



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

PROGRAMA DE POSGRADO

MAGISTER SCIENTIAE

En Agroforestería y Agricultura Sostenible

Proyecto de Tesis

**ESTUDIO DE LA VIRULENCIA DE LA ROYA (*Hemileia vastatrix*) EN
MATERIALES DE CAFÉ RESISTENTES EN REPÚBLICA DOMINICANA**

Adrián Arturo Méndez Beltre

Turrialba – Costa Rica

Julio, 2021

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA Y
AGRICULTURA SOSTENIBLE**

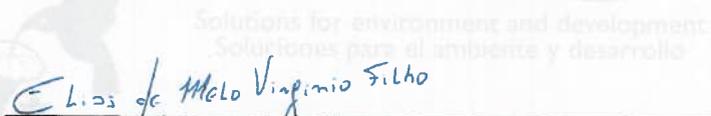
FIRMANTES:



Jacques Avelino, Ph.D.
Codirector de tesis



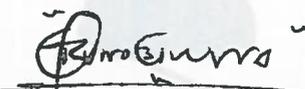
Quisqueya Pérez, M.Sc.
Codirectora de tesis



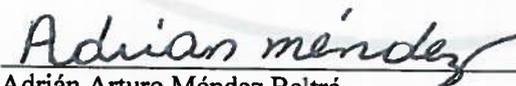
Elias de Melo Virginio, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



William Solano, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.
Decano, Escuela de Posgrado



Adrián Arturo Méndez Beltré
Candidato

Dedicatoria

A Dios, por las bendiciones que me ha regalado en la vida, entre ellas, la oportunidad de poder estudiar en una universidad tan prestigiosa como CATIE.

A mi familia; mi madre Graciela Beltré; mi padre Apolinar Méndez; mi esposa Lidia Yeraldin Cuevas Batista; mi hijo Adiel Josué Méndez Cuevas; mis hermanos Jorge Luis Méndez Beltre, Melina Méndez Beltre, Neurys Vargas Beltre; mis tías, tíos y primos.

A mis compañeros de generación 2019-2020, en especial, a Omar Miguel Tarqui, Víctor Camilo Pulido Blanco, Antony Mateo, Marcos Hughes, Dionisia Abreu, Damaris Alcántara, Elizabeth Tejada, Rocío Lisbeth y Yisneiry Tapia.

Agradecimientos

A Dios, por la oportunidad de vivir y estudiar en CATIE.

A mi familia, por su apoyo incondicional, por sus palabras de motivación, en especial, a mi madre y a mi esposa, por cuidar de nuestro hijo.

A mis tutores Jacques Avelino, Quisqueya Pérez, Elías de Melo y Fernando Casanoves, por guiarme en este proceso de aprendizaje. Gracias por sus conocimientos, consejos, apoyo y comprensión.

Al CATIE, por la oportunidad de formar parte de la FAMILIA CATIE.

Al MESCYT, AGRICULTURA RD, INDOCAFÉ por la confianza que depositaron en mí y por brindarme la beca de estudio. Estoy sumamente agradecido.

Índice general

Resumen	vi
Abstract	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. METODOLOGÍA	3
2.1. Área de estudio.....	3
2.2. Materiales y método	5
Método de muestreo en las parcela y georreferenciación	5
Método de medición de la roya	6
Caracterización de las parcelas	6
Agronómicas	6
Físicas.....	7
Evaluación de los síntomas y signos de roya en las parcelas.....	8
Se registró a nivel de plantas:.....	8
e. Análisis estadísticos	9
3. RESULTADOS.....	9
a. ¿Cómo afecta la sombra sobre la presencia de síntomas y signos de roya?.....	9
b. ¿Cómo afecta la edad de la plantación sobre la presencia de signos y síntomas?	10
c. ¿Cómo afecta la frecuencia de fertilización sobre el porcentaje de signos y	11
síntomas?.....	11
¿Cómo afecta la altitud sobre la aparición de síntomas precursores y signos de roya?....	11
¿Cuáles variedades de café resistentes presentan mayor porcentaje de síntomas y signos de roya?	15
3.5. Efecto de la frecuencia de fertilización, variedad, altitud, edad de la plantación y la sombra sobre la presencia de síntomas y signos	17
4. Discusión.....	17
4.1. Presencia de síntomas y signos de roya en variedades de café resistentes	18
4.2. Efecto de la sombra y la altitud sobre la presencia de síntomas y signos de roya... .	19
5. Conclusiones.....	20
6. Recomendaciones.....	21
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
8. Anexos.....	24

Índice de cuadro

Cuadro 1. Características agroclimáticas de las principales regionales cafetaleras.....	4
Cuadro 2. Características de los materiales evaluados.....	8
Cuadro 3. Efecto de la sombra sobre el porcentaje de plantas con flecks.....	10
Cuadro 4. Efecto de la edad sobre el porcentaje de tumefacción.....	10
Cuadro 5. Efecto de la frecuencia de fertilización sobre el porcentaje de esporas.....	11
Cuadro 6. Efecto de la variable flecks sobre las variedades de café resistentes.....	16
Cuadro 7. Efecto de la variable tumefacción sobre las variedades de café resistentes...	16
Cuadro 8. Efecto de la variable espora sobre las variedades de café resistentes.....	17

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de las áreas de muestreo con relación a las principales regiones cafetaleras de República Dominicana	6
Figura 2. Muestreo de roya dentro de las parcelas	9
Figura 3. Relación entre el porcentaje de plantas con esporas y la altitud en la variedad T-8667.....	12
Figura 4. Reacciones de síntomas y signos en T-8667 en diferentes altitudes	13
Figura 5. Reacciones de síntomas y signos en diferentes altitudes en la variedad (CR-95).....	13
Figura 6. Porcentaje de síntomas y signos en grupo de los Sarchimores con relación a la altitud.....	14
Figura 7. Porcentajes de síntomas y signos en la variedad Lempira en dos altitudes.....	15
Figura 8. Reacciones presentadas por las variedades evaluadas a la roya del café (H. vastatrix).....	15
Figura 9. Análisis de componentes principales.....	18

Lista de acrónimos

CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

INDO CAFE: Instituto Dominicano del café

AGRICULTURA RD: Ministerio de agricultura de la República Dominicana

MESCYT: Ministerio de Educación Superior ciencia y tecnología

Resumen

El fuerte impacto de la roya del 2012 provocó que las autoridades fitosanitarias de América Latina se replantearan aspectos de manejo y agroecológicos del cultivo de café, entre los que están la creación de variedades de café mejoradas. El presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar la evolución de la roya (*Hemileia vastatrix*), en variedades de café resistentes en República Dominicana, dicha investigación se realizó evaluando fincas de café distribuidas en todas las regionales cafetaleras.

Se muestrearon fincas en cada regional, dependiente de la cantidad registradas en el listado de fincas cafetaleras que posee el Instituto Dominicano del Café (INDOCAFÉ), en dichas fincas se levantó información sobre: porcentaje de sombra, edad de la plantación, variedad, altitud (MSNM), coordenadas geográficas, porcentaje de plantas con flecks, porcentaje de plantas con tumefacción, porcentaje de plantas con espora, frecuencia de poda de árboles de sombra, frecuencia de fertilización e intervalo de aplicación de fungicidas.

Para medir el porcentaje de la sombra se utilizó la aplicación HabitApp 71%, que consiste en tomas de fotografía con un celular a la cobertura de los árboles de sombra, en este estudio tomamos tres fotos en diferentes lugares del cafetal y se sacó un promedio para que el resultado sea más confiable. Para conseguir la edad de la plantación se le realizó una entrevista al productor y también al técnico encargado de la zona de producción.

Para identificar las variedades se utilizó un catálogo de variedades facilitado por INDO CAFÉ, además, las fincas estaban debidamente identificadas por los técnicos encargados del área para ver el comportamiento de estas variedades en la zona, en cuanto a la altitud de la finca y las coordenadas geográficas, fueron tomadas con un GPS MAP 64, tanto la altura como las coordenadas de cada finca en el punto céntrico de la misma.

Para levantar la información sobre el porcentaje de plantas con flecks, tumefacción y con Esporas, primero se procedió a visualizar el área, para ver el tamaño de la finca y así definir la estrategia de monitoreo. Se evaluaron 100 plantas distribuidas al azar en cada finca, 1 planta por cada 10 plantas distribuidas en diferentes hileras de las plantaciones de café, para la recolección de esta información se utilizaron los materiales como: formulario, lupa y una imagen impresa a color con cada uno de los síntomas y signos mencionados más arriba. Para la poda de los árboles de sombra, frecuencia de fertilización e intervalo de aplicación de fungicidas, se realizó una entrevista al productor en presencia del técnico encargado de la zona cafetalera.

En los resultados estadísticos obtenidos relacionados con el porcentaje de flecks, se encontró que la variedad Lempira presentó mayor proporción de flecks, con (E.E de 1,38) y (media de 1,00). La variedad Monte bonito fue la que presentó menor porcentaje de flecks, con (E.E de 1,18) y (media de 0,03).

En los resultados obtenidos sobre el porcentaje de tumefacción, se encontró que las variedades Tupi, Acawua, Parainema, Obatá y T-8667 presentaron mayor proporción de Tumefacciones, con (E.E de 0,57) y (medias que van desde 0,04 hasta 0,01). Las variedades Lempira, Monte bonito, Castillo, CR-95 y Cuscatleco mostraron menor porcentaje de Tumefacciones, con (E.E de 2,68 hasta 0,78) y (medias de 0,01 hasta 2,5).

Para los resultados estadísticos relacionados con la variable de esporas, se eliminaron las variedades Acawua, Castillo, Cuscatleco, Monte bonito y Obatá, pues no mostraron presencia de esporas. La variedad CR-95 presentó media de 4,5 con (E.E de 1,22) y Lempira de 2,9 con (E.E de 3,10), siendo las que mostraron mayor proporción de esporas.

Palabras clave: *Hemilia vastatrix*, flecks, tumefacción, espora, fertilización, altitud, edad, sombra y variedad.

Abstract

The strong impact of the rust in 2012 prompted the Latin American phytosanitary authorities to rethink aspects of the management of coffee cultivation, including the creation of improved coffee varieties. The present study was carried out to evaluate the evolution of rust (*Hemileia vastatrix*), in resistant coffee varieties in the Dominican Republic, said research was carried out evaluating coffee farms distributed in all coffee regions.

Different quantities of farms were sampled in each region, depending on the amount registered in the list of coffee farms owned by the Dominican Coffee Institute (INDOCAFÉ), in these farms information was collected on: Percentage of shade, age of the plantation, variety, altitude (MSNM), geographic coordinates, percentage of plants with flecks, percentage of plants with swelling, percentage of spore plants, frequency of pruning of shade trees, frequency of fertilization and interval of application of fungicides.

To measure the percentage of shade, the HabitApp 71% application was used, which consists of taking a photo with a cell phone of the shade tree coverage, but in this study, we took three photos in different places on the farms and of these an average was taken to make the result more reliable. To get the age of the plantation, an-interview was conducted with the producer and with the technician in charge of the production area. To identify the varieties, a catalog of varieties was used which INDOCAFÉ provided me, in addition, the farms were duly identified by the technicians in charge of the area to see the behavior of these varieties in the area, in terms of the altitude of the farm and the geographical coordinates were taken with a GPS MAP 64, both the height and the coordinates of each farm were taken at the central point of the farm.

To collect the information on the percentage of plants with flecks, Swelling and Spores, the area was first visualized to see the size of the farm and thus define the monitoring strategy. 100 plants distributed randomly in each farm were evaluated, 1 plant for every 10 plants distributed in different rows of coffee plantations, for the collection of this information materials such as: Form, magnifying glass and a color printed image with each one of the symptoms and signs mentioned above. For the pruning of shade trees, fertilization frequency and fungicide application interval, an-interview was conducted with the producer in the presence of the technician in charge of the coffee zone.

In the statistical results obtained related to the percentage of flecks, it was found that the Lempira variety presented a higher proportion of flecks, with (E.E of 1.38) and (mean of 1.00). The Monte bonito variety was the one that presented the lowest percentage of flecks, with (E.E of 1.18) and (mean of 0.03).

In the results obtained on the percentage of swelling, it was found that the varieties Tupi, Acawua, Parainema, Obatá and T-8667 presented a higher proportion of swellings, with (EE of 0.57) and (means ranging from 0.04 to 0.01). The Lempira, Monte Bonito, Castillo, CR-95 and Cucatlesco varieties showed a lower percentage of swellings, with (S.E. from 2.68 to 0.78) and (means from 0.01 to 2.5).

For the statistical results related to the spore variable, the Acawua, Castillo, Cuscatlesco, Monte Bonito and Obatá varieties were eliminated since these varieties did not show the presence of spores. It was found that the CR-95 varieties presented a mean of 4.5 with (S.E of 1.22) and Lempira of 2.9 with (S.E of 3.10), being the ones that showed the highest proportion of spores.

Key words: *Hemilia vastatrix*, flecks, swelling, spore, fertilization, altitude, age, shade, and variety.

1. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos básicos agrícolas más comercializados en el mundo, apoya y mantiene los medios de vida de aproximadamente 125 millones de personas en todo el mundo. Los pequeños agricultores, por lo general, con propiedades de 5 hectáreas o menos, dominan la producción en las principales regiones de cultivo de América Latina, Asia y África, donde los pequeños agricultores producen alrededor del 60% del total mundial cada año. Solo en 2014, se estima que 26 millones de agricultores en 52 países cultivaron más de 8.5 millones de toneladas de café acumulando un valor de US \$ 39 mil millones en esos países ([Hirons et al. 2018](#)). El valor al detalle del café es significativamente más alto, con ventas que alcanzaron hasta US \$ 87 mil millones solo en los Estados Unidos en 2019.

El cultivo de café es la principal actividad productiva en las zonas de montaña de República Dominicana. Para 2011, la especie *Coffea arabica* L. (1753) representaba el 90% de las plantaciones, con un área productiva de 137,500 ha, con un rendimiento de 4.48 quintales de café oro por ha ([Codocafe 2012](#)). Para el 2012, se reportó una disminución del área cultivada con un total de 132,500 ha ([Codocafe 2012](#)). Es decir, se redujeron 5,000 ha de este cultivo solo en un año debido, principalmente, a que un 80% del área es manejada por pequeños y medianos productores, la mayoría con poco capital económico para contrarrestar los daños ocasionados por el hongo *Hemileia vastatrix*; la mayoría de ellos posee menos de 5 ha. Para el periodo 2000-2010, la producción promedio anual de café oro a nivel nacional fue de 800,000 quintales (qq) ([Codocafe 2012](#)); de este total, el 83.4% se consumió en el mercado local. En las cosechas 2010-2011 y 2011-2012, la producción de café fue de 500,000 qq y 595,000 qq respectivamente. La roya del café puede causar pérdidas entre un 20 a 25% de la cosecha en años malos con pérdidas económicas a nivel mundial entre US\$1–2 billones ([McCook 2006](#)).

La baja productividad sigue siendo el principal problema técnico productivo de la caficultura dominicana. El promedio de producción nacional es de 5.9 qq/ha (37 lb/tarea) con un rango que va desde 25 a 150 lb/tarea. Este problema está asociado a diversos factores de orden técnico y económico. Entre los factores más importantes, están la edad de las plantaciones, la escasa implementación de prácticas como la poda, tanto para las plantas de café como para los árboles de sombra, la poca fertilización, así como también, la alta incidencia de la roya del café en la última década, particularmente, durante los años 2010-2012 ([Codocafe 2012](#)), y el uso de prácticas inadecuadas de cosecha de 131,250 ha. de café a nivel nacional, la roya estaba presente en 105,000 ha., ocupando el 80% del área cafetalera ([ICO 2013](#)).

[Soto-Pinto et al. \(2002\)](#), mencionan que dentro de las principales enfermedades se encuentra la roya del café, producida por el hongo *Hemileia vastatrix*. Esta enfermedad es causada por un hongo biótrofo, es decir, se alimenta de las células vivas de la planta para lograr su adecuado desarrollo y propagación ([Panstruga 2003](#)). La manera de penetración en la planta es por el envés de la hoja, a través de las estomas. La roya del café es una enfermedad de la hoja que puede causar una gran defoliación en variedades susceptibles y ocasionar pérdidas de calidad y rendimiento ([Avelino & Rivas 2013](#)), luego el hongo sigue su desarrollo hasta que las lesiones pueden producir las uredosporas de color anaranjado. Las principales formas de propagación del hongo son: El viento, la lluvia y las personas ([Avelino et al. 1999](#)).

Los primeros síntomas de infección que se observan son pequeñas lesiones amarillentas, traslúcidas (flecks), estos síntomas son reacciones de resistencia que se presentan como manchas cloróticas diminutas, a menudo, asociadas con pequeñas tumefacciones, algunas veces solamente visibles con lupa o al sostener la hoja de la planta de café contra la luz ([Rodrigues Jr et al. 1982](#)).

Las tumefacciones son tejidos esponjosos hinchados que aparecen en las hojas de café, y pueden ser obtenidos de la siguiente forma: a) por la inoculación de una raza avirulenta de *Hemileia vastatrix*, b) por la inoculación de una raza virulenta desde que el cafeto inoculado sea sometido a tratamiento de calor algunos días después de la inoculación y c) por inoculación de algunas royas no patogénicas para el cafeto. Si las uredosporas producidas por la roya se dejan envejecer o se destruyen por calor en autoclave y se inoculan, se observan alteraciones celulares y/o tumefacciones incipientes alrededor de los estomas. El hecho de que las aguas de lavado de uredosporas de otras royas indujeran igualmente en café la reacción de tumefacciones, sugiere que el elicitor de la reacción debe ser un principio también existente en las uredosporas de varias royas ([Rodrigues Jr et al. 1982](#)). Estos síntomas han servido como criterio para indicar resistencia en los materiales de café, en función del tipo de reacción de las lesiones individuales presentes en la hoja.

La sombra proporcionada por los sistemas agroforestales y la intensidad de manejo son factores de importancia que afectan la incidencia de las plagas y enfermedades ([Beer et al. 1997](#)). La selección del tipo de sombra está relacionada con la intensidad de luz que reciben las plantas de café y del tipo de manejo agronómico que se realiza. La sombra es un componente importante en el manejo integrado de plagas y enfermedades en los sistemas agroforestales. [López-Bravo et al. \(2012\)](#) descubrieron en plantas con cargas fructíferas controladas, mayor incidencia de roya bajo sombra. Según [Avelino & Rivas \(2013\)](#), la roya anaranjada se encuentra asociada con la cantidad de sombra presente en la finca; sin embargo, determinar el efecto de la sombra es difícil, ya que existe una dependencia de las condiciones ecológicas y de manejo propias de cada lugar.

[Avelino et al. \(2004\)](#) reportan que una mayor altitud tiene un efecto negativo para el desarrollo de la roya del café, ya que, a mayores altitudes la temperatura tiende a disminuir, por esta razón se crean condiciones climáticas no favorables para su desarrollo. Según [Agrios \(1998\)](#), una fertilización equilibrada le permite a la planta tener mayor resistencia fisiológica ante cualquier patógeno, por otro lado, [Avelino et al. \(2004\)](#) también reportaron que en Honduras, la incidencia de la roya del café fue menor en las parcelas que fueron fertilizadas.

[Avelino et al. \(2015\)](#) reportaron que otro factor que favoreció la epidemia de la roya en Centroamérica, fue la dificultad para renovar los cafetales provocando un proceso de envejecimiento de los rodales en Centroamérica, lo que constituye una debilidad adicional. El mismo autor expresa que los viejos cafetos de Centroamérica, que tenían una tasa de crecimiento bajan, estaban particularmente expuestos a extensas epidemias por esta razón.

Esta investigación está enfocada en entender como las condiciones ambientales (sombra, altitud y variables de manejo agronómico) favorecen la presencia de síntomas precursores de la roya del café. Se contemplaron las siguientes preguntas: 1. ¿Cómo afecta la sombra sobre la presencia de síntomas y signos de roya? 2. ¿Cómo afecta la edad de la plantación sobre la presencia de signos y síntomas? 3. ¿Cómo afecta la frecuencia de fertilización sobre el porcentaje de signos y síntomas? 4. ¿Cómo afecta la altitud sobre la

aparición de síntomas precursores y signos de roya? 5. ¿Cuáles variedades de café resistentes presentan mayor porcentaje de síntomas y signos de roya? Esta contribución permitirá explorar el comportamiento de la enfermedad de mayor importancia para la producción del café en República Dominicana, además, facilitará el poder entender las relaciones entre estos factores considerando diferentes escenarios presentes en los diferentes sistemas agroforestales con café. Conjuntamente, la investigación aporta recomendaciones para propiciar un mejor manejo agronómico del cultivo del café y una mejor distribución de las variedades resistentes de café.

2.METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en República Dominicana, entre los meses de diciembre del 2019 a agosto del 2020, evaluando las principales regiones productivas de café a nivel nacional, abarcando las provincias de Barahona, San Juan, Azua, San José de Ocoa, Santiago de los Caballeros, Dajabón y Peravia. El país se ubica entre los paralelos 17°36´ y 19°58´ latitud norte y 68°17´ y 72°00´ longitud oeste. El cultivo de café se produce en zonas que oscilan desde los 300 hasta los 1,500 m.s.n.m. La edad de la mayor parte de las plantaciones supera los 22 años, escasa implementación de prácticas de poda, tanto para las plantas de café como para los árboles de sombra y poca fertilización.

El café de República Dominicana se produce en las ocho regiones cafetaleras del país, principalmente en las regiones Norte, Central, Norcentral y Sur. Las regiones productoras más importantes se ubican en las principales zonas montañosas de las cordilleras Septentrional, Central, la Sierra de Neiba y la Sierra de Bahoruco ([Jiménez et al. 2007](#); [CEPAL & INDOCAFE 2018](#)).

La zona cafetalera de la región Norte, ubicada en la Cordillera Septentrional y en la parte noroeste de la Cordillera Central, con una superficie cultivada de 28.358 (ha), representa el 24% de la superficie cultivada total y agrupa al 25% de las fincas cafetaleras (alrededor de 11.000 fincas). La región Norcentral, ubicada en la parte norte de la Cordillera Central, con una superficie de 15.447 (ha), representa 13% de la superficie cultivada de café, agrupa al 14% de las fincas cafetaleras, principalmente en las provincias Monseñor Nouel, La Vega y Hermanas Mirabal.

La región Suroeste, ubicada en la Sierra de Bahoruco y al sur de la Sierra de Neiba, con una superficie de 10.585 ha, representa el 9% de la superficie cultivada y agrupa al 9% de las fincas cafetaleras (alrededor de 4.000 fincas). La zona cafetalera formada por las regiones agropecuarias noroeste, nordeste y este, que no tienen un peso muy importante en la producción de café, representa el 10% del total de la superficie cultivada de café, con alrededor de 12.426 (ha) donde se ubica el 14% de las fincas. En general, esta zona no es muy apta para el cultivo.

El tipo de sombra que predomina es la Guama (*Inga vera*), la cual es nativa de República Dominicana y Haití. Es un árbol que puede alcanzar de 5 a 12 metros de altura. Tiene copa aplanada, amplia, muy extendida. Las raíces tienden a ser superficiales y muy

divididas y presentan nódulos que contienen bacterias fijadoras de nitrógeno y otros nutrientes favorables al suelo.

El clima de República Dominicana es de tipo tropical húmedo en la mayor parte del país. En las zonas montañosas el clima es mucho más frío (la temperatura puede descender 0,5°C por cada 100 metros de altura y pueden llegar en ocasiones a temperaturas bajo cero). Este estudio se centra en el clima que afecta a la zona costera y zonas montañosas, porque en estas zonas es donde se cultiva el café. Éste es un clima con elevadas temperaturas y abundantes lluvias. La temperatura media es de 25°C aproximadamente. Con una oscilación térmica estacional moderada. La temperatura más elevada (alrededor de 35°C) se registra durante los meses de verano (junio-agosto), mientras que las mínimas (19°C-20°C) tienen lugar durante los meses invernales (diciembre-febrero). Las temperaturas en las zonas bajas oscilan entre 23 a 33°C a lo largo del año, mientras que en las zonas altas del país se pueden presenciar frecuentes heladas ([Montagnini et al. 2015](#)).

Las precipitaciones varían mucho dependiendo de la zona. En el Noreste de la isla las lluvias son muy intensas, alrededor de 2500 mm anuales. Mientras que, al Suroeste, cerca de la frontera con Haití, las cifras bajan hasta 750mm. Son cifras muy variables para este país tan pequeño. El clima de República Dominicana se caracteriza, también, por la gran cantidad de horas de sol que recibe, se distinguen dos estaciones (lluviosa y seca). Las lluvias más fuertes se producen en el Noreste del país y en las zonas montañosas. Van decreciendo conforme se desciende hacia el Sur y Suroeste.

Cuadro 1. Características agroclimáticas de las principales regionales cafetaleras

Características agroclimáticas de las principales regionales cafetaleras

Regional sur	
Temperatura máxima	32°C
Temperatura mínima	22 °C
Temperatura promedio	27°C
Precipitaciones	1,000 mm/año
Tipo de sombra en el cafetal	Todas las fincas poseen sombra diversificadas como cabirma, guama, guineo y brucal, pero la que más predomina en más de 85% es la guama (Inga vera).
Manejo de tejido del café	Menos de un 20% de los productores de café, realizan poda tanto al cafetal como a los árboles de sombra.
Regional suroeste	
Temperatura máxima	33 °C
Temperatura mínima	18 °C
Temperatura promedio	25 °C
Precipitaciones	750 mm/año
Tipo de sombra en el cafetal	Las fincas poseen sombra diversificadas como aguacate, guama, guineo y brucal, pero la que más predomina en más de 90% es la guama (Inga vera).
Manejo de tejido del café	Menos de un 50% de los productores realiza poda del cafetal y menos de un 10% realiza poda a los árboles de sombra.
Regional central	
Temperatura máxima	30 °C
Temperatura mínima	21 °C
Temperatura promedio	25 °C
Precipitaciones	1,900 mm/año
Tipo de sombra en el cafetal	Todas las fincas poseen sombra diversificadas como guama, guineo, aguacate y naranja pero la más predominante en más de un 80% es la guama (Inga Vera).
Manejo de tejido	Más de un 60% de los productores realiza poda del cafetal y menos de un 10% realiza poda a los árboles de sombra.

2.2. Materiales y métodos

a. Método de muestreo en las parcela y georreferenciación

Las características generales de las parcelas de café estudiadas en 47 fincas, de las cuales 16 fueron en la región sur, 13 en la región suroeste y 18 en la regional central. Las mismas fueron seleccionadas a partir de una lista de productores proporcionadas por el personal científico del INDOCAFE, los cuales ya tienen un registro de los genotipos de café introducidos al país, y como están distribuidos en las diferentes zonas productoras de República Dominicana, esto con la finalidad de mantener un constante monitoreo de las variedades, para evaluar el comportamiento de estas en las diferentes zonas de

producción de café, y así, definir cuál es la zona más idónea para cada variedad, éstas fueron seleccionadas tomando en cuenta que sean plantaciones de café con variedades resistentes y de fácil acceso.

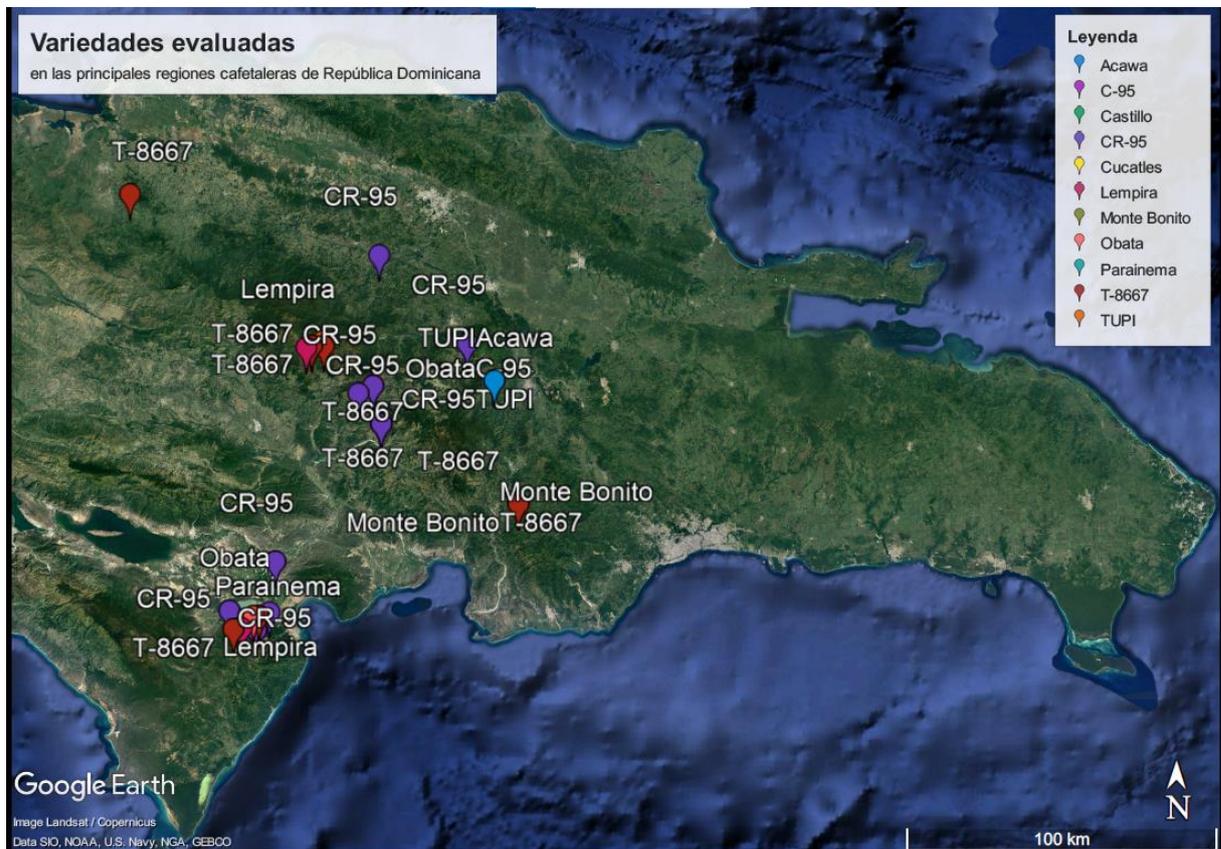


Figura 1. Ubicación geográfica de las variedades evaluadas en las principales regiones cafetaleras de República Dominicana.

b. Método de medición de la roya

En cada una de las parcelas evaluadas, se realizaron observaciones a todas las ramas de las plantas, desde las hojas basales más viejas hasta las apicales más nuevas, identificando con base en la sintomatología (flecks, tumefacción y esporas del hongo), la presencia o ausencia de roya en las hojas de las plantas. En cada una de las bandolas se observó con una lupa, si había presencia de síntomas y signos en algunas de las hojas, para de esta manera determinar el porcentaje de plantas con cada signo y síntomas.

c. Caracterización de las parcelas

❖ Agronómicas

El tipo de manejo agronómico implementado para el control de la roya del café fue determinado por medio de entrevistas, las cuales incluyeron preguntas relacionadas con actividades de control (Anexo 2) implementadas en la parcela. Las principales actividades de manejo de la roya del café estipuladas en la entrevista fueron frecuencia de fertilización y manejo de árboles de sombra.

La frecuencia de fertilización del cafetal fue determinada por medio de entrevistas, las cuales incluyeron preguntas como: ¿Aplica fertilizante? ¿Qué tipo de fertilizante

aplica? ¿Qué dosis aplica por planta? ¿Con qué frecuencia fertiliza? (Anexo 2). En el caso de la sombra la única pregunta realizada fue si hace poda a los árboles de sombra. Estas preguntas fueron realizadas en presencia del técnico de la zona, para corroborar la información ofrecida por el productor.

❖ **Físicas**

A las 47 fincas se le midieron las características físicas pertenecientes a la altitud, y coordenadas geográficas, presente en la finca.

Para identificar las variedades fue necesario evaluar fincas de café que estuvieran debidamente rotuladas, y que los técnicos tuvieran un completo conocimiento de cuál variedad se trataba. Además, se utilizó un catálogo de variedades (ver anexo 3), el cual fue facilitado por INDOCAFÉ para tener una mayor precisión en la evaluación.

Se midió el porcentaje de sombra en cada parcela con una aplicación móvil llamada HabitApp 71% (Cita con información de esta App), se midieron un total de tres estaciones, en diferentes lugares de la finca (parte baja, centro y parte alta). Para el cálculo del porcentaje de la cobertura de sombra, se promediaron los datos de las tres estaciones.

Los datos de la ubicación geográfica (altitud y longitud) de cada parcela fueron obtenidos mediante un GPS map 64.

La edad del cafetal fue determinada por medio de entrevistas al productor, estas preguntas fueron realizadas en presencia del técnico de la zona, para corroborar la información ofrecida por cada dueño de la finca.

Cuadro 2. Características de los materiales evaluados.

Materiales estudiados

Costa Rica 95		Cuscatlesco	
Grupo genético	Catimor	Grupo genético	Sarchimores
Reacción a la roya	Tolerante	Reacción a la roya	Resistente
Origen	IHCAFÉ	Origen	El Salvador
Altitud optima	600/1200	Altitud optima	600/1200
Requerimiento nutricional	Alto	Requerimiento nutricional	Alto
Lempira		Obata	
Grupo genético	Catimor	Grupo genético	Sarchimores
Reacción a la roya	Tolerante	Reacción a la roya	Resistente
Origen	IHCAFÉ	Origen	Brasil
Altitud óptima	600/1200	Altitud óptima	600/1200
Requerimiento nutricional	Alto	Requerimiento nutricional	Alto
Parainema		T-8667	
Grupo genético	sarchimores	Grupo genético	Catimor
Reacción a la roya	Resistente	Reacción a la roya	Tolerante
Origen	IHCAFÉ	Origen	El Salvador
Altitud óptima	600/1200	Altitud óptima	1000/1600
Requerimiento nutricional	Alto	Requerimiento nutricional	Alto

d. Evaluación de los síntomas y signos de roya en las parcelas

Para la evaluación de roya, se tomaron 100 plantas en cada parcela, 1 planta por cada 10 plantas, en varias hileras distribuidas al azar, hasta completar las 100 plantas (ver figura 2). La evaluación se realizó primero a las hojas basales (más viejas) y sistemáticamente hasta las apicales (más jóvenes), de las cuales se hizo una sola evaluación por parcela.

Se registró a nivel de plantas:

1. Porcentaje de plantas con presencia de flecks.
2. Porcentaje de plantas con presencia de tumefacción.
3. Porcentaje de plantas con presencia de esporas.

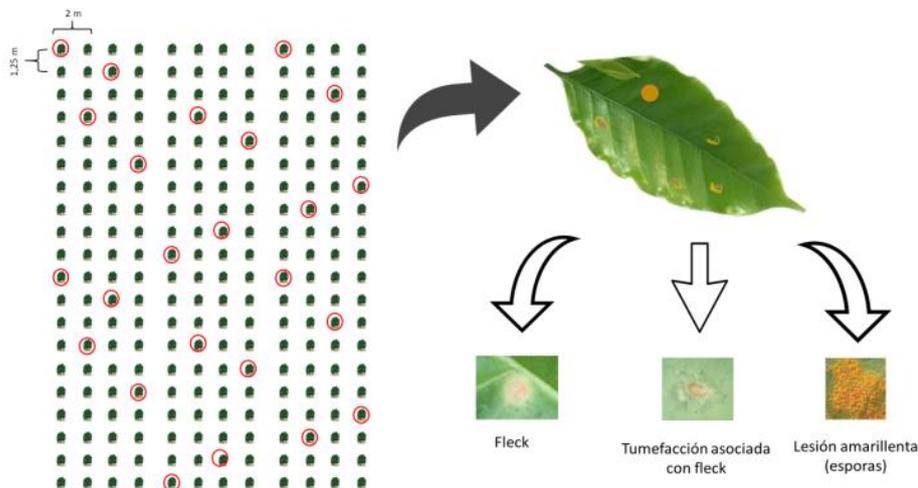


Figura 2. Muestreo de roya dentro de las parcelas

e. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de covarianza para evaluar el efecto de las variedades de café sobre los flecks, tumefacciones y esporas. Las covariables contempladas fueron altura, edad, porcentaje de sombra y frecuencia de fertilización. Las covariables solo se retuvieron en el modelo cuando fueron significativas ($p < 0.05$) y se usó una selección back Ward para la eliminación.

El ANOVA se realizó usando modelos generalizados mixtos con familia binomial y tipo de enlace log. En el modelo se consideró como efectos fijos a las variedades y a las covariables, mientras que el efecto de productor se consideró como aleatorio. Se obtuvieron así los BLUP estandarizados para los productores.

A modo de síntesis de las tres afectaciones se presenta un gráfico triplo, obtenido mediante regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) usando los porcentajes de afectaciones como variables de respuesta, las variables ambientales y de manejo como regresoras, y las especies como clasificatorias en el ordenamiento.

También se realizaron diagramas de dispersión de ubicación de las parcelas (latitud y longitud) representando con el tamaño del punto el nivel relativo de ataque por cada afectación.

3. RESULTADOS

a. ¿Cómo afecta la sombra sobre la presencia de síntomas y signos de roya?

El porcentaje de sombra afecta positivamente la variable porcentaje de plantas con flecks, en porcentajes de sombra que van desde un rango de 50-60% y un promedio de 55%, llegando a tener en promedio 67% de flecks en la zona suroeste, 56% en la zona sur y 46% en la central, pero de manera general, el porcentaje de sombra promedio es de 59% con rango de 35-77%. La variable de tumefacción, se ve afectada por la sombra de manera negativa (**ver cuadro 2**).

Cuadro 3. Efecto de la sombra sobre el porcentaje de plantas con flecks.

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Edad	1	42	39,29	<0,0001
de.sombra	1	42	28,94	<0,0001
Frecuencia.de.fertilizacio..	1	42	33,13	<0,0001
Altitud	1	42	12,42	0,0010

Efectos fijos

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-6,25	2,50	-2,50	0,0124
Edad	0,55	0,09	6,27	<0,0001
de.sombra	0,19	0,03	5,38	<0,0001
Frecuencia.de.fertilizacio..	2,69	0,47	5,76	<0,0001
Altitud	-0,01	3,1E-03	-3,52	0,0004

b. ¿Cómo afecta la edad de la plantación sobre la presencia de signos y síntomas?

En la variable de tumefacción, se evidenció que casi todas las covariables tienen un efecto negativo en todos los casos evaluados ($p < 0,05$). Lo contrario ocurre con la altitud que tienen un efecto positivo.

Cuadro 4. Efecto de la edad sobre el porcentaje de tumefacción

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Edad	1	42	0,74	0,3938
de.sombra	1	42	1,18	0,2831
Frecuencia.de.fertilizacio..	1	42	1,96	0,1691
Altitud	1	42	0,50	0,4836

Efectos fijos

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0,79	5,01	-0,16	0,8752
Edad	-0,28	0,33	-0,86	0,3889
de.sombra	-0,06	0,06	-1,09	0,2769
Frecuencia.de.fertilizacio..	-1,11	0,79	-1,40	0,1618
Altitud	2,0E-03	2,8E-03	0,71	0,4797

Parámetros de los efectos aleatorios

c. ¿Cómo afecta la frecuencia de fertilización sobre el porcentaje de signos y síntomas?

En la variable de **esporas**, se evidenció que casi todas las covariables tienen un efecto negativo en todos los casos evaluados ($p < 0,05$), Lo contrario ocurre con frecuencia de fertilización que tienen un efecto positivo.

Cuadro 5. Efecto de la frecuencia de fertilización sobre el porcentaje de esporas

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Edad	1	42	4,72	0,0355
de.sombra	1	42	31,77	<0,0001
Frecuencia.de.fertilizacio..	1	42	5,09	0,0293
Altitud	1	42	16,28	0,0002

Efectos fijos

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	27,37	6,29	4,35	<0,0001
Edad	-0,30	0,14	-2,17	0,0298
de.sombra	-0,36	0,06	-5,64	<0,0001
Frecuencia.de.fertilizacio..	1,65	0,73	2,26	0,0241
Altitud	-0,02	0,01	-4,03	0,0001

Parámetros de los efectos aleatorios

e. ¿Cómo afecta la altitud sobre la aparición de síntomas precursores y signos de roya?

La figura 2 ilustra la relación negativa entre la altitud y el porcentaje de plantas con esporas en la variedad T-8667, llegando a tener menos de un 13% de plantas con presencia de esporas en alturas superiores a los 1201 m.s.n.m.

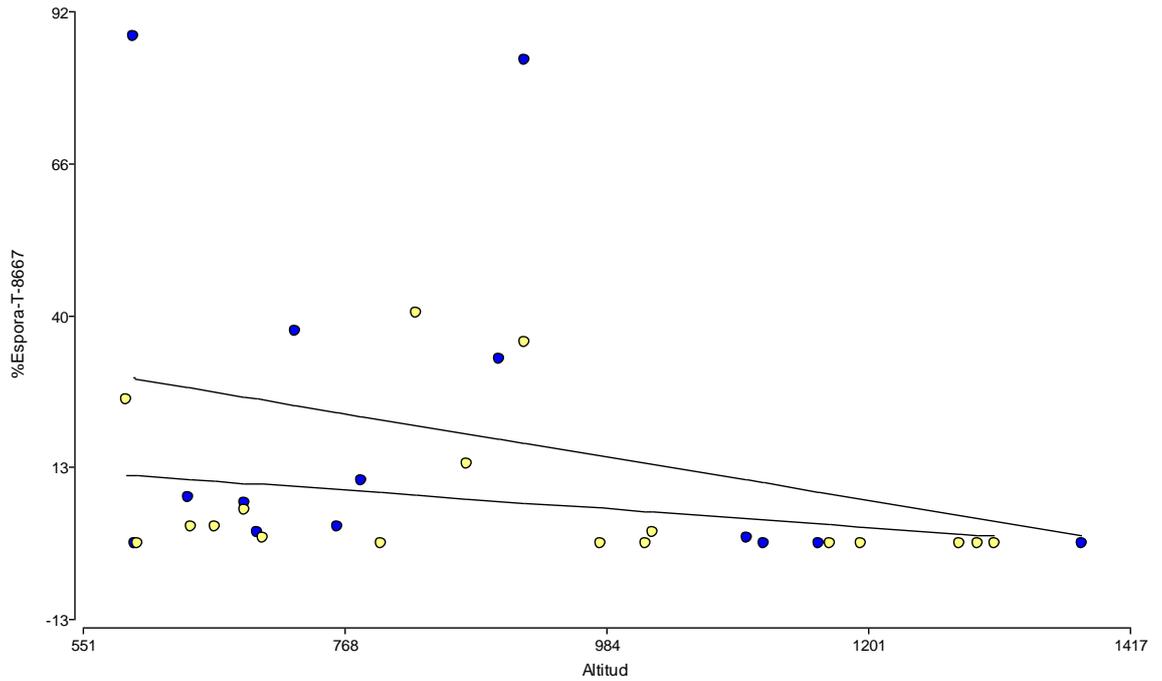


Figura 3. Relación entre el porcentaje de plantas con esporas y la altitud en la variedad T-8667

En la figura 4 se observa que la mayor proporción de flecks están concentradas entre los 596 y 979 msnm, lo contrario ocurre en el porcentaje de tumefacción que, tiene valores mayores en altitudes superiores a los 1276 msnm, la esporulación disminuye significativamente después de los 596 msnm y los 979 m.s.n.m.

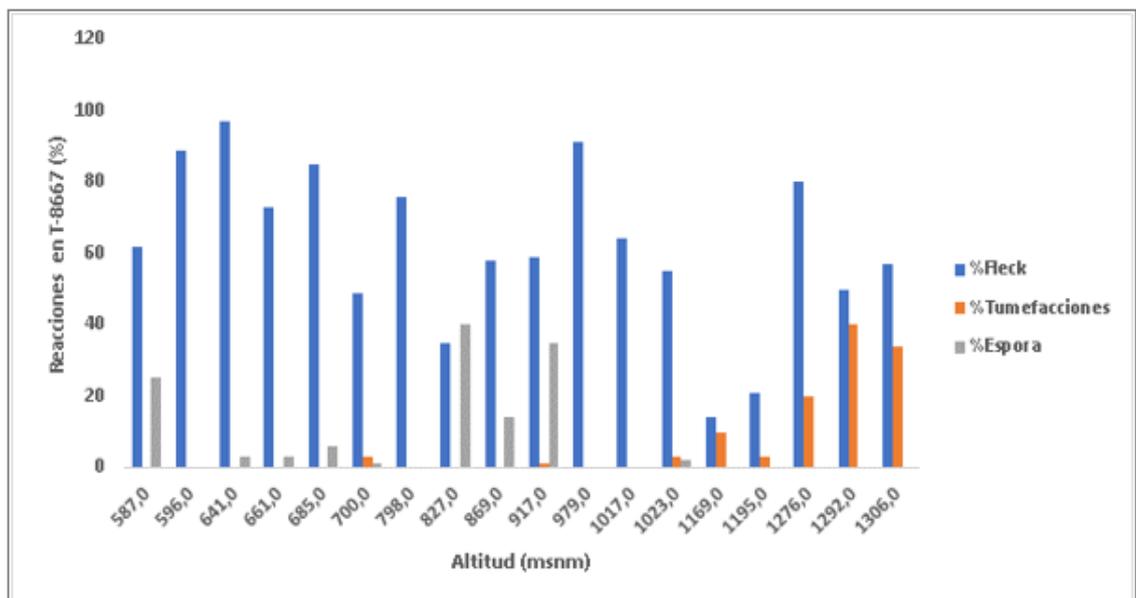


Figura 4. Reacciones de síntomas y signos en T-8667 en diferentes altitudes

En la figura 5, se observa que en la variedad CR-95, la cantidad de síntomas de cada una de las reacciones parece no tener una relación directa con la altitud de las fincas evaluadas, ya que, se observa un alto porcentaje de flecks y tumefacciones tanto en alturas inferiores a 700 msnm como en superiores a los 1000 msnm.

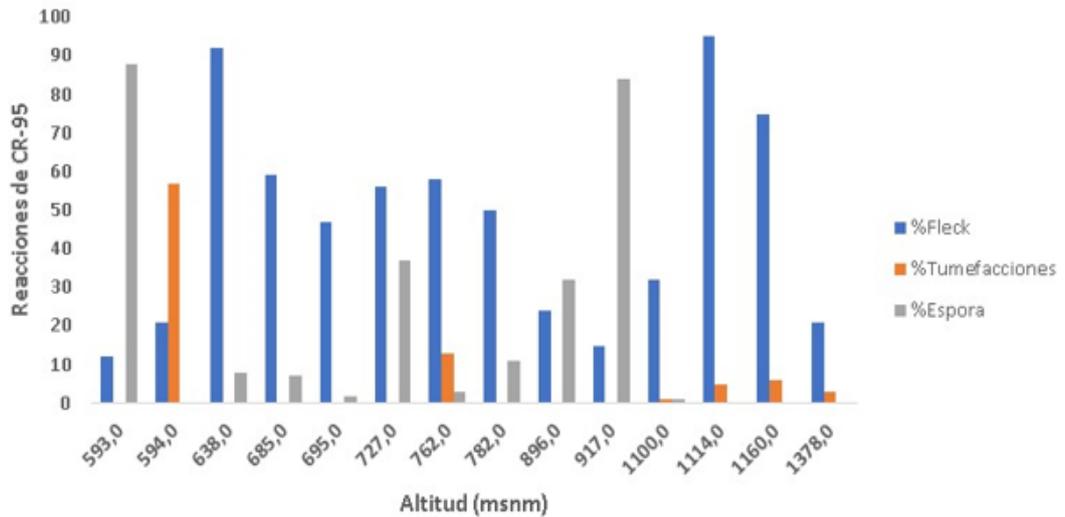


Figura 5. Reacciones de síntomas y signos en diferentes altitudes en la variedad CR-95

En la figura 6 se notar que en el grupo de los Sarchimores, el porcentaje de flecks no está directamente relacionado con la altitud, ya que, se observa que disminuye de los 750 a los 794 msnm y luego, aumenta a partir de 818. La tumefacción se ve en aumento de los 818 msnm a los 820 m.s.n.m. y luego disminuye, la esporulación no es significativa, porque presenta un porcentaje muy bajo.

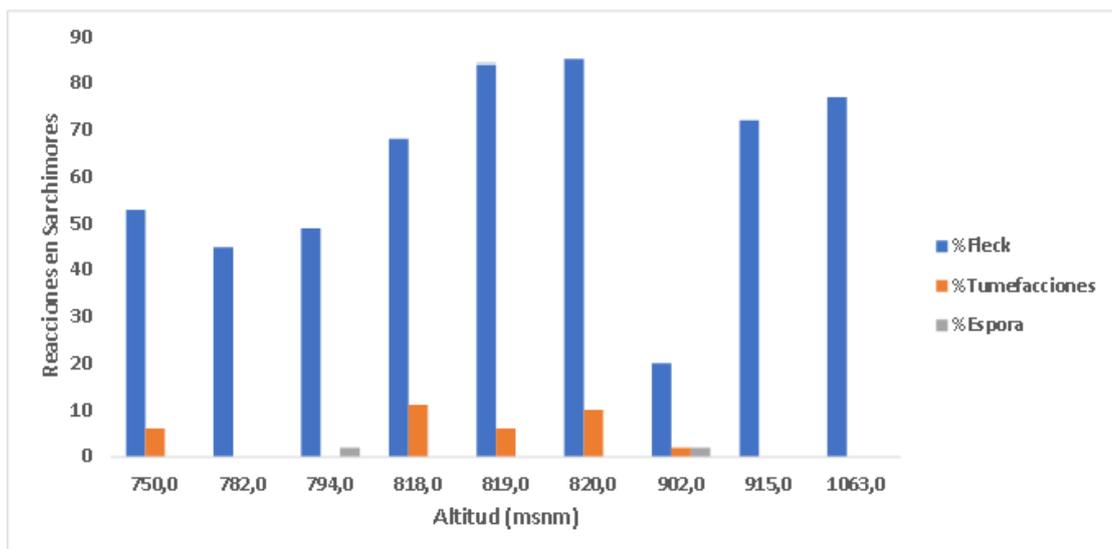


Figura 6. Porcentaje de síntomas y signos en grupo de los Sarchimores con relación a la altitud

En la figura 7 se puede observar que la variedad Lempira presenta su mayor proporción de esporas en alturas superiores a los 900 msnm, lo contrario ocurre con el porcentaje de flecks, que es mayor en altitudes menores a los 850 msnm, el porcentaje de tumefacción no es significativo, porque tiene una mínima proporción.

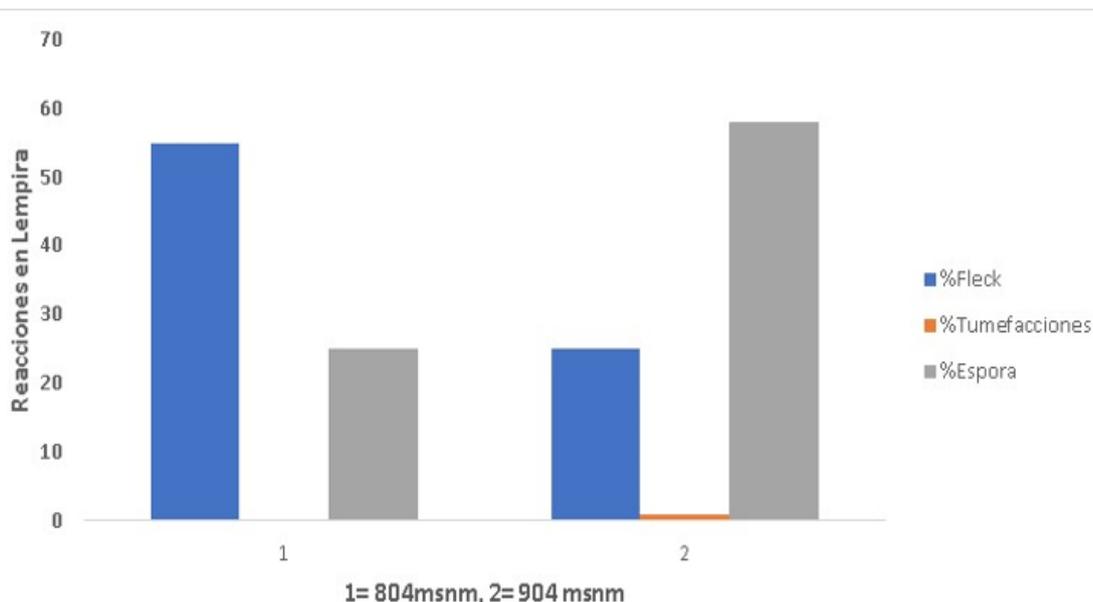


Figura 7. Porcentajes de síntomas y signos en la variedad Lempira en dos altitudes

En el grafico 8 se observa que las variedades CR-95, Lempira y T-8667 tienen un porcentaje de flecks superior a 48% y menos de 10% de tumefacción; de las tres, la que mayor proporción de espora presenta superando más de un 21% es la variedad Lempira. Las variedades Obatá, Castillo, Acawa y Cuscatlesco presentaron una proporción de flecks superior a 47%, menos de 15% de tumefacción y no presentan esporas. Las variedades Parainema y Monte bonito presentan menos de 40% de flecks, menos de un 5% de tumefacción y esporulación. La variedad Tupí presenta más de un 50% de flecks casi un 5% de tumefacción y menos de 5% de esporas.

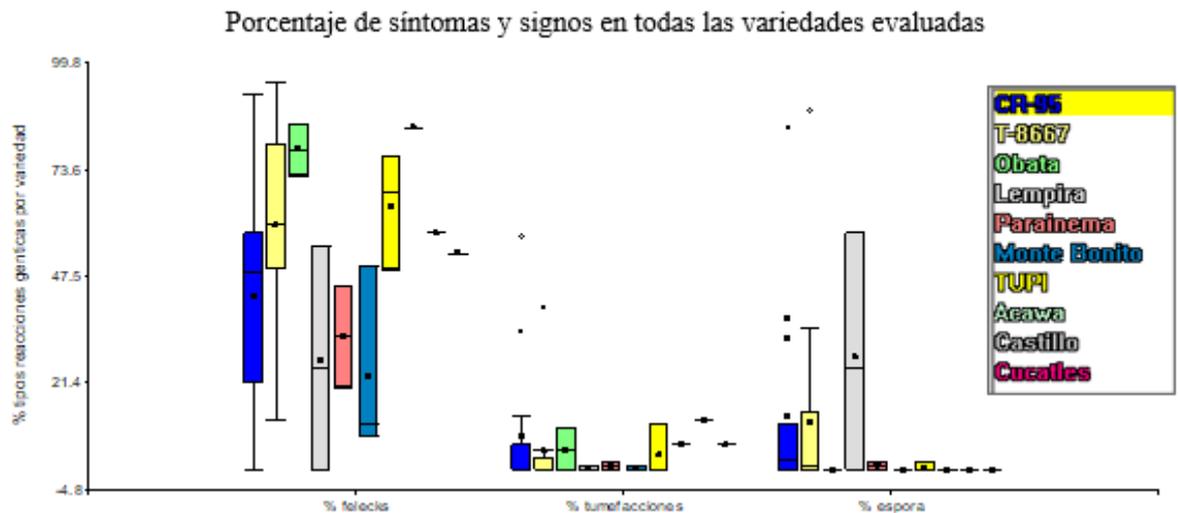


Figura 8. Reacciones presentadas por las variedades evaluadas a la roya del café.

f. ¿Cuáles variedades de café resistentes presentan mayor porcentaje de síntomas y signos de roya?

Según el análisis de covarianza, con las covariables de frecuencia de fertilización, edad, altitud y porcentaje de sombra la variedad que mostró mayor proporción de plantas con flecks fue la variedad Lempira (**ver cuadro 4**) y la que evidenció menor proporción fue la variedad Monte bonito.

Cuadro 6. Efecto de la variable flecks sobre las variedades de café resistentes

Variedad	PredLin	E.E.	Media	E.E.			
Lempira	7,60	1,38	1,00	6,9E-04	A		
Parainema	5,69	1,30	1,00	4,4E-03	B		
Acawua	2,82	1,13	0,94	0,06	C		
Tupí	2,54	1,13	0,93	0,08	C		
Obatá	2,49	1,10	0,92	0,08	C	D	
CR-95	1,80	1,14	0,86	0,14		D	E
T-8667	1,28	1,09	0,78	0,18			E
Castillo	0,46	1,13	0,61	0,27			F
Cucatlesco	-0,95	1,15	0,28	0,23			G
Monte bonito	-3,46	1,18	0,03	0,03			H

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Para la variable de tumefacción se evidencia que las variedades que mostraron mayor proporción de tumefacción fueron las variedades que se presentan en **negrita** en el

cuadro 5, desde Tupí hasta T-8667, y las que evidenciaron menor proporción fueron las variedades desde Lempira hasta Cuscatleco.

Cuadro 7. Efecto de la variable tumefacción sobre las variedades de café resistentes

Variedad	PredLin	E.E.	Media	E.E.		
Tupí	-3.14	1.13	0.04	0.04	A	
Obatá	-3.27	1.10	0.04	0.04	A	
Acawua	-3.72	1.15	0.02	0.03	A	
Parainema	-4.05	1.94	0.02	0.03	A	B
T-8667	-5.24	0.90	0.01	4.7E-03	A	B
Lempira	-5.34	2.74	4.8E-03	0.01	A	B
C						
Monte bonito	-6.28	2.49	1.9E-03	4.7E-03	A	B
C						
Castillo	-7.18	1.06	7.6E-04	8.1E-04		B
C						
CR-95	-7.51	1.10	5.5E-04	6.0E-04		
C						
Cucatlesco	-8.16	1.34	2.9E-04	3.8E-04		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Para la variable de esporas se demostró que las variedades que mostraron mayor proporción de espora fueron las variedades CR-95 seguida de T-8667 y Lempira y las que evidenciaron menor proporción fueron las variedades desde Parainema hasta Obatá.

Cuadro 8. Efecto de la variable espora sobre las variedades de café resistentes

Variedad	PredLin	E.E.	Media	E.E.	
CR-95	-5,29	1,67	5,0E-03	0,01	A
T-8667	-8,34	1,78	2,4E-04	4,3E-04	A
Lempira	-12,69	1,88	3,1E-06	5,8E-06	A
Parainema	-13,40	2,04	1,5E-06	3,1E-06	A
Tupí	-14,16	2,00	7,1E-07	1,4E-06	A
Cucatlesco	-17,82	1781,09	1,8E-08	3,2E-05	A
Obatá	-20,53	34,24	1,2E-09	4,2E-08	A
Acawua	-33,55	28674,48	0,00	7,7E-11	A
Castillo	-34,35	681519,65	0,00	8,3E-10	A
Monte bonito	-49,91	3874532,07	0,00	0,00	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

3.5. Efecto de la frecuencia de fertilización, variedad, altitud, edad de la plantación y la sombra sobre la presencia de síntomas y signos

En la figura 4 del análisis en componentes principales, se puede observar que la variedad Monte bonito está independiente de todas las variedades y es la que presenta menor proporción de plantas con síntomas y signos de roya. Por otro lado, se puede observar que, en relación con la variable de porcentaje de sombra, es evidente que las variedades más cercanas o afectadas son Cuscatleco y Acawua, estas a su vez están asociadas al porcentaje de plantas con flecks y tumefacciones. En cuanto a la frecuencia de fertilización está algo opuesta al porcentaje de plantas con esporas, la edad y la altitud, se puede observar que están más cercanas a las variedades Lempira y Monte bonito. Hay más plantas con presencia de esporas en las variedades de café CR-95 y T-8667.

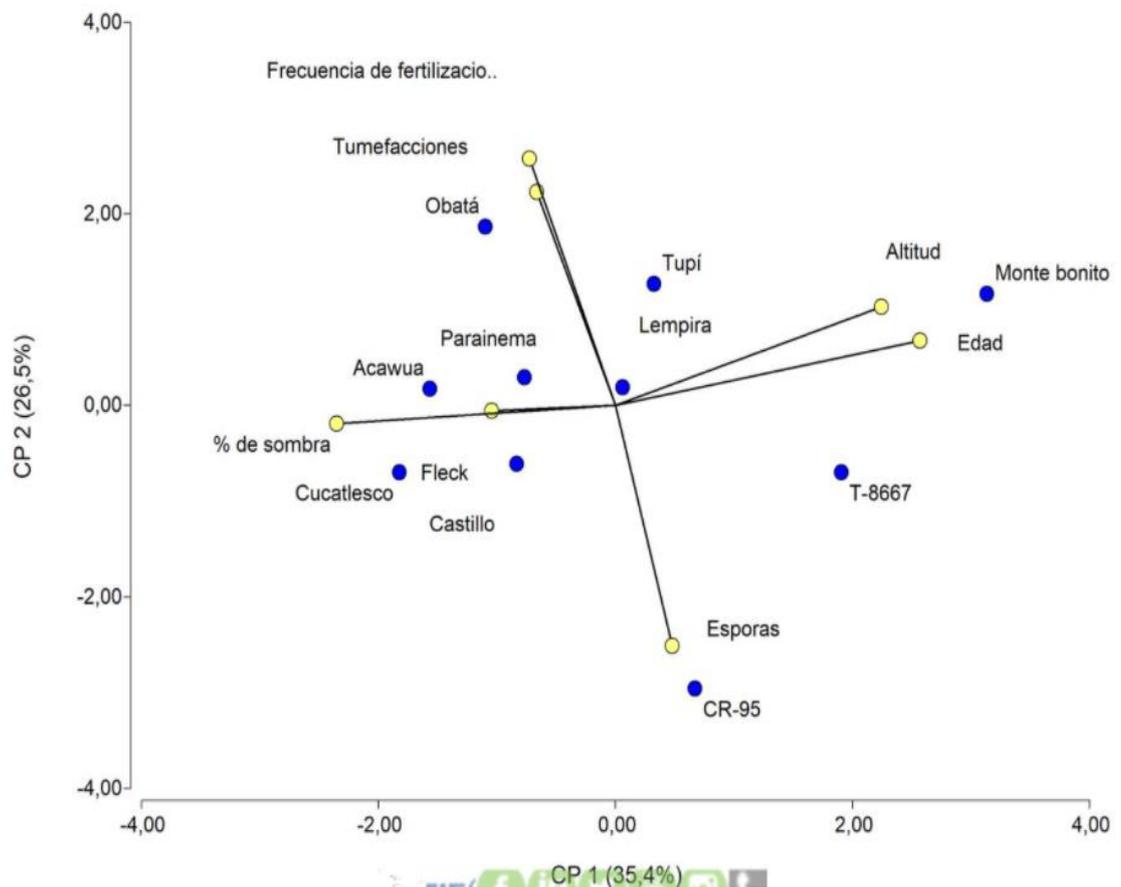


Figura 9. Análisis de componentes principales

4. Discusión

4.1. Presencia de síntomas y signos de roya en variedades de café resistentes

Según [Cristancho et al. \(2012\)](#). Estudios realizados con la roya (*Hemileia vastatrix*) en diferentes países, han permitido demostrar que el hongo ha evolucionado y desarrollado nuevas variantes genéticas (razas). En la India, por ejemplo, dos descendencias anteriormente inmunes, presentaron síntomas de que la resistencia fue superada por la roya del café ([Várzea 2013](#)). Otras investigaciones en Brasil han demostrado cómo variedades resistentes desarrolladas por los programas de mejoramiento genético ya han comenzado a presentar la enfermedad (([Sera et al. 2010](#))).

Otros materiales que fueron desarrollados con resistencia al hongo *H. vastatrix* fueron los híbridos F1 generado en colaboración de CATIE-CIRAD-PROMECAFE. De estos 20 híbridos F1 seleccionados, nueve de ellos provienen de progenitores que contienen genes de resistencia del híbrido de Timor, heredados del ancestro de *C. canephora* y presentes en catimores y sarchimores. ([Solano et al. 2019](#)) Este mismo autor expresa que varios de estos híbridos F1 presentaron resistencia a la roya por casi 20 años, hasta que recientemente algunos de ellos mostraron síntomas de roya. Debido a que la resistencia que poseen es vertical se podía predecir que esto llegaría a ocurrir.

Por otro lado, la presencia de pequeñas manchas y tumefacciones en hojas de café, ha sido estudiada por [Rodrigues Jr et al. \(1982\)](#) citado por [Eskes \(1982\)](#), según esta investigadora la inducción de manchas y pequeñas tumefacciones en las hojas del café, pueden ser obtenidas utilizando tres procedimientos: 1. La inoculación de raza avirulenta de *Hemileia vastatrix*, 2. Por la inoculación de una raza virulenta y posterior sometimiento al calor unos días después del café inoculado y 3. Por inoculación de algunas royas no patogénicas al café. El autor señala que estas manchas pueden ser producidas sin penetración del hongo y fundamenta su afirmación en el hecho de que el agua de lavado de uredosporas autoclavadas o envejecidas de *H. vastatrix* y de otras royas, al ser aplicadas en forma de gotas a las hojas de café indujeron el mismo tipo de manchas (pequeñas manchas y tumefacciones), 15 a 30 días después. De acuerdo con el autor de esta investigación, el hecho de la aparición de estas reacciones, cuando se inoculan royas no patogénicas al café, puede ser un indicativo de la producción de elicitores o sustancias naturales producidas por la planta que ayudan a evitar los daños causados por enfermedades y plagas.

[Kushalappa & Eskes \(1989\)](#) se refieren a las reacciones de *H. vastatrix* y los diferentes genotipos de café e indican que se ha sugerido que, en la formación de las tumefacciones, podrían estar involucrados factores promotores del crecimiento. La extensión de las tumefacciones puede variar mucho, involucrando a veces pequeñas alteraciones en el área de los estomas, como en las reacciones de **inmunidad**. Sin embargo, las tumefacciones pueden ser observadas en combinaciones compatibles de café y *H. vastatrix* en el punto de penetración con el crecimiento de colonias del hongo, fuera del área de tumefacción. Aparentemente pueden presentarse diferentes grados de la reacción de tumefacción diferente en genotipos diferentes de café.

Más tarde, [Bustamante et al. \(2000\)](#), analizaron 20 líneas de la variedad Bramón I evaluadas con relación a su resistencia a *Hemileia vastatrix*, en contrando que las líneas, en general, presentaron diferencias ($p \leq 0,06$) para el período de incubación; el inicio de los primeros síntomas de la enfermedad en las plantas evaluadas ocurrió entre 24 y 31 días después de la inoculación. Es decir, todas las líneas mostraron reacción de hipersensibilidad, aunque las lesiones sólo progresaron en algunas de ellas.

Al igual que en otros países de Latinoamérica y Centro América, donde se ha renovado con materiales de café resistentes, de los cuales han reportado que el hongo *Hemileia vastatrix* ha superado la resistencia de algunos de estos materiales, el presente estudio concuerda con los hallazgos de estos autores, ya que, fue posible evidenciar que la roya del café *Hemileia vastatrix*, ha logrado afectar algunas variedades de café resistentes introducidas al país, las cuales han presentado síntomas en casi todas las variedades evaluadas y en algunas de ellas la aparición de signos. Las variedades que mostraron mayor proporción de flecks fue Lempira seguida de Parainema y la que mostró menor proporción fue Monte bonito, en cuanto a los síntomas de tumefacción las variedades que presentaron mayor proporción fueron Tupí, Obatá, Acawua, Parainema y T-8667 y las que evidenciaron menor proporción fueron Lempira, Monte bonito, Castillo, CR-95 y Cuscatlesco. Los signos de roya estuvieron presentes, especialmente en tres de las variedades de mayor distribución en las plantaciones de café de la República Dominicana (CR-95, Lempira y T-8667) esto coincidió con los hallazgos del Instituto Hondureño del Café (IHCAFÉ), en mayo del 2017, el cual anunció que la variedad de café Lempira fue atacada por una nueva raza de roya, y por lo tanto, se concluyó que dicha variedad de café perdió la resistencia a la enfermedad, del mismo modo en el mes de enero de 2019, el Instituto de Café de Costa Rica (ICAFÉ) publicó que en una unidad productiva se encontraron plantas de la variedad CR-95 con esporas de roya (citado por ANACAFE 2019).

4.2. Efecto de la sombra y la altitud sobre la presencia de síntomas y signos de roya

El estudio del efecto de la sombra sobre la presencia de roya es complejo. Eso se puede ver con los resultados obtenidos de algunos autores ([Beer et al. 1997](#)) donde manifiestan que la enfermedad causa daños tanto a pleno sol como en plantaciones bajo sombra. Más tarde [Avelino et al. \(2015\)](#) muestra que el efecto de la sombra es discutible sobre el incremento de la enfermedad.

[López-Bravo et al. \(2012\)](#) encontraron mayor incidencia de roya bajo sombra en plantas con cargas fructíferas controladas, por lo que, sugiere que los procesos de pre-infección de germinación y penetración fueron favorecidos por la sombra, los cuales determinan la incidencia. Luego, [Brenes \(2016\)](#), en estudios complementarios, encontró que bajo sombra de cashá (*Chloroleucon eurycyclum*), cuando llueve, se favorece el proceso de dispersión, principalmente durante la noche. Esto concuerda con los resultados de [Boudrot et al. \(2016\)](#), quienes encontraron que la sombra en los días de lluvia favorece la dispersión de las uredosporas, ya que el agua se acumula en las hojas del árbol de sombra, formando gotas de agua más grandes, las cuales caen con mayor intensidad impactando las hojas y liberando las uredosporas que se encuentran en el envés.

[Segura \(2016\)](#) reportó mayor lavado de esporas en los tratamientos a pleno sol respecto a los de sombra. Lo anterior indica que se conservan más esporas bajo sombra ya que ésta intercepta el agua y al haber menos agua en la plantación se produce menor lavado comparado con condiciones a pleno sol, sin embargo, en esta investigación se pudo observar que la sombra está asociada al porcentaje de flecks, y tumefacción (y opuestas a altitud), esta a su vez varía en cuanto a número de estratos y especies, por lo que si se encuentra relación con la cobertura es porque hay otras características que pudieron afectar y no se encuentran en estos resultados.

Las variedades acawua, cucatlesco y castillo estarán con más sombra y a menor altura. Por lo que se puede sugerir que bajo sombra y a menor altura, por lo tanto, hay mejores condiciones para la germinación ([López-Bravo et al. 2012](#)) y por lo tanto, posibles cepas de roya con más factores de virulencia tienen mayor probabilidad de expresar su virulencia en estas condiciones.

4.3. Efecto de la frecuencia de fertilización en la presencia de síntomas y signos de roya

[Lamouroux et al. \(1995\)](#), reportaron que suelos con pH entre 4,7 y 6,5 y contenidos de materia orgánica por debajo del 3%, son más expuestos a la enfermedad de la roya anaranjada. En otro escenario, [Lagos-Molina \(2014\)](#), menciona que los elementos del suelo y la nutrición tienen varios efectos sobre la roya anaranjada, pero que en algunos casos la desfavorecen incrementando la resistencia fisiológica y el crecimiento del café (efecto dilución), el fósforo incorporado al suelo o el potasio, zinc y calcio aplicados foliarmente.

El efecto dilución de la enfermedad (relación entre hojas enfermas y el total de hojas), por la constante incorporación de hojas nuevas en la planta disminuye la incidencia de la enfermedad ([Fernandes et al. 2009](#)). En otro escenario (Avelino et al. 2006) encontraron que otro elemento que favorece el desarrollo de la roya mediante un menor crecimiento de las ramas del café es el hierro (Fe).

Villarreyna (2014), mediante encuestas a productores en Nicaragua, encontró una relación entre el nivel socioeconómico del productor, la intensidad de manejo y el nivel de afectación por roya, encontrando menor intensidad de roya en los productores de alto nivel socioeconómico, los cuales, en promedio realizaron como mínimo 2 aplicaciones de fertilizantes foliares y al suelo al año.

Por otro lado, Dordas (2008) y Avelino et al. (2011), establecieron que los parásitos biotróficos son favorecidos por altas concentraciones de nitrógeno (N) en la planta. Esto concuerda con lo encontrado por [Lagos-Molina \(2014\)](#), en Honduras donde hubo mayor incidencia de roya en plantaciones donde se aplicaron mayores cantidades de N al suelo.

En nuestra investigación se pudo observar que en el análisis de componentes principales se ve que la fertilización es algo opuesta a la esporulación por lo menos en la variedad CR-95 y está asociada a la tumefacción en la variedad Obatá.

Cabe destacar que es bueno hacer una investigación más profunda en torno a estos resultados para de esta manera tener un diagnóstico con más credibilidad, ya que, en esta investigación no se controló ninguna de las variables estudiadas.

5. Conclusiones

La sombra influye sobre la presencia de síntomas precursores de roya (flecks y tumefacción), que se encuentran mayor proporción bajo sombra (en rango de 50-60% de sombra) y a menor altitud.

La edad de la plantación está asociada a la altitud y opuesta al porcentaje de sombra, las variedades T-8667 y Monte bonito están más cercanas a la edad de la plantación.

La esporulación está opuesta a la frecuencia de fertilización, se encuentran mayor cantidad de esporas con menores frecuencia de fertilización.

A menor altitud están las mejores condiciones para que se expresen las nuevas razas, por lo tanto, se puede observar la presencia de síntomas precursores. Lo mejor es utilizar materiales que no muestren ningún tipo de síntomas y signo.

La variedad CR-95 presentó síntomas de hipersensibilidad (flecks y tumefacciones) y también de susceptibilidad con presencia de lesiones esporuladas. La variedad T-8667 también presentó todas las reacciones, sin embargo, tuvo menos reacciones de susceptibilidad que la Costa Rica 95. La variedad Lempira presentó la mayor cantidad de reacciones de susceptibilidad o presencia de lesiones con esporas, mientras que las variedades del grupo de los Sarchimores, Obata, Acawa, Tupi, Parainema y Cuscatleco, solo en las variedades Tupi y Obata se encontraron reacciones con esporas

6. Recomendaciones

- Para reducir la presencia de síntomas precursores de roya en las plantaciones de café, se recomienda hacer prácticas de poda de los árboles de sombra para garantizar un porcentaje de sombra adecuado. A fin de reducir los daños causados por la roya del café, se sugiere mantener porcentajes de sombra, con podas anuales, entre 35 y 50% para las zonas altas (>800 m.s.n.m.).
- Para tener mejor productividad y mejores rendimientos en las plantaciones de café de menor altitud y más de 15 años, se recomienda el manejo de tejido o fomento de nuevas plantas que pueden prosperar con menor cantidad de sombra.
- Profundizar más en cuanto a fertilización, ya que, se pudo observar mayor cantidad de esporas con menores frecuencia de fertilización, lo mejor sería establecer parcelas demostrativas para hacer comparaciones y así, obtener mejores resultados en torno a esta pregunta.
- Establecer las plantaciones en alturas superiores a los 800 msnm para evitar la aparición de los síntomas precursores que son característicos de la presencia de una nueva raza de roya.
- Seguir propagando la variedad Monte bonito, ya que fue la que presentó menor proporción de síntomas y signos de roya, sin embargo, es necesario seguir analizando las variedades CR-95, Lempira y T 8667 acompañadas de prácticas

culturales como podas, aplicación de fungicidas etc., para poder corroborar los resultados obtenidos, y así despejar cualquier duda.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrios, G. 1998. Fitopatología. 2 ed. México, Editorial Limusa. 11-12 p. (Fisiología de las enfermedades de las plantas).
- Avelino, J; Eskes, A; Santacreo, R; Bertrand, B; Rapidel, B. 1999. La roya anaranjada del cafeto: mito y realidad. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. IICA, San José (Costa Rica). PROMECAFE CIRAD, París (Francia).
- Avelino, J; Willocquet, L; Savary, S. 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics *Plant pathology* 53(5):541-547.
- Avelino, J; Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del cafeto.
- Avelino, J; Cristancho, M; Georgiou, S; Imbach, P; Aguilar, L; Bornemann, G; Läderach, P; Anzueto, F; Hruska, AJ; 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.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1997. Shade management in coffee and cacao plantations *Agroforestry systems* 38(1):139-164.
- Boudrot, A; Pico, J; Merle, I; Granados, E; Vilchez, S; Tixier, P; Filho, EdMV; Casanoves, F; Tapia, A; Allinne, C. 2016. Shade effects on the dispersal of airborne *Hemileia vastatrix* uredospores *Phytopathology* 106(6):572-580.
- Brenes, L. 2016. Efectos de la sombra de cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) sobre los procesos de colonización, esporulación y dispersión aérea de la roya (*Hemileia vastatrix*) sobre plantas de café (*Coffea arabica*) en la zona de Turrialba. Tesis Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Bustamante, J; Cárdenas, A; Casanova, C; Yáñez, J; Garnica, R; Figueroa; Marín. 2000. Évaluation de la stabilité du rendement de lignes de café (*Coffea arabica* L.) résistant a la rouille à Mérida, Venezuela. VII Journées scientifiques Agro-Montpellier “Des Modeles Biologiques a l’amélioration des plantes”. Montpellier, Francia: 3-5 juillet, Resúmenes. 24 p.
- CEPAL, CEpALyC; INDOCAFE, IDdCCNpeCCyMdDLC. 2018. Café y cambio climático en la República Dominicana • Impactos potenciales y opciones de respuesta. LC/MEX/TS.2018/24, Ciudad de México.
- Codocafe. 2012. Serie Histórica De La Producción, Exportación Y Divisas Del Café Dominicano Años Cafeteros Del 1939-1940 Al 2009-2010. Santo Domingo.
- Cristancho, M; Rozo, Y; Escobar, C; Rivillas, C; Gaitán, A. 2012. Outbreak of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in Colombia *New Disease Reports* 25(19):2044-0588.2012.
- Eskes, A. 1982. The effect of light intensity on incomplete resistance of coffee to *Hemileia vastatrix* *Netherlands Journal of Plant Pathology* 88(5):191-202.
- Fernandes, RdC; Evans, HC; Barreto, RW. 2009. Confirmation of the occurrence of teliospores of *Hemileia vastatrix* in Brazil with observations on their mode of germination *Tropical Plant Pathology* 34(2):108-113.
- Hirons, M; Mehrabi, Z; Gonfa, T; Morel, A; Gole, T; McDermott, C; Boyd, E; Robinson, E; Sheleme, D; Malhi, Y. 2018. Pursuing climate resilient coffee in Ethiopia—A critical review *Geoforum* 91:108-116.

- ICO. 2013. Informe sobre el brote de la roya del café en Centroamérica y plan de acción para combatir la plaga. Organización Internacional del Café. 1-7 p.
- Jiménez, H; Galtier, F; Del Rosario, PJ; López, J; Valverde, L. 2007. Mercado interno del café en la República Dominicana. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF).
- Kushalappa, AC; Eskes, AB. 1989. Advances in coffee rust research Annual review of phytopathology 27(1):503-531.
- Lagos-Molina, SM. 2014. Efecto de la condición química del suelo y de la fertilización sobre la incidencia, severidad y resistencia fisiológica de plantas de café a la roya (*Hemileia vastatrix*). Tesis CATIE.
- Lamouroux, N; Pellegrin, F; Nandris, D; Kohler, F. 1995. The *Coffea arabica* fungal pathosystem in New Caledonia: interactions at two different spatial scales Journal of Phytopathology 143(7):403-413.
- López-Bravo, DF; Virginio-Filho, EdM; Avelino, J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions Crop Protection 38:21-29.
- McCook, S. 2006. Global rust belt: *Hemileia vastatrix* and the ecological integration of world coffee production since 1850 Journal of Global History 1(2):177-195.
- Montagnini, F; Somarriba-Chávez, E; Murgueitio, E; Fassola, H; Eibl, B. 2015. Serie técnica. Informe técnico/CATIE, no. 402. Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales.(ISBN 978-958-9386-74-3.):
- Panstruga, R. 2003. Establishing compatibility between plants and obligate biotrophic pathogens Current opinion in plant biology 6(4):320-326.
- Rodrigues Jr, C; Rijo, L; Medeiros, E. 1982. Induction of flecks and tumefactions on coffee leaves by incompatible and compatible, viable and non-viable uredospore of *Hemileia vastatrix* and other rusts, and by their leachates Garcia de Orta. Série Estudos Agronomicos, Lisboa 9:105-110.
- Segura, B. 2016. Efecto de la sombra en el cultivo del café sobre los procesos de esporulación, la dispersión a través de agua y la deposición, de *Hemileia vastatrix*. Turrialba, Costa Rica. Tesis de maestría. CATIE.
- Sera, GH; Sera, T; de Batista Fonseca, IC; Ito, DS. 2010. Resistance to leaf rust in coffee cultivars Coffee Science 5(1):59-66.
- Solano, W; Dessauw, D; Cerda, R; Virginio Filho, EdM; Somarriba Chavez, E; Avelino, J. 2019. Híbridos F1 de café, resistencia a la roya y estrategias a futuro.
- Soto-Pinto, L; Perfecto, I; Caballero-Nieto, J. 2002. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico Agroforestry systems 55(1):37-45.
- Várzea, V. 2013. Avances del conocimiento sobre las razas de Roya del Cafeto, con énfasis en la caficultura de Latinoamérica. In. Foro Regional sobre la Roya del Café en Mesoamérica. Proyecto CATIE-CIRAD-PROMECAFE/NORUEGA, Octubre 8-10, 2013, Turrialba (Costa Rica). Instituto de Investigação Científica Tropical, Oeiras (Portugal).

8. Anexos

Anexo 1. Foto de síntoma de tumefacción de roya

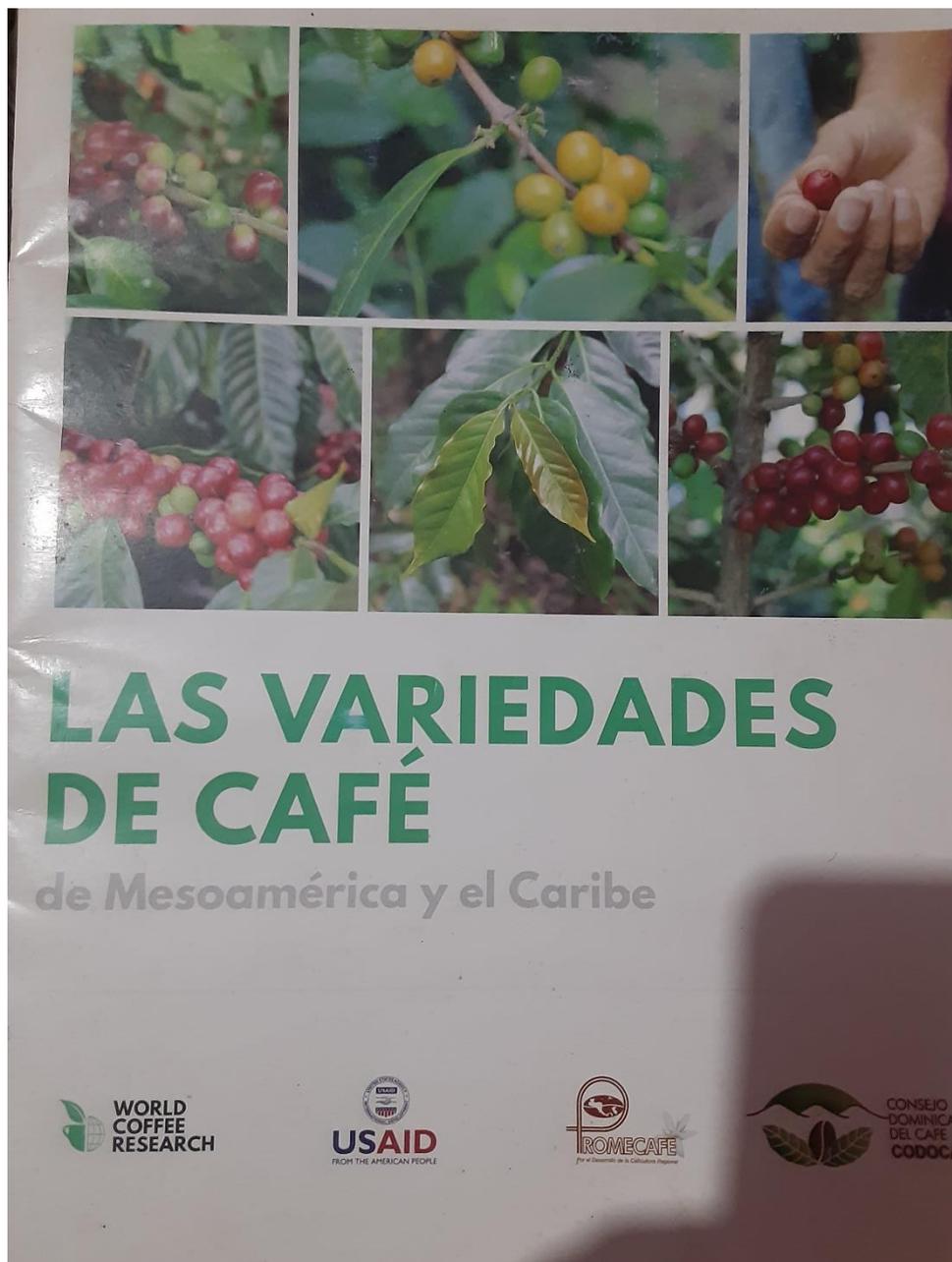




FECHA DE EVALUACIÓN _____ PROVINCIA _____
MUNICIPIO _____ AREA CAFETALERA _____
REGIONAL _____ PRODUCTOR _____
VARIEDAD _____ LATITUD _____
LONGITUD _____ ALTITUD _____ EDAD DEL
CAFETAL _____ % SOMBRA _____ PROM. DE PRESIPITACIONES
TEMP. PROM. DE LA ZONA _____ HUM. REL. _____

PLANTA	Signos y Síntoma	OBSERVACIONES
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		

Anexo 3. Catálogo de variedades de café resistente



Anexo 4. Signos de esporulacion de la roya del café





Anexo 5. Sintoma de flecks de la roya del café

