiliencia (E) ante la roya (*Hemileia vastatrix*) basada en la
 8 relación entre el Índice Holístico de Riesgo (IHR) y la capacidad de respuesta (C)
 9 ($E \approx C = 50.852 * IHR^{-0.637}$) de 43 productores de café en tres zonas cafetaleras de Honduras, 2016-
 10 2017. a) Lago de Yojoa, b) El Paraiso, c) Olancho; Las líneas punteadas indican las categorías de
 11 E establecidas a partir de los límites de las zonas del Triángulo Holístico de Riesgo: EMA= muy
 12 alta, EA= alta, EM= media, y EB= baja.

13 **Un plan de trabajo con toma de decisiones basadas en gestión del riesgo**

14 A partir del conocimiento de los principales elementos y funcionamiento del sistema
 15 socioambiental de café de los productores participantes en este estudio (Cuadro 3, Figura 1), y la
 16 definición de los criterios para gestionar el riesgo que representa la amenaza de la roya para este
 17 sistema (Cuadro 5), con base en Barrera (2020 a) se propone un plan de trabajo para reducir el
 18 riesgo e incrementar la resiliencia del sistema ante la roya del café (Cuadro 6). El plan establece
 19 como objetivo general la mejora de la economía de los productores, pues sin recursos económicos

1 no dispondrían de medios para ejecutarlo. Para lograr el plan, el objetivo general se desglosa en
 2 objetivos específicos y estrategias tomando los resultados del análisis estructural (Figura 1). Se
 3 proponen cinco objetivos específicos (variables de las zonas de salida y autónoma del análisis
 4 estructural) y cuatro estrategias (variables de las zonas de poder y de conflicto). Con la finalidad
 5 de revisar el cumplimiento de metas (*e.g.* reducción del riesgo e incremento de la resiliencia), el
 6 estado del sistema se debe valorar al inicio de cada ciclo cafetalero.

7 Cuadro 6. Plan de trabajo para reducir el riesgo e incrementar la resiliencia ante la roya (*Hemileia*
 8 *vastatrix*) del sistema socioambiental de productores de café de Honduras, basado en los resultados
 9 del análisis estructural de los 10 problemas más importantes del sistema.

Rubro	Objetivos, estrategias
Objetivo general	Mejorar la economía del productor.
Objetivos específicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir la infestación de la roya del café. 2. Mejorar la infraestructura de secado y almacenamiento del café. 3. Producir café de mejor calidad. 4. Realizar las practicas agronómicas que requiere el cafetal. 5. Reducir los efectos negativos de la variabilidad climática.
Estrategias	<ol style="list-style-type: none"> 1. Organizar al productor 2. Buscar mercados de mejores precios del café 3. Gestionar créditos de bajos intereses 4. Solicitar la asistencia técnica del IHCAFÉ

10 El análisis del riesgo sugiere empezar la ejecución del plan con los productores del Lago de
 11 Yojoa; en particular, se deberá trabajar para reducir la vulnerabilidad que proviene de las
 12 variedades de café y la sombra, e incrementar la proporción de cafetos productivos (categorías I y
 13 II) a través de renovación de cafetales para mejorar el rendimiento. En segundo lugar, los resultados

1 del riesgo y la resiliencia indican atender a los productores de la zona cafetalera de Olancho. En
2 cuanto a los productores de la zona cafetalera de El Paraiso, no obstante que los niveles de
3 infestación de la roya fueron mayores, su capacidad de respuesta fue mejor. En general, los 43
4 productores que participaron en el estudio requieren reducir vulnerabilidad (variedades de café y
5 sombra) e incrementar capacidad de respuesta (tecnificación para mejorar el rendimiento y calidad
6 de la cosecha).

7 **CONCLUSIONES**

8 Los resultados de esta investigación proporcionaron el conocimiento necesario para identificar
9 los principales elementos y el funcionamiento del sistema socioambiental de café de los
10 productores participantes en este estudio. Asimismo, esta investigación permitió definir criterios
11 para gestionar el riesgo que representa la amenaza de la roya para este sistema. Con esta
12 información, se propuso un plan de trabajo para reducir el riesgo e incrementar la resiliencia del
13 sistema ante la roya del café, con la finalidad de mejorar la economía de los productores.
14 Finalmente, se acepta la hipótesis planteada en este trabajo, en el sentido que fue posible identificar
15 las zonas cafetaleras más vulnerables y con menor capacidad de respuesta hacia la amenaza que
16 representa la roya y, por lo tanto, orientar la toma de decisiones en el manejo de esta enfermedad.

17 **AGRADECIMIENTOS**

18 Un agradecimiento especial a los 43 productores de café del Lago de Yojoa, El Paraiso y
19 Olancho que participaron en esta investigación. El trabajo de campo no hubiera sido posible sin el
20 apoyo del equipo técnico del Instituto Hondureño del Café (IHCAFÉ) y de los estudiantes de
21 práctica profesional del Centro Regional Universitario del Litoral Atlántico (CURLA), asignados
22 al IHCAFE en 2016-2017. También se agradece al equipo técnico de El Colegio de la Frontera Sur
23 (ECOSUR) Unidad Tapachula por su apoyo en la capacitación sobre el Muestreo Agroecológico

Primer Registro de *Hammoderus inermis*¹ en *Coffea arabica* en Honduras**First Record of *Hammoderus inermis*¹ in *Coffea arabica* in Honduras**

Sobeyda Carolina Reyes-Robles², Alejandro Moreno-Reséndez^{2,6*},
José Luis Reyes-Carrillo^{2,6}, Juan Francisco Barrera-Gaytán³, Urbano
Nava-Camberos⁴, Cristian Yizard Lizardo-Chávez⁵, y Ángel Rafael Trejo-Sosa⁵

Resumen. El género *Hammoderus* (Coleoptera: Cerambycidae: Lamiinae) es de los más diversos, con importancia económica al causar pérdidas en cultivos agrícolas y áreas forestales. En 2016 se reportaron daños causados por barrenadores del tallo y raíz en plantaciones de *Coffea arabica* L., y las especies causantes fueron *Hammoderus maculosus* (Thomson) y *Hammoderus inermis* (Bates). Aunque ambos barrenadores han sido reportados en Honduras, es la primera vez que se reporta a *C. arabica* como planta hospedera de *H. inermis*, por lo que este barrenador puede ser considerado como una plaga potencial del café.

Abstract. The genus *Hammoderus* (Coleoptera: Cerambycidae: Lamiinae) is one of the most diverse, causing losses of economic importance in agricultural crops and forestry areas. In 2016, damage by borers was reported in *Coffea arabica* L. plantations. The species producing such damage were *Hammoderus inermis* (Thomson) and *Hammoderus maculosus* (Bates). Although both borer species have been reported in Honduras, this is the first time that *C. arabica* has been reported as a host for *H. inermis*; therefore, this borer can be considered as a potential pest for coffee.

La familia Cerambycidae es uno de los grupos más representativos y numerosos del orden Coleoptera. Se caracterizan por los colores atractivos y diferentes tamaños de ejemplares entre las especies (Nearns 2013, Noguera 2014). Son insectos de importancia económica que generan pérdidas en cultivos y áreas forestales (Constantino et al. 2014, Perez-Flores et al. 2017). La subfamilia Lamiinae es la más grande de Cerambycidae para la región Neotropical. Actualmente existen registrados 723 géneros, con 4,231 especies y 60 subespecies (Monné 2018). Son insectos fitófagos que se alimentan de madera

¹Coleoptera: Cerambycidae.

²Programa de Postgrado en Ciencias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna, Torreón, Coahuila, México.

³El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Tapachula, Chiapas, México.

⁴Facultad de Agricultura y Zootecnia/Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México.

⁵Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), Honduras, C.A.

⁶Miembro de la Red Académica de Innovación en Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS) del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT) y La Comunidad de Instituciones de Educación Superior de la Laguna (CIESLAG)

*Autor de correspondencia: alejamorsa@hotmail.com

sana, también en árboles con daño o en proceso de descomposición (Martínez 2000, Jacobs y Work 2012). Además, se caracterizan por la rápida colonización y parasitismo en los bosques (Boulanger et al. 2013).

El género *Hammoderus* (antes *Plagiohammus*) (Dillon y Dillon 1941) es uno de los más representativos de Cerambycidae. Se conocen como escarabajos longicornios, por sus antenas largas que sobrepasan la longitud del cuerpo, son de colores y estampados atractivos (Bezark 2016, 2019). Se han identificado 32 especies en México, América Central, y parte de Sur América (Constantino y Benavides 2015, Botero y Santos-Silva 2017, Monné 2018). Se considera que son cuatro especies de *Hammoderus* las que causan daños económicos en plantaciones de cafeto: *H. maculosus*, *H. spinipennis*, *H. mexicanus* (Breuning 1950), y *H. colombienses* Thomson 1860 (Muñoz 1990, Barrera 2008, Constantino y Benavides 2015). En Honduras están reportadas cuatro especies: *H. elatus* (Bates 1872) *H. maculosus* (Bates 1881-1884), *H. spinipennis*, y *H. inermis* (Thomson 1860, 1861), las cuales fueron colectadas en la región centro-norte y occidente del país (Chemsak et al. 1980, Turmow et al. 2003, Monné 2005). Estas especies se caracterizan por causar afectaciones en la corteza de los tallos, donde las hembras colocan los huevos a 30 cm del suelo, posteriormente la larva penetra el tallo y lo perfora llegando hasta la raíz, donde se alimenta de la médula de la planta (Martínez 2000). El período larvario puede durar hasta dos años (Barrera 2008).

La investigación comprendió de septiembre de 2016 a julio 2017 con apoyo del Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) y con los productores de café de los departamentos de Cortés y Comayagua de Honduras. Se desenterraron 100 plántulas con daños externos, siendo la principal característica la presencia de aserrín al pie del árbol. Los tallos de los árboles tenían una altura de un metro y un grosor de 30 a 50 cm. Los tallos donde existían galerías y larvas se cortaron en trozos de 30 cm y se colocaron en recipientes de plástico cubiertos con tapaderas con orificios de ventilación y tela de organza, mantenidos a 25-30°C. La humedad se mantuvo colocando dentro de cada recipiente un algodón impregnado con agua. Los tallos en los recipientes se trasladaron al laboratorio del IHCAFE para la identificación de los insectos emergentes.

La identificación de las especies se basó en las referencias de Bates (1881-1884), Thomson (1860), Dillon y Dillon (1941), Monné (2005), y Monné y Bezark (2013). Se encontraron 10 especímenes de barrenadores que se identificaron como *Hammoderus maculosus* (4) y *H. inermis* (6). *Hammoderus inermis* se caracteriza por ser de color café claro, su cuerpo alargado y cilíndrico mide de 2.5 a 3.0 cm de longitud, de 7 a 8 mm de ancho, y con 0.8 cm de anchura elitral (Fig. 1A,B). La cabeza es color café claro y mandíbulas extendidas hacia adelante (Fig. 1C), los ojos son compuestos, grandes, y negros (Fig. 1D), los élitros están maculados en la base y ápice, con cinco puntos o manchas irregulares de color blanco (Fig. 1E). Presenta pubescencia en los élitros, excepto las máculas, y ápice elitral armado, con dos marcas lineales al lado del protórax. Las antenas son de color café y más largas que la longitud del cuerpo. El ciclo biológico del barrenador puede ser de 18 a 20 meses. La emergencia de los adultos fue observada a partir del mes de abril. Este es el primer registro de *H. inermis* causando daños en plantaciones de cafeto en Honduras. El material biológico se encuentra depositado en la colección de insectos del laboratorio de manejo integrado de plagas del IHCAFE.

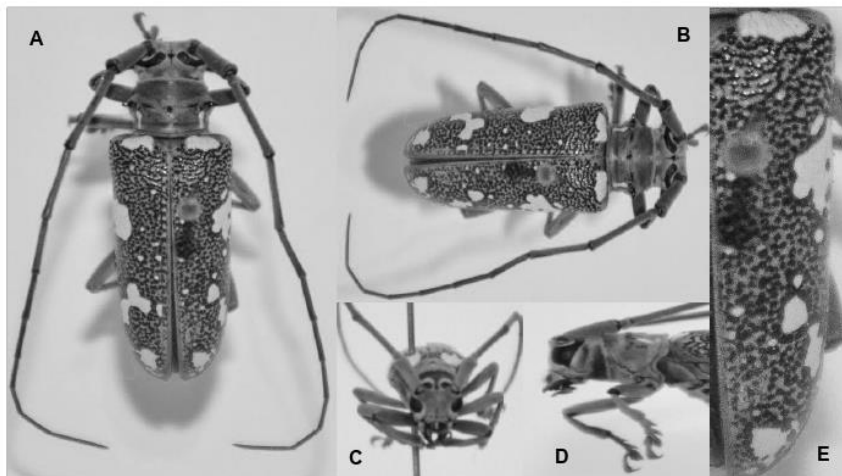


Fig. 1. Características morfológicas del adulto hembra de *Hammoderus inermis*. Vista dorsal (A), vista lateral (B), vista frontal con cabeza y mandíbulas extendidas (C), vista lateral de los ojos compuestos y de color negro (D), y vista lateral de los élitros con cinco manchas irregulares de color blanco (E).

Fig. 1. Morphological characteristics of *Hammoderus inermis* female adult. Dorsal view (A), lateral view (B), frontal view with head and extended jaws (C), lateral view of the compound and black eyes (D), and lateral view of the elytra with five irregular white spots (E).

Agradecimiento

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), al equipo técnico del Instituto Hondureño del Café (IHCAFE). Al M. Sc. Eduardo R. Chamé Vázquez del Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) y al Dr. Víctor H. Toledo ya que ambos reconfirmaron la especie.

Referencias Citadas

- Barrera, J. F., J. Herrera, J. Villalobos, y B. Gómez. 2004. El barrenador del tallo y la raíz del café una plaga silenciosa ECOSUR. Proyecto Manejo Integrado de Plagas. Folleto técnico N° 9. <https://www.yumpu.com/es/document/read/14508158/el-barrenador-del-tallo-del-cafe>
- Barrera, J. F. 2008. Coffee pests and their management, pp. 961-998. *In* Encyclopedia of Entomology. Springer, New York.
- Bates, H. W. 1872. IX. On the longicorn Coleoptera of Chontales, Nicaragua. *Trans. R. Entomol. Soc. Lond.* 20: 163-238.
- Bates, H. W. 1881-1884. *Biologia Centrali-Americana. Insecta. Coleoptera. Vol. I, Part 1.* R. H. Porter, London.

- Bezark, L. G. 2016. Checklist of the Oxypeltidae, Vesperidae, Disteniidae and Cerambycidae (Coleoptera) of the Western Hemisphere. <https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/whemis16.htm>
- Bezark, L. G. 2019. Checklist of the Oxypeltidae, Vesperidae, Disteniidae and Cerambycidae (Coleoptera) of the Western Hemisphere. <http://bezbycids.com/byciddb/checklists/WestHemiCerambycidae2019.pdf>
- Botero, J. P., and A. Santos-Silva. 2017. Four new species, taxonomic, and nomenclatural notes in *Hammatoderus* Gemminger and Harold, 1873 (Coleoptera, Cerambycidae, Lamiinae). *Zootaxa* 4231: 377-397.
- Boulanger, Y., L. Sirois, and C. Hébert. 2013. Distribution patterns of three long-horned beetles (Coleoptera: Cerambycidae) shortly after fire in boreal forest: adults colonizing stands versus progeny emerging from trees. *Environ. Entomol.* 42: 17-28.
- Breuning, S. V. 1950. Nouvelles formes de Lamiinae (Troisième partie). *Bull. Mus. Hist. Nat. Belgique.* 26: 1-32.
- Chemsak, J. A., E. G. Linsley, and J. V. Mankins. 1980. Records of some Cerambycidae from Honduras (Coleoptera). *Pan-Pacific Entomol.* 56: 26-37.
- Constantino, L. M., M. Benavides, and J. R. Esteban Durán. 2014. Description of a new species of coffee stem and root borer of the genus *Plagiohammus* Dillon and Dillon from Colombia (Coleoptera: Cerambycidae: Lamiinae), with a key to the Neotropical species. *Insecta Mundi* 0337: 1-21.
- Constantino, L., and P. Benavides. 2015. El barrenador del tallo y la raíz del café *Plagiohammus colombiensis*. *Cenicafé* 66: 17-24.
- Dillon, L. S., and E. S. Dillon. 1941. The tribe Monochamini in the Western Hemisphere (Coleoptera: Cerambycidae). Reading Public Museum and Art Gallery Scientific Publication 1.
- Jacobs, J. M., and T. T. Work. 2012. Linking deadwood-associated beetles and fungi with wood decomposition rates in managed black spruce forests. *Can. J. Forest Res.* 42: 1477-1479.
- Martínez, C. 2000. *Escarabajos longicornios* (Coleoptera: Cerambycidae) de Colombia. *Biota Colombiana* 1: 76-105. <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/57>.
- Monné, M. A. 2005. Catalogue of the Cerambycidae (Coleoptera) of the Neotropical region. Part II. Subfamily Lamiinae. *Zootaxa* 1023: 1-760.
- Monné, M. A. 2018. Catalogue of the Cerambycidae (Coleoptera) of the Neotropical region. Part II. Subfamily Lamiinae. http://www.cerambycidae.cl/bibliografia/Parte2_Lamiinae_2018.pdf
- Monné, M. A., and L. G. Bezark. 2013. Checklist of the Oxypeltidae, Vesperidae, Disteniidae and Cerambycidae, (Coleoptera) of the Western Hemisphere. <http://plant.cdfa.ca.gov/byciddb/checklists/WestHemiCerambycidae2013.pdf>.
- Muñoz-Hernández, R. I. 1990. Plagas Insectiles del Cafeto. IICA-PROMECAFE-IHCAFE: 145-173. <https://www.ihcafe.hn/?mdocs-file=4279>
- Nearns, E. H. 2013. Systematics of longhorned beetles (Insecta: Coleoptera: Cerambycidae). University of New Mexico. UNM Digital Repository. https://digitalrepository.unm.edu/biol_etds/86
- Noguera, F. A. 2014. Biodiversidad de Cerambycidae (Coleoptera) en México. *Rev. Mex. Biodivers.* 85: 290-297.
- Pérez-Flores, O., V. H. Toledo-Hernández, and A. Zaldívar-Riverón. 2017. Uso del código de barras de la vida para detectar problemas taxonómicos en

- Cerambycidae (Coleoptera: Chrysomeloidea) de un bosque tropical caducifolio. *Rev. Mex. Biodivers.* 88: 71-79.
- Thomson, J. L. 1860 and 1861. Essai d'une classification de la famille des Cerambycides et matériaux pour servir à une monographie de cette famille: 98-99. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/37668#page/14/mode/1up>
- Turnbow, R. H, R. D. Cave, and M. C. Thomas. 2003. A list of the Cerambycidae of Honduras, with additions of previously unrecorded species. *Ceiba* 44: 1-43.

CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados de esta investigación permitieron identificar los principales elementos del sistema socioambiental de café, que son determinantes para la incidencia de roya. Con la información obtenida se estimaron los Índices Holísticos de Riesgo (IHR), para las 43 fincas que fueron muestreadas a nivel nacional. Las variables de altura (msnm) y la genética de la planta son factores de mucha vulnerabilidad. También, se observó la pérdida de resistencia genética en la mayoría de las variedades de café.

Con relación al manejo agronómico en el cultivo de café, hay una relación muy importante, entre la sanidad y nutrición de las plantaciones y los niveles de resiliencia ante la roya. Es así, que el productor que da un manejo adecuado a su cultivo, tiene una mayor capacidad de respuesta ante la amenaza por roya u otra enfermedad.

Los muestreos MAR, permiten la observancia en campo de otras enfermedades e insectos, que son amenazas al sistema productivo de café. En ese sentido, se pudo realizar la recolección de barrenadores de la familia *Cerambycidae* que atacan el tallo y ocasionan la muerte de la planta. Uno de los barrenadores que se logró identificar es *Hammoderus inermis*, el cual se determinó como un primer registro en el cultivo de café para Honduras.

Finalmente, con esta información obtenida se analizó los triángulos de riesgo por zona y por lotes, se propuso un plan de trabajo para reducir el riesgo, así mismo, se busca incrementar la resiliencia ante la roya y mejorar la economía de los productores.