



Por un Desarrollo
Agrario Integral y
Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMIA

MAESTRÍA EN SANIDAD VEGETAL

Trabajo de Graduación

Ocurrencia de daño de *Hypothenemus hampei*
Ferrari (Coleoptera: Curculionidae) e incidencia
de *Hemileia vastatrix* (Berkeley & Broome) en el
período 2015-2018 en Matagalpa

AUTOR

Ing. Byron José Castillo Lumbí

ASESOR

Dr. Jorge Ulises Blandón Díaz

Managua, Nicaragua
Febrero 2019



Por un Desarrollo
Agrario Integral y
Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMIA

MAESTRÍA EN SANIDAD VEGETAL

Trabajo de Graduacion

Ocurrencia de daño de *Hypothenemus hampei* Ferrari
(Coleoptera: Curculionidae) e incidencia de *Hemileia*
vastatrix (Berkeley & Broome) en el período 2015-
2018 en Matagalpa

AUTOR

Ing. Byron José Castillo Lumbí

ASESOR

Dr. Jorge Ulises Blandón Díaz

Managua, Nicaragua

Febrero 2019

Hoja de aprobación del Tribunal Examinador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Tribunal Examinador designado por el Decanato de la Facultad de Agronomía como requisito parcial para optar al título profesional de:

Maestro en Ciencias en Sanidad Vegetal

Miembros del Tribunal Examinador

Presidente

Secretario

Vocal

Lugar y Fecha: _____

INDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1. Ubicación del estudio	4
3.2. Diseño metodológico	5
3.3. Variables evaluadas	6
3.4. Recolección de datos	6
3.5. Análisis de datos	7
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	8
4.1. Ocurrencia de daño de la broca del café	8
4.1.1. Ocurrencia de daño de la broca del café en el año 2015	8
4.1.2. Ocurrencia de daño de la broca del café en el año 2016	12
4.1.3. Ocurrencia de daño de la broca del café en el año 2017	15
4.1.4. Ocurrencia de daño de la broca del café en el año 2018	18
4.2. Incidencia de la roya del café	24
4.2.1. Incidencia de roya en el año 2015	25
4.2.2. Incidencia de roya en el año 2016	26
4.2.3. Incidencia de roya en el año 2017	29
4.2.4. Incidencia de roya en el año 2018	31
4.3. Relacion entre variables climáticas, infestación de broca e incidencia de roya	36
4.3.1. Relacion entre variables climáticas e infestación de broca	39
4.3.2. Relacion entre variables climáticas e incidencia de roya	41
V. CONCLUSIONES	47
VI. RECOMENDACIONES	48

VII. LITERATURA CITADA

49

VIII. ANEXOS

53

DEDICATORIA

Dedico éste trabajo primeramente a nuestro Dios santísimo por permitir la vida la salud, fortaleza y capacidad para la realización de este trabajo.

A mi madre Norma del Carmen Lumbi Maradiaga, esposa Marisela Rodriguez y a mis hijos todos por haberme brindado su apoyo incondicional y así llegar a concluir mi meta.

A mis compañeros de trabajo en especial a Jose Anibal Orodñez, Alcides Moncada y Alba Nidia Jimenez que fueron mis motivadores para terminar mis estudios

,
De manera especial a mis profesores Dr. Jorge Ulises Blandon Díaz y Dr. Edgardo Jimenez Martínez por su tiempo dedicado y sus enseñanzas diarias de formación y disciplina para concluir con mis estudios superiores.

Ing. Byron Jose Castillo Lumbi

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a DIOS nuestro señor por darme la salud, entendimiento y fortaleza durante la realización de este trabajo

A mi asesor Dr. Jorge Ulises Blandon Diaz que me brindó todo su apoyo y orientación hasta la finalización de este trabajo.

Al Staff de profesores que compartieron el conocimiento (UNA)

Agradezco al IPSA (Instituto de Sanidad y Protección Agropecuaria) por el financiamiento de mis estudios.

A todas aquellas personas (compañeros de trabajo) que de una otra forma me brindaron su apoyo especial, mención especial para el maestro, amigo, compañero y mentor en unas de mis etapas de aprendizaje el MSc. Samuel Avendaño Laguna (q.e.p.d) supervisor del Instituto de Protección y Sanidad Agropecuria(IPSA).

Ing. Byron Jose Castillo Lumbi

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Localización geográfica, características de suelo, de clima y altura de los seis municipios de Matagalpa incluidos en el estudio	4
2.	Información de las 15 fincas seleccionadas en el estudio, la cual incluye altura (msnm), superficie ocupada con café y coordenadas geográficas	5
3.	Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [Log (Y + 1)] de la ocurrencia de daño de broca en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el último semestre (junio-diciembre) del año 2015	10
4.	Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [Log (Y + 1)] de la ocurrencia de daño de broca en el período junio-diciembre del año 2015	11
5.	Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [Log (Y + 1)] de la ocurrencia de daño de broca en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el año 2016	13
6.	Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [Log (Y + 1)] de la ocurrencia de daño de broca en el período enero-diciembre del año 2016	14
7.	Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [arcoseno $\sqrt{(Y/100)}$] de la ocurrencia de daño de broca en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el año 2017	16
8.	Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [arcoseno $\sqrt{(Y/100)}$] de la ocurrencia de daño de broca en el período enero-diciembre del año 2017	17
9.	Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [$\sqrt{(Y+0.5)}$] de la ocurrencia de daño de broca en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el año 2018	19
10.	Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [$\sqrt{(Y+0.5)}$] de la ocurrencia de daño de broca en el período junio-diciembre del año 2015	20

CUADRO	PÁGINA
11. Comparación de los valores promedios sin transformar (%) y con transformación $[\sqrt{(Y+0.5)}]$ de la ocurrencia de daño de broca en tres períodos de evaluación	22
12. Comparación de los valores promedios de incidencia de roya sin transformar (%) y con transformación $[\sqrt{(Y+0.5)}]$ en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el último semestre (junio-diciembre) del año 2015	26
13. Comparación de los valores promedios de incidencia de roya sin transformar (%) y con transformación $[\text{arcoseno}\sqrt{(Y/100)}]$ en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el año 2016	28
14. Comparación de los valores promedios de incidencia sin transformar (%) y con transformación $[\text{arcoseno}\sqrt{(Y/100)}]$ en el período enero-diciembre del año 2016	28
15. Comparación de los valores promedios de incidencia de roya sin transformar (%) y con transformación $[\sqrt{(Y+0.5)}]$ en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el año 2018	32
16. Comparación de los valores promedios de incidencia sin transformar (%) y con transformación $[\sqrt{(Y+0.5)}]$ en el período enero-junio del año 2018	32
17. Correlación entre incidencia (%) de roya y variables climáticas de temperatura (°C), humedad relativa (%) y precipitación (mm) en el período 2016-2017	42
18. Correlación entre incidencia (%) de roya y variables climáticas de temperatura (°C), humedad relativa (%) y precipitación (mm) en el período 2017-2018	45

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.	Vista satelital de un área de muestreo en el cual se aprecia el esquema de “guardia griega” utilizado para la recolección de datos de broca y roya en una hectárea de café	6
2.	Porcentaje promedio de infestación de broca en 15 fincas evaluadas en el año 2015	9
3.	Porcentaje promedio de infestación de broca por mes en el año 2015 en 15 fincas del departamento de Matagalpa	11
4.	Porcentaje promedio de de infestación de broca en 15 fincas evaluadas en el año 2016	12
5.	Porcentaje promedio de infestación de broca (%) por mes en el año 2016 en 15 fincas del departamento de Matagalpa	14
6.	Porcentaje promedio de infestación de broca en 15 fincas evaluadas en el año 2017	15
7.	Porcentaje promedio de infestación de broca por mes en el año 2017 en 15 fincas del departamento de Matagalpa	17
8.	Porcentaje promedio de infestación de broca en 15 fincas evaluadas en el año 2018	18
9.	Porcentaje promedio de infestación de broca por mes en el año 2018 en 15 fincas del departamento de Matagalpa	20
10.	Porcentaje promedio de infestación de broca observados en tres períodos de evaluación en 15 fincas del departamento de Matagalpa	21
11.	Curvas de infestación de broca observadas en tres períodos de evaluación en 15 fincas del departamento de Matagalpa	23
12.	Porcentaje promedio de incidencia de roya en 15 fincas evaluadas en el año 2015	25
13.	Porcentaje promedio de incidencia de roya en 15 fincas evaluadas en el año 2016	27

FIGURA	PÁGINA
14. Porcentaje promedio de incidencia por mes en el año 2016 en 15 fincas del departamento de Matagalpa	29
15. Porcentaje promedio de incidencia de roya en 15 fincas evaluadas en el año 2017	30
16. Porcentaje promedio de incidencia por mes en el año 2017 en 15 fincas del departamento de Matagalpa	30
17. Incidencia promedio de roya en 15 fincas evaluadas en el año 2018 en seis municipios de Matagalpa	31
18. Porcentaje promedio de incidencia por mes en el año 2018 en 15 fincas del departamento de Matagalpa	33
19. Porcentaje promedio de incidencia de roya observados en tres períodos de evaluación en 15 fincas del departamento de Matagalpa	34
20. Comportamiento de las curvas de progreso de incidencia de roya en 15 fincas del departamento de Matagalpa en tres períodos evaluados	35
21. Fluctuación de la temperatura (T°C), humedad relativa (%) y precipitación (mm) en el período 2015-2016 en el departamento de Matagalpa	37
22. Fluctuación de la temperatura (T°C), humedad relativa (%) y precipitación (mm) en el período 2016-2017 en el departamento de Matagalpa	38
23. Fluctuación de la temperatura (T°C), humedad relativa (%) y precipitación (mm) en el período 2017-2018 en el departamento de Matagalpa	39
24. Relación entre la infestación (%) de broca del café (<i>Hypothenemus hampei</i>) y la temperatura promedio en el periodo 2017-2018	40
25. Relación entre la incidencia (%) de roya (<i>Hemileia vastatrix</i>) y la temperatura promedio en el periodo 2015-2016	41
26. Relación entre la incidencia (%) de roya (<i>Hemileia vastatrix</i>) y la temperatura promedio en el período 2016-2017	43
27. Relación entre la incidencia (%) de roya (<i>Hemileia vastatrix</i>) y la precipitación promedio en el período 2016-2017.	43

FIGURA		PÁGINA
28.	Relación entre la incidencia (%) de roya (<i>Hemileia vastatrix</i>) y la humedad relativa promedio en el período 2016-2017	44
29.	Relación entre la incidencia (%) de roya (<i>Hemileia vastatrix</i>) y la temperatura promedio en el período 2017-2018	45
30.	Relación entre la incidencia (%) de roya (<i>Hemileia vastatrix</i>) y la humedad relativa promedio en el período 2017-2018	46

INDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Vista satelital de la ubicación de las 15 fincas seleccionadas en seis municipios del departamento de Matagalpa	53
2.	Monitoreo de roya y broca en una hectárea de café utilizando la metodología de guardia griega	54
3.	Grano de café con daño de broca (<i>Hypothenemus hampei</i>)	55
4.	Hoja de café con signos y síntomas de roya (<i>Hemileia vastatrix</i>)	56
5.	Realizando monitoreo de broca y roya con el dispositivo utilizando el SAT CAFÉ	57

RESUMEN

El café es la mercancía agrícola más importante con un valor estimado de venta de 70 billones de dólares. El café en Nicaragua, es cultivado por aproximadamente 43,182 productores, lo que representa un área de 163,040 manzanas. La broca (*Hypothenemus hampei*) y la roya del café (*Hemileia vastatrix*) son las plagas más importantes para este cultivo. Por consiguiente, el presente estudio se llevó a cabo con el fin de contribuir en el fortalecimiento del sistema de producción de café mediante la generación de información sobre la ocurrencia de daño de la broca del café y la incidencia de roya en seis municipios del departamento de Matagalpa en el período 2015-2018. Se incluyeron 15 fincas distribuidas en los seis municipios mencionados. En cada finca se tomó una hectárea en la cual se seleccionaron 30 plantas, en las cuales se evaluó la incidencia de roya y la infestación de broca utilizando la herramienta de muestreo SATCAFE. Se registraron variables climáticas las cuales se correlacionaron con la incidencia de roya e infestación de broca. Las variables antes descritas se evaluaron por cada finca y por mes durante el período 2015-2018. Los porcentajes de infestación de broca fueron bajos en el período evaluado. Se observó una tendencia de aumento de los porcentajes de infestación en el período 2017-2018. La incidencia de roya tuvo una tendencia de disminución en el período 2017-2018. En el período 2017-2018 se encontró una correlación negativa alta y significativa entre la temperatura y la infestación de broca. En el período 2016-2017, se encontró correlación altamente significativa entre la incidencia de roya y la temperatura, humedad relativa y precipitación. La infestación de broca no sobrepasó el umbral de daño, mientras que la roya si lo superó. Se deben tomar medidas para evitar daños mayores de estas dos plagas.

Palabras claves: SATCAFE, infestación de broca, variables climáticas, roya del café

ABSTRACT

Coffee is the most important agricultural commodity with an estimated sale value of 70 billion dollars. Coffee in Nicaragua is cultivated by approximately 4382 producers, which represents an area of 163,040 manzanas. The coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) and coffee rust (*Hemileia vastatrix*) are the most important pests for this crop. Therefore, the present study was carried out in order to contribute to the strengthening of the coffee production system through the generation of information on the occurrence of the coffee berry borer damage and coffee rust incidence in six municipalities of the department of Matagalpa in the period 2015-2018. Fifteen farms distributed in the six municipalities mentioned were included. In each farm a hectare was taken in which 30 plants were selected, in which rust incidence and coffee borer infestation was evaluated using the SATCAFE sampling tool. Climatic variables were recorded which were correlated with rust incidence and coffee borer infestation. The variables described above were evaluated by each farm and by month during the period 2015-2018. Percentages of coffee borer infestation were low in the evaluated period. There was a tendency of increase of the coffee borer infestation in the period 2017-2018. The rust incidence had a decreasing trend in the period 2017-2018. In the period 2017-2018 a high and significant negative correlation between temperature and coffee borer infestation was found. In the 2016-2017 period, a highly significant correlation was found between rust incidence and temperature, relative humidity and precipitation. Coffee berry borer infestation did not exceed the damage threshold, while rust incidence exceeded it. Measures must be taken to avoid further damage due to these two pests.

Keywords: SATCAFE, coffee berry borer infestation, climatic variables, coffee rust

I. INTRODUCCIÓN

El café es la mercancía agrícola más importante con un valor estimado de venta de 70 billones de dólares. Es un producto crucial para la economía de más de 60 países y es la principal fuente de ingreso para más de 100 millones de personas (Hoffmann, 2014; ICO, 2016).

El café en Nicaragua, es cultivado por aproximadamente 43,182 productores, lo que representa un área de 163,040 manzanas (MAGFOR, 2012). Las exportaciones de café del ciclo 2011-2012 fueron de 119,193 toneladas métricas (aproximadamente 2 622 246 qq de café oro), generando en divisas US\$ 521.8 millones de dólares americanos; el precio FOB promedio en 2012 fue 198.58 \$/qq oro (MIFIG-DGCE, 2012). Se estima que el café genera aproximadamente unos 332 mil empleos, directos e indirectos (FUNIDES, 2012).

En el país, el café se cultiva en la zona Norte, Central y Pacífico; sin embargo, las condiciones agroecológicas favorables para el cultivo, lo presentan los departamentos de Jinotega, Matagalpa y Nueva Segovia, aproximadamente 70% del área cultivada y 85% de la producción nacional de café (IICA, 2004). El Pacífico Nicaragüense, Managua, Masaya Carazo y Granada aportan a la producción nacional de café 7% (CENAGRO 2013).

Además del manejo agronómico ineficiente de las plantaciones de café, también existe un manejo inadecuado de los problemas fitosanitarios (enfermedades fungosas, insectos, nematodos fitopatógenos) en el cultivo de café. El café en Nicaragua es afectado principalmente por enfermedades fungosas tales como la roya (*Hemileia vastatrix*), la antracnosis (*Colletotrichum* spp), la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) y en menor grado por el ojo de gallo (*Mycena citricolor*). Los nematodos, fundamentalmente de los géneros *Meloidogyne* spp y *Pratylenchus* spp, constituyen también un importante grupo de patógenos que causan serias afectaciones al café (Guharay *et al.*, 2000).

La broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae), es una de las plagas más severas para este cultivo, y se encuentra presente en la mayoría de las regiones productoras del grano en el mundo. La broca hace daño al atacar la cereza y reproducirse

internamente en el endospermo causando la pérdida parcial o total del grano, y en muchos casos, la caída prematura de los granos (Mejía, 1998).

Recientemente, la roya ha cobrado notoriedad debido a una epidemia grave y generalizada en América Central, Colombia, Perú y Ecuador, como resultado de la convergencia de varios factores agronómicos, climáticos y económicos (Avelino *et al.*, 2015; Cressey, 2013; Roza *et al.*, 2012). Las pérdidas de rendimiento fueron de hasta el 35%, con un impacto directo en los ingresos y el sustento de cientos de miles de agricultores y trabajadores (Talhinhas *et al.*, 2017).

La cuantificación de pérdidas en el rendimiento de cultivos perennes como el café es complejo debido al patrón bianual típico de producción caracterizado por un ciclo repetitivo de alta producción en un año y de baja producción en el siguiente año (DaMatta *et al.*, 2007; Smith y Samach, 2013) y la presencia sostenida de plagas y enfermedades a lo largo de los años, lo cual es un aspecto muy particular en los climas tropicales, en los cuales no hay una temporada fría bien marcada para interrumpir el ciclo de vida de las plagas y enfermedades y donde los órganos susceptibles de las plantas de café, especialmente las hojas y frutos, está casi siempre disponibles (Cerdeira *et al.*, 2017).

A partir del 2014, se empiezan a utilizar las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en el Departamento de Vigilancia Fitosanitaria y Campañas, con el apoyo de FAO. Los Sistemas SIMDIA (Sistema de Monitoreo de *Diaphorina*) y el SATCAFE (Sistema de Alerta Temprana en Café), desarrollados por FAO, han demostrado que pueden ayudar a la optimización de los recursos económicos y humanos. En el presente estudio se hizo uso del sistema SATCAFE para recolectar información en tres períodos del ciclo productivo de café (2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018) a fin de determinar los porcentajes de infestación de broca e incidencia roya en 15 fincas distribuidas en seis municipios del departamento de Matagalpa y su relación con las condiciones climáticas de temperatura, humedad relativa y precipitación que prevalecieron en esos tres períodos.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Contribuir en el fortalecimiento del sistema de producción de café mediante la generación de información sobre la ocurrencia de daño de la broca del café y la incidencia de roya en seis municipios de Matagalpa.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar la ocurrencia de daño de la broca del café en seis municipios del Departamento de Matagalpa.
- Determinar la incidencia de roya del café en seis municipios del Departamento de Matagalpa.
- Establecer la relación existente entre variables climáticas, ocurrencia de broca e incidencia de roya en el cultivo de café.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio que se presenta a continuación se enmarca dentro de la *investigación cuantitativa no experimental*; es *descriptivo comparativo* porque se compara la ocurrencia de infestación de broca del café (*Hypothenemus hampei*) e incidencia de roya (*Hemileia vastatrix*) en 15 fincas distribuidas en seis municipios del departamento de Matagalpa; es *correlacional* porque en el se establece la relación o el grado de asociación que se encontró entre la ocurrencia de infestación de broca e incidencia de roya con variables climáticas tales como temperatura, humedad relativa y precipitación; es *propectivo* porque la información se fue recolectando a medida que los dos eventos a registrar (infestación de broca e incidencia de roya) fueron sucediendo; y es un *estudio longitudinal* porque la información requerida se recolectó en el período 2015-2018 (Hernández Sampieri *et al.*, 2010).

3.1. Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en seis municipios del departamento de Matagalpa (Matagalpa, San Ramón, La Dalia, Rancho Grande, San Dionisio y Esquipulas), el cual se localiza en la zona norte de Nicaragua. Las coordenadas, tipo de suelo, temperatura promedio, precipitación promedio y altura de cada uno de los municipios incluidos en el presente estudio se encuentran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Localización geográfica, características de suelo, de clima y altura de los seis municipios de Matagalpa incluidos en el estudio.

Municipios	Geo referencia		Tipo de Suelo	Temperatura	Precipitación	Altura msnm
	Latitud	Longitud				
Matagalpa	12°55'00" N	085°55'00" O	Franco Arcilloso	20	1799	680
San Ramón	12°55'00" N	085°50'00" O	Franco Arcilloso	22	2000	618
La Dalia	13°08'00" N	085°44'00" O	Franco Arcilloso	23	2300	341
Rancho Grande	13°15'13" N	085°33'10" O	Franco Arcilloso	25	2300	612
San Dionisio	13°15'13" N	085°33'10" O	Franco Arcilloso	25	1800	466
Esquipulas	12°40'00" N	085°47'00" O	Franco Arcilloso	25	2000	522

Fuente: Elaboración Propia

3.2. Diseño metodológico

En este estudio se incluyeron 15 fincas, las cuales se distribuyeron de la siguiente manera: En el municipio de Esquipulas se seleccionaron dos fincas, en La Dalia – dos fincas, en Matagalpa – cuatro fincas, en Rancho Grande – tres fincas, en San Dionisio – dos fincas y en el municipio de San Ramón – dos fincas. En cada una de estas fincas se recolectó información de la altura (msnm) a la cual estaban ubicadas, superficie de terreno (ha) ocupada con café y las coordenadas geográficas (Cuadro 2; Anexo 1). En cada finca, independientemente del área total, se tomó una hectárea en la cual se seleccionaron 30 plantas, en algunos casos con esquema de muestreo de “guardia griega” (terrenos planos), y en otros casos al azar (terrenos con pendientes inclinadas) (Figura 1). En cada planta se tomaron dos bandolas, una de estrato alto y otro de estrato bajo. En cada bandola se contó el número total de hojas (sanas + enfermas) y el número total de granos (granos sanos + granos brocados). Del número total de hojas contadas se evaluó la incidencia de roya y del número total de granos se cuantificó la infestación (daño) de broca.

Cuadro 2. Información de las 15 fincas seleccionadas en el estudio, la cual incluye altura (msnm), superficie ocupada con café y coordenadas geográficas.

Municipio	Finca	Altura (msnm)	Hectáreas	Coordenadas	
Esquipulas	La Gloria	784	12	12°41'39.8"N	85°43'56.6"W
	Monterey	696	8.4	12°42'36.0"N	85°46'12.0"W
La Dalia	La Peña	993	20	13°13'22.6"N	85°41'15.1"W
	San José	1030	32	13°08'40.9"N	85°45'35.3"W
Matagalpa	Fátima	960	4	12°57'56.2"N	85°52'29.6"W
	La Guaba	1230	4	12°51'49.1"N	85°54'12.6"W
	San Felipe	1124	5	12°52'47.1"N	85°53'54.4"W
	El Escondido	1161	3.8	12°51'49.1"N	85°54'12.6"W
Rancho Grande	El Sanjón	776	14	13°12'18.7"N	85°37'58.4"W
	San Francisco	722	18	13°12'06.5"N	85°32'56.4"W
	Santa Cruz	836	7	13°15'14.4"N	85°36'11.5"W
San Dionisio	Las Mesas	841	30	12°46'31.8"N	85°48'40.7"W
	La Primavera	830	12	12°47'55.7"N	85°49'39.7"W
San Ramón	El Carmen	804	12	12°59'10.2"N	85°43'56.3"W
	La Bendición	802	8	12°58'30.9"N	85°45'41.1"W



Figura 1. Vista satelital de un área de muestreo en el cual se aprecia el esquema de “guardia griega” utilizado para la recolección de datos de broca y roya en una hectárea de café.

3.3. Variables evaluadas

- Incidencia de roya: la incidencia se registró mensualmente con la ayuda del SAT-Café haciendo uso de un Smartphone y se expresó en porcentajes.
- Infestación de broca: esta variable se estimó mensualmente y simultáneamente cuando se registró la incidencia de roya. Se utilizó el mismo sistema usado para roya y sus valores se expresaron en porcentajes.
- Variables climáticas (temperatura, humedad relativa, precipitación, punto de rocío): los valores de estas variables se obtuvieron de la base de datos de INETER.

3.4. Recolección de datos

Para la recolección de los datos de la infestación de broca e incidencia de roya se hizo uso del Sistema de Alerta Temprana (SAT) para café, comúnmente conocido como SAT-café.

Los datos se recolectaron con la ayuda de un Smartphone, el cual permite obtener información en tiempo real de las dos plagas antes mencionadas.

3.5. Análisis de datos

Inicialmente, los valores de infestación de broca e incidencia de roya se analizaron por año por cada finca seleccionada, es decir, se realizaron cuatro análisis de varianza (ANDEVA), correspondientes a los años 2015, 2016, 2017 y 2018. En el año 2015 y en el año 2018 se analizaron solamente seis meses, mientras que en los años 2016 y 2017 los ANDEVAS fueron de un año completo. En cada uno de los ANDEVAS se tomaron los meses como repeticiones. En la mayoría de los casos, fue necesario la transformación de los valores expresados en porcentajes antes de proceder con el ANDEVA. Las transformaciones utilizadas fueron: $\text{Log}(Y + 1)$, $\sqrt{(Y + 0.5)}$ y arcoseno $\sqrt{(Y / 100)}$.

Para establecer la relación entre la infestación de broca, incidencia de roya y las variables climáticas (temperatura, humedad relativa y precipitación), primeramente se realizó un análisis de correlación y posteriormente se llevó a cabo un análisis de regresión. El análisis estadístico se llevó a cabo con los programas Infostat (2008) y Minitab versión 18.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Ocurrencia de daño de la broca del café

La ocurrencia del daño de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) se registró durante el último semestre del año 2015 (junio-diciembre), todo el año 2016 (enero-diciembre), todo el año 2017 (enero-diciembre) y en el primer semestre del año 2018 (enero-junio). La fluctuación de la infestación de granos borcados expresada en porcentaje fue muy variable tanto a nivel de finca como a través de los meses de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

4.1.1. Ocurrencia de daño de la broca del café en el año 2015

En el año 2015 se detectaron diferencias significativas de daño de broca entre fincas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). El porcentaje más bajo de daño fue encontrado en la finca San José (0.4%) y la finca Escondido (0.5%). El valor más alto de infestación de broca se encontró en la finca El Sanjón (3.9%). La finca San José y la finca El Sanjón se diferenciaron estadísticamente con respecto a los porcentajes de infestación de broca. En las fincas Guaba, San Francisco, Santa Cruz, Mesas, Primavera, Fátima, San Felipe, Gloria, Sanjón, Peña, El Carmen, La Bendición y Monterey los porcentajes de infestación variaron de 0.9% a 3.7% y no se diferenciaron estadísticamente (Figura 2; Cuadro 3).

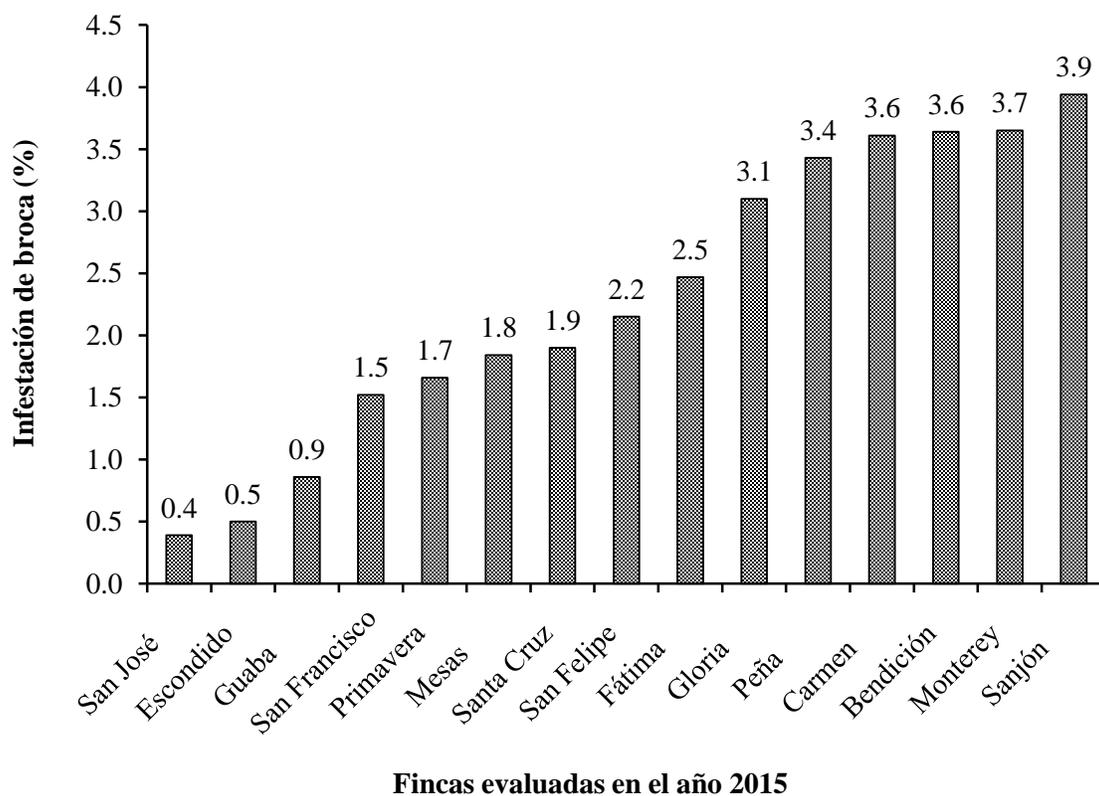


Figura 2. Porcentaje promedio de infestación de broca en 15 fincas evaluadas en el año 2015.

En el Cuadro 3 se presenta la comparación de datos no transformados y transformados para la ocurrencia de daño de broca en el año 2015 en 15 fincas distribuidas en seis municipios del departamento de Matagalpa.

Cuadro 3. Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [Log (Y + 1)] de la ocurrencia de daño de broca en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el último semestre (junio-diciembre) del año 2015.

Finca	Infestación (%) sin transformación	Infestación transformada
San José	0.39	0.13 a
Escondido	0.50	0.14 ab
Guaba	0.86	0.26 abc
San Francisco	1.52	0.30 abc
Santa Cruz	1.90	0.31 abc
Mesas	1.84	0.34 abc
Primavera	1.66	0.37 abc
Fátima	2.47	0.44 abc
San Felipe	2.15	0.47 abc
Gloria	3.10	0.53 abc
Sanjón	3.94	0.54 abc
Peña	3.43	0.59 abc
Bendición	3.64	0.60 abc
Carmen	3.61	0.61 bc
Monterey	3.65	0.64 c
N	105	105
R ²	0.39	0.45
CV	86.24	60.47

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

En los meses de evaluación del porcentaje de granos brocados, el análisis de varianza detectó diferencias significativas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). En los meses de octubre y noviembre se observó los menores porcentajes de granos brocados (1.4% y 1.1% respectivamente). El mes con mayor porcentaje de daño fue julio con 3.8% y se diferenció estadísticamente de los meses de octubre y noviembre. En los meses de junio, agosto, septiembre y diciembre los porcentajes de daño oscilaron entre 2.8% y 2.2% y no se diferenciaron estadísticamente (Figura 3; Cuadro 4). En el Cuadro 4 se presenta la comparación de datos no transformados y transformados para la ocurrencia de daño de broca en el período comprendido de junio a diciembre del año 2015 en 15 fincas distribuidas en seis municipios del departamento de Matagalpa.

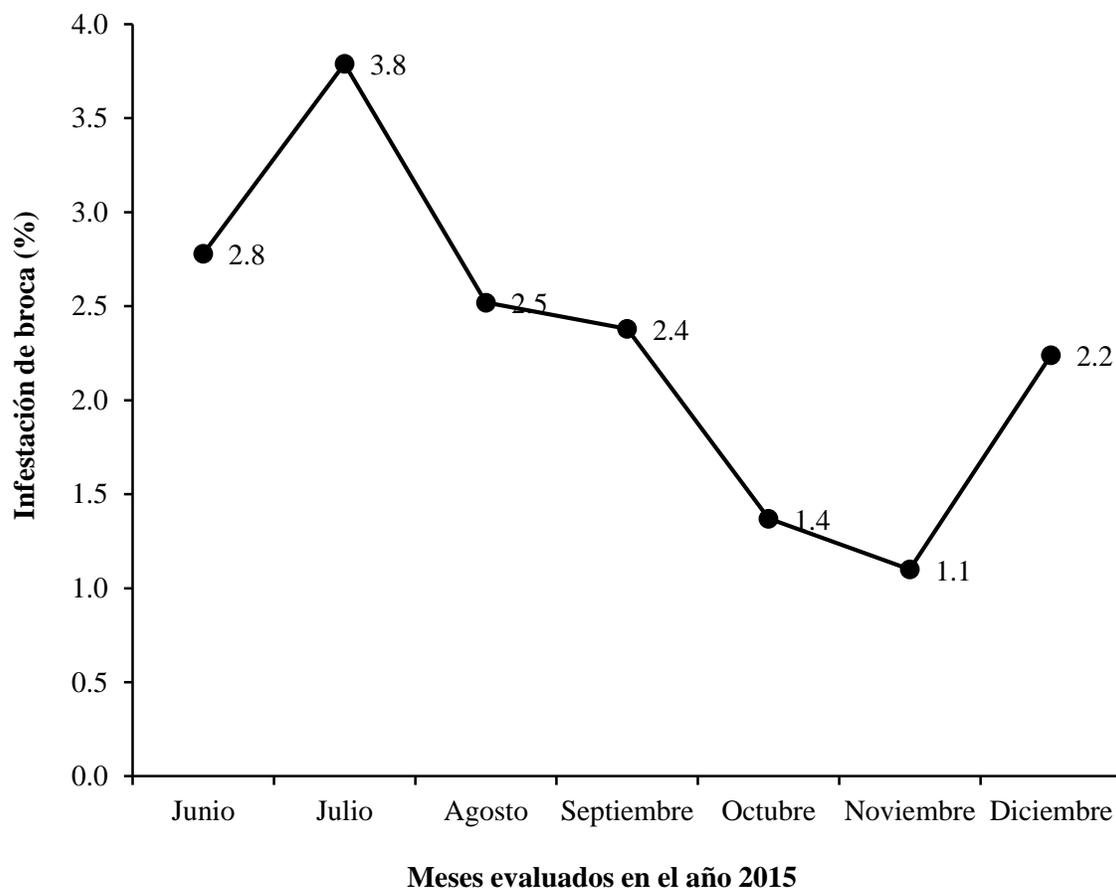


Figura 3. Porcentaje promedio de infestación de broca por mes en el año 2015 en 15 fincas del departamento de Matagalpa.

Cuadro 4. Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [Log (Y + 1)] de la ocurrencia de daño de broca en el período junio-diciembre del año 2015.

Meses	Infestación (%) sin transformación	Infestación transformada
Junio	2.78	0.45 a
Julio	3.79	0.65 a
Agosto	2.52	0.48 ab
Septiembre	2.38	0.43 ab
Octubre	1.37	0.27 ab
Noviembre	1.10	0.26 ab
Diciembre	2.24	0.39 b
N	105	105
R ²	0.39	0.45
CV	86.24	60.47

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

4.1.2. Ocurrencia de daño de la broca del café en el año 2016

En el año 2016 se detectaron diferencias significativas de daño de broca entre fincas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). El porcentaje más bajo de daño fue encontrado en la finca San José (0.2%) y los valores más altos de infestación de broca se encontró en la finca El Sanjón con 7.3%. Las fincas San José y El Sanjón se diferenciaron estadísticamente con respecto a los porcentajes de infestación de broca. En las demás fincas los porcentajes de infestación variaron de 0.5% a 5.8% y algunas de ellas se diferenciaron estadísticamente (Figura 4; Cuadro 5). En el Cuadro 5 se presenta la comparación de datos no transformados y transformados para la ocurrencia de daño de broca en el año 2016 en 15 fincas distribuidas en seis municipios del departamento de Matagalpa.

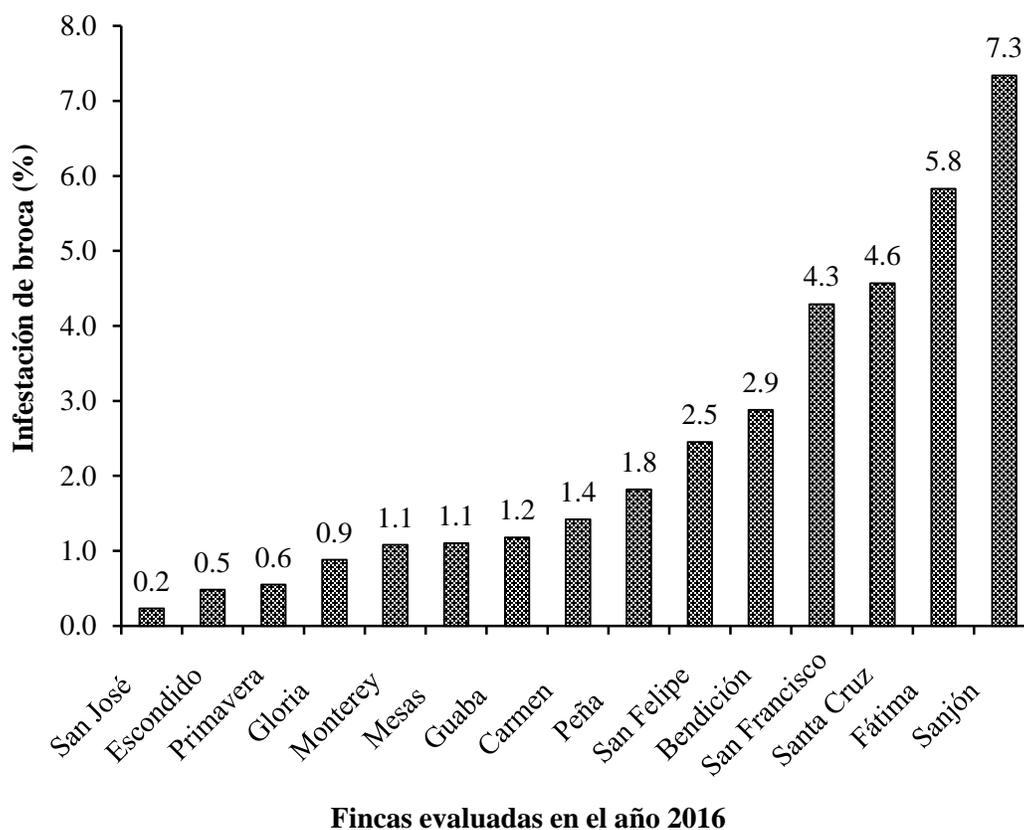


Figura 4. Porcentaje promedio de infestación de broca en 15 fincas evaluadas en el año 2016.

Cuadro 5. Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [Log (Y + 1)] de la ocurrencia de daño de broca en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el año 2016.

Finca	Infestación (%) sin transformación	Infestación transformada
San José	0.23	1.54 c
Escondido	0.48	1.54 c
Guaba	1.18	1.49 abc
San Francisco	4.29	1.43 abc
Santa Cruz	4.57	1.47 abc
Mesas	1.10	1.52 bc
Primavera	0.55	1.53 c
Fátima	5.83	1.38 a
San Felipe	2.45	1.45 abc
Gloria	0.88	1.52 bc
Sanjón	7.34	1.40 ab
Peña	1.82	1.48 abc
Bendición	2.88	1.45 abc
Carmen	1.42	1.49 abc
Monterey	1.08	1.52 bc
N	180	180
R ²	0.23	0.24
CV	250.98	8.63

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

En los meses de evaluación del porcentaje de granos brocados, el análisis de varianza detectó diferencias significativas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). En los meses de enero, febrero, julio, agosto, septiembre y octubre se observó los mayores porcentajes de granos brocados con 2,6%, 9.5%, 2.1%, 2.4%, 2.3% y 2.1%. El mes con menor porcentaje de daño fue noviembre con 1% y se diferenció estadísticamente del resto de meses.

En el resto de meses el valor promedio de daño osciló entre 1.1% y 1.6% y no se diferenciaron estadísticamente (Figura 5; Cuadro 6). En el Cuadro 6 se presenta la comparación de datos no transformados y transformados para la ocurrencia de daño de broca en el período comprendido de enero a diciembre del año 2016 en 15 fincas distribuidas en seis municipios del departamento de Matagalpa.

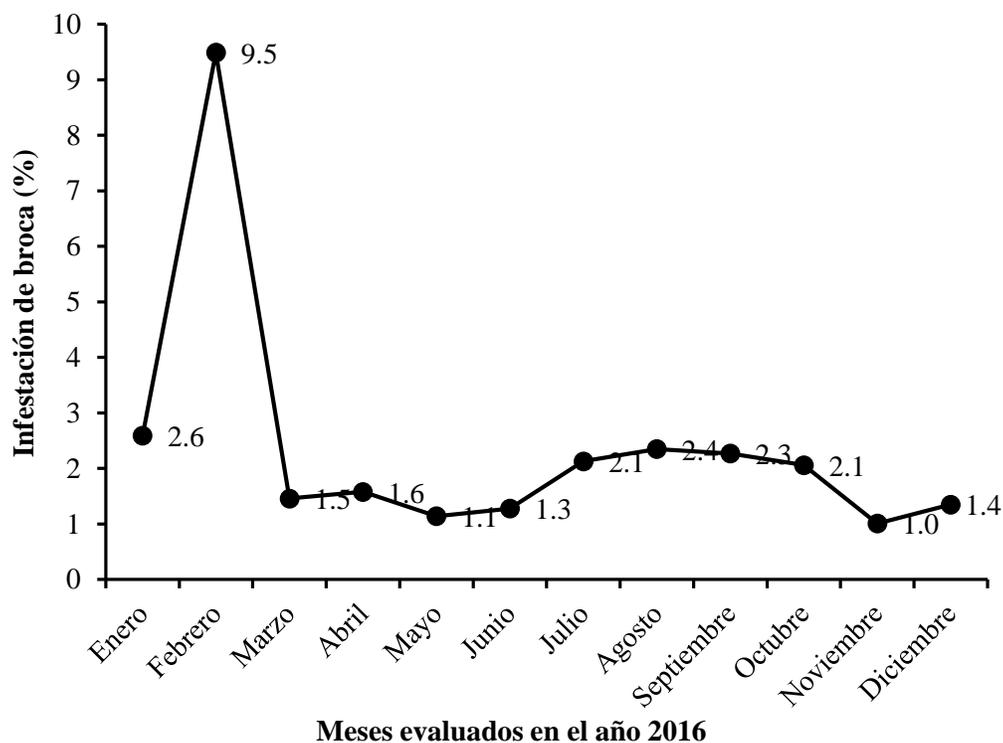


Figura 5. Porcentaje promedio de infestación de broca por mes en el año 2016 en 15 fincas del departamento de Matagalpa.

Cuadro 6. Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [Log (Y + 1)] de la ocurrencia de daño de broca en el período enero-diciembre del año 2016.

Meses	Infestación (%) sin transformación	Infestación transformada
Enero	2.59	1.49 abc
Febrero	9.49	1.41 a
Marzo	1.46	1.56 c
Abril	1.58	1.53 bc
Mayo	1.14	1.53 bc
Junio	1.28	1.50 abc
Julio	2.13	1.43 ab
Agosto	2.35	1.43 ab
Septiembre	2.27	1.44 ab
Octubre	2.06	1.45 abc
Noviembre	1.01	1.50 abc
Diciembre	1.35	1.50 abc
N	180	180
R ²	0.23	0.24
CV	250.98	8.63

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

4.1.3. Ocurrencia de daño de la broca del café en el año 2017

En el año 2017 se detectaron diferencias significativas de daño de broca entre fincas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). El porcentaje más bajo de daño fue encontrado en la finca San José con 0.3%. Los valores más altos de infestación de broca se encontraron en las fincas Las Mesas, San Francisco, El Carmen y Fátima con 5.2%, 5.6%, 5.9% y 9.8% respectivamente. En el resto de fincas la infestación varió de 1.4% a 4.7% (Figura 6; Cuadro 7). En el Cuadro 7 se presenta la comparación de datos no transformados y transformados para la ocurrencia de daño de broca en el año 2017 en 15 fincas distribuidas en seis municipios del departamento de Matagalpa.

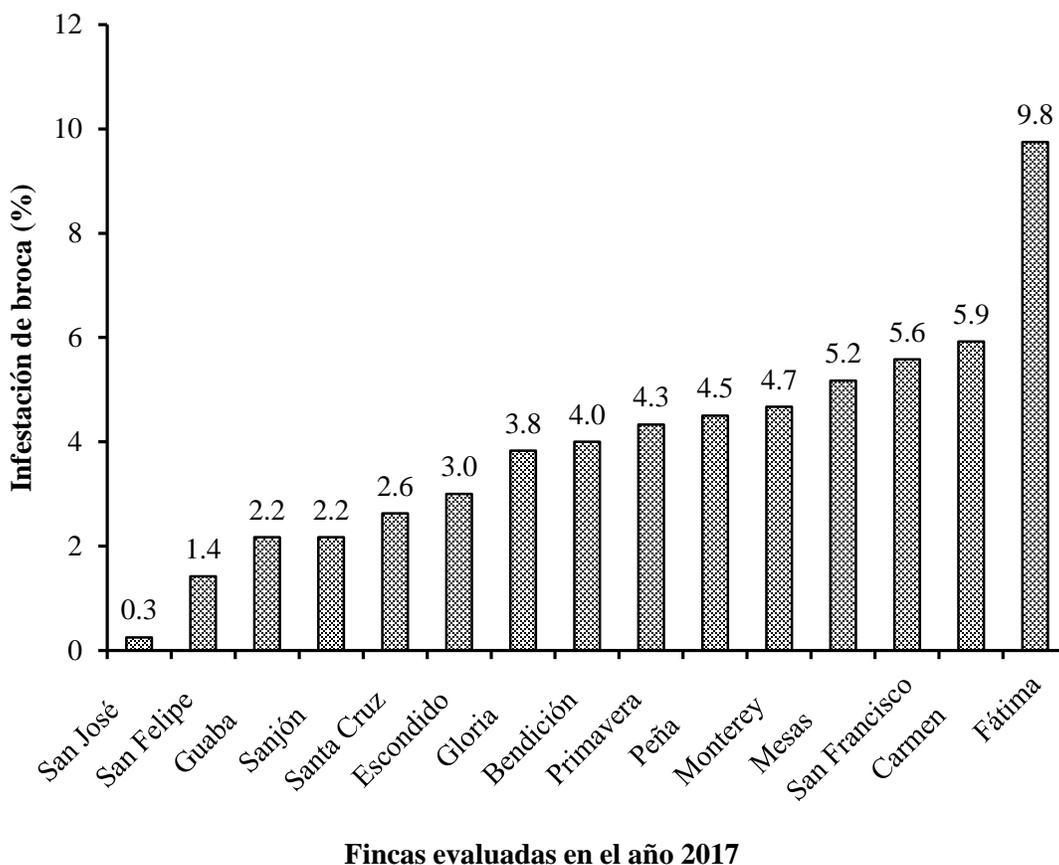


Figura 6. Porcentaje promedio de infestación de broca en 15 fincas evaluadas en el año 2017.

Cuadro 7. Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [arcoseno√(Y/100)] de la ocurrencia de daño de broca en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el año 2017.

Finca	Infestación (%) sin transformación	Infestación transformada
San José	0.25	0.03 a
Escondido	3.00	0.11 abc
Guaba	2.17	0.13 abc
San Francisco	5.58	0.20 abc
Santa Cruz	2.63	0.11 abc
Mesas	5.17	0.20 abc
Primavera	4.33	0.18 abc
Fátima	9.75	0.27 c
San Felipe	1.42	0.08 ab
Gloria	3.83	0.17 abc
Sanjón	2.17	0.12 abc
Peña	4.50	0.18 abc
Bendición	4.00	0.16 abc
Carmen	5.92	0.21 bc
Monterey	4.67	0.17 abc
N	180	180
R ²	0.36	0.34
CV	127.47	78.24

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

En los meses de evaluación, el análisis de varianza detectó diferencias significativas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). En el mes de julio se observó el menor valor promedio de granos brocado con 1.1%. El mes con mayor valor de daño fue febrero con 12.4% y se diferenció estadísticamente del resto de meses. En los demás meses los valores promedio de daño oscilaron entre 2.1% y 4.6% y no se diferenciaron estadísticamente (Figura 7; Cuadro 8). En el Cuadro 8 se presenta la comparación de datos no transformados y transformados para la ocurrencia de daño de broca en el período comprendido de enero a diciembre del año 2017 en 15 fincas distribuidas en seis municipios del departamento de Matagalpa.

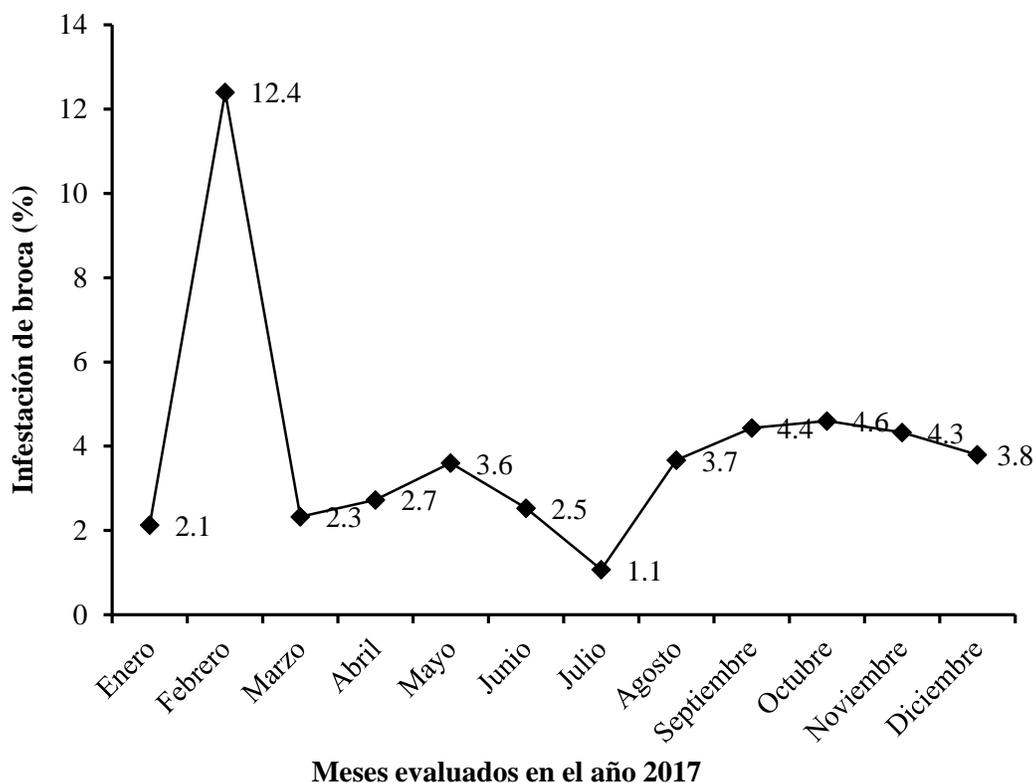


Figura 7. Porcentaje promedio de infestación de broca por mes en el año 2017 en 15 fincas del departamento de Matagalpa.

Cuadro 8. Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [arcoseno $\sqrt{(Y/100)}$] de la ocurrencia de daño de broca en el período enero-diciembre del año 2017.

Meses	Infestación (%) sin transformación	Infestación transformada
Enero	2.1	0.10 a
Febrero	12.4	0.27 b
Marzo	2.3	0.07 a
Abril	2.7	0.09 a
Mayo	3.6	0.14 ab
Junio	2.5	0.13 a
Julio	1.1	0.10 a
Agosto	3.7	0.19 ab
Septiembre	4.4	0.19 ab
Octubre	4.6	0.19 ab
Noviembre	4.3	0.19 ab
Diciembre	3.8	0.18 ab
N	180	180
R ²	0.36	0.34
CV	12.47	78.24

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

4.1.4. Ocurrencia de daño de la broca del café en el año 2018

En el año 2018 se detectaron diferencias significativas de daño de broca entre fincas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). En las fincas Fátima, San Felipe y Guaba no hubo infestación de broca, mientras que en la finca El Escondido y Santa Cruz los porcentajes fueron de 0.2% y 0.7% respectivamente. En la finca La Peña se observó el valor más alto de infestación con 11%, mientras que en el resto de fincas la infestación osciló entre el 1.2% y el 5.8% (Figura 8; Cuadro 9). En el Cuadro 9 se presenta la comparación de datos no transformados y transformados para la ocurrencia de daño de broca en el año 2018 en 15 fincas distribuidas en seis municipios del departamento de Matagalpa.

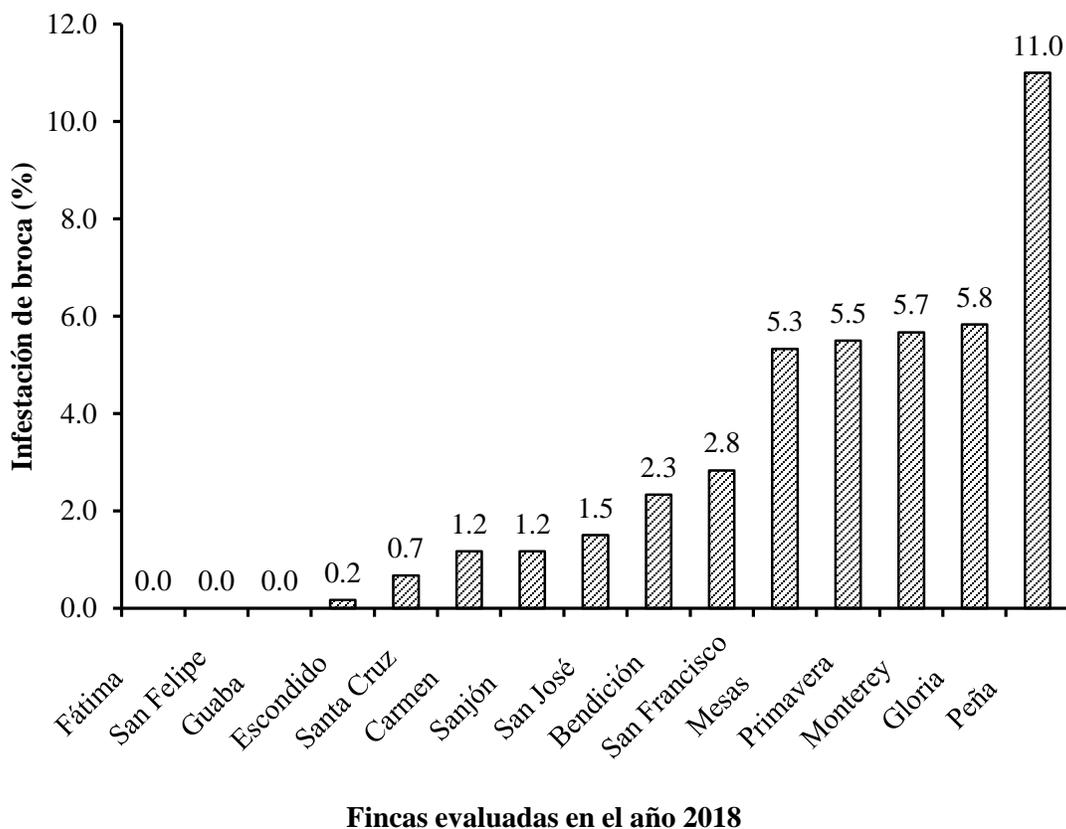


Figura 8. Porcentaje promedio de infestación de broca en 15 fincas evaluadas en el año 2018.

Cuadro 9. Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación $[\sqrt{(Y+0.5)}]$ de la ocurrencia de daño de broca en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el año 2018.

Finca	Infestación (%) sin transformación	Infestación transformada
Fátima	0.00	0.7 a
Guaba	0.00	0.7 a
San Felipe	0.00	0.7 a
Escondido	0.17	0.8 a
Santa Cruz	0.67	0.9 a
Sanjón	1.17	1.0 a
Carmen	1.17	1.1 a
San José	1.50	1.3 ab
Bendición	2.33	1.4 ab
San Francisco	2.83	1.6 ab
Mesas	5.33	2.1 ab
Monterey	5.67	2.2 ab
Primavera	5.50	2.3 ab
Gloria	5.83	2.4 ab
Peña	11.00	2.9 b
N	90	90
R ²	0.43	0.51
CV	147.42	58.54

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

En los meses de evaluación, el análisis de varianza detectó diferencias significativas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). En el mes de marzo se observó el menor valor promedio de granos brocados con 1.1%. Los meses con mayor valor de daño fueron enero y abril con 4.5% y 4.1% y se diferenciaron estadísticamente del resto de meses. En los meses de febrero, mayo y junio los valores de daño fueron de 2.3%, 2.9% y 2.4% y no se diferenciaron estadísticamente (Figura 9). En el Cuadro 10 se presenta la comparación de datos no transformados y transformados para la ocurrencia de daño de broca en el período comprendido de enero a junio del año 2018 en 15 fincas distribuidas en seis municipios del departamento de Matagalpa.

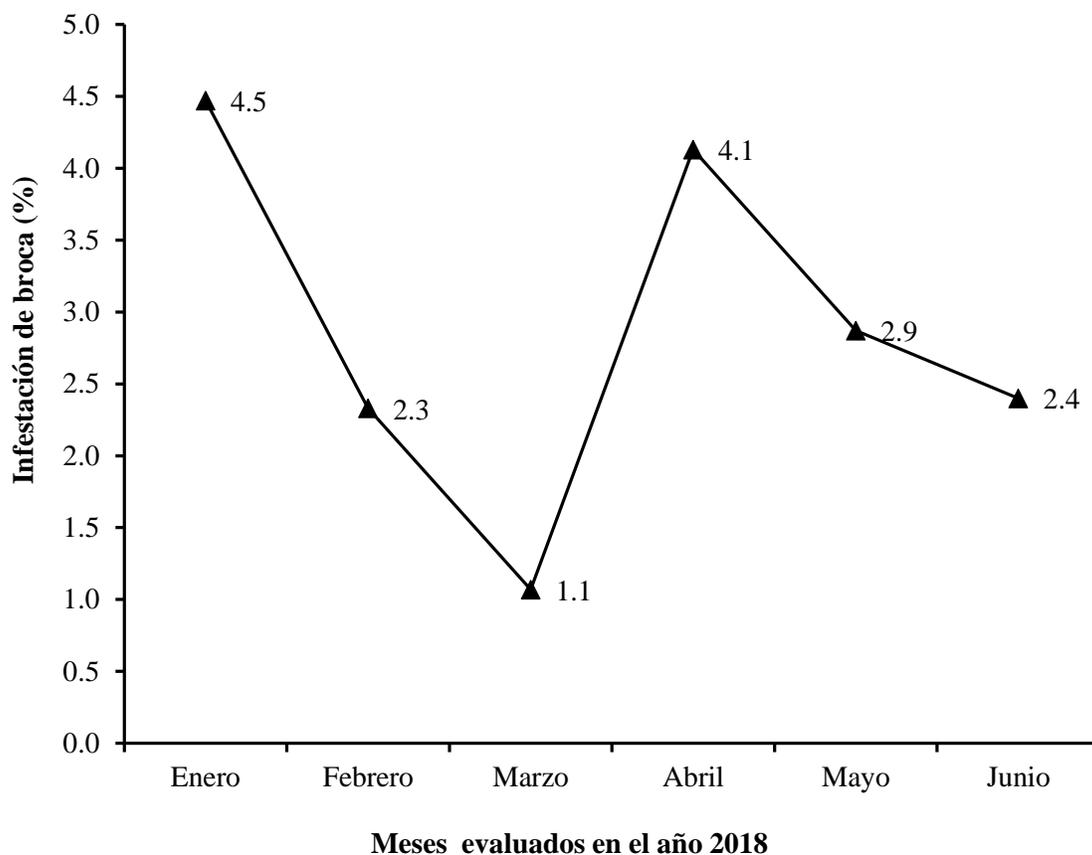


Figura 9. Porcentaje promedio de infestación de broca por mes en el año 2018 en 15 fincas del departamento de Matagalpa.

Cuadro 10. Comparación de los valores promedios (%) sin transformar y con transformación [$\sqrt{(Y+0.5)}$] de la ocurrencia de daño de broca en el período junio-diciembre del año 2015.

Meses	Infestación (%) sin transformación	Infestación transformada
Enero	4.47	0.15 ab
Febrero	2.33	0.06 ab
Marzo	1.07	0.05 a
Abril	4.13	0.17 b
Mayo	2.87	0.11 ab
Junio	2.40	0.11 ab
N	90	90
R ²	0.43	0.51
CV	147.42	58.54

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

Se realizó una comparación de la infestación de broca en tres períodos: 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018. El análisis de varianza (ANDEVA) indicó que hubo diferencias significativas entre períodos ($p = 0.0239$; $\alpha = 0.05$), entre fincas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$), entre meses ($p = 0.0004$; $\alpha = 0.05$) y en las interacciones períodos \times finca ($p = 0.0010$; $\alpha = 0.05$), períodos \times mes ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). La mayor infestación (3.3%) se observó en el período 2017-2018, mientras que la menor (2.6%) se presentó en el periodo 2015-2016 (Figura 10; Cuadro 11).

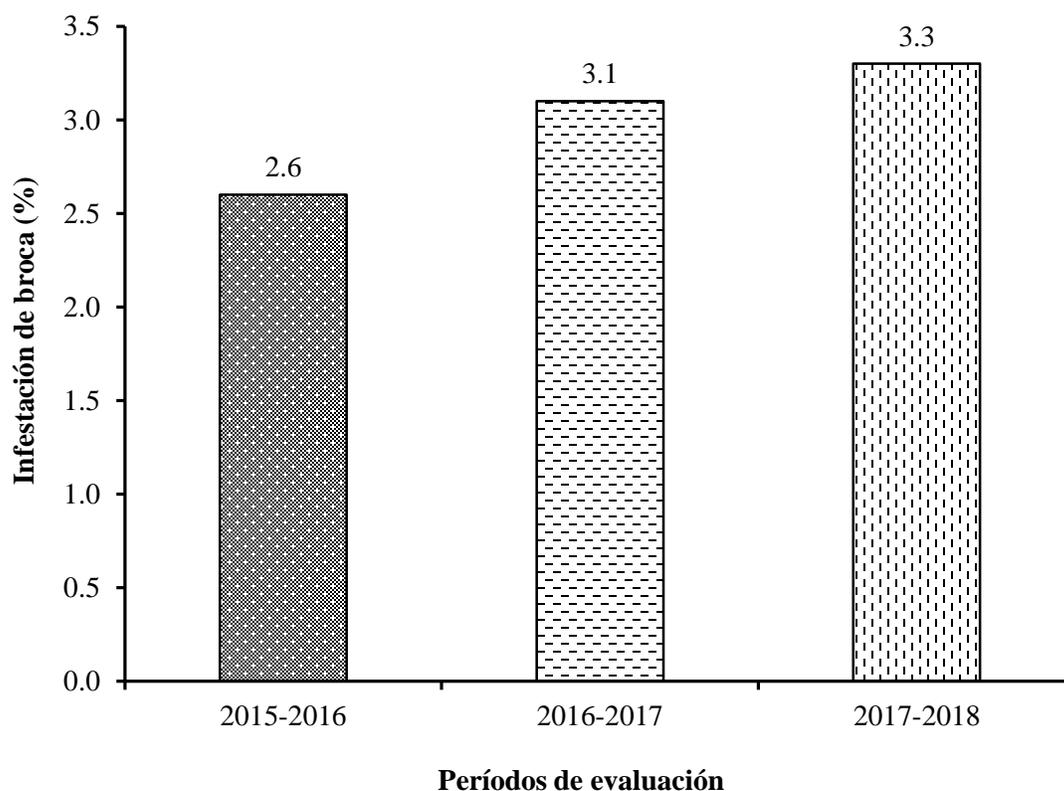


Figura 10. Porcentaje promedio de infestación de broca observados en tres períodos de evaluación en 15 fincas del departamento de Matagalpa.

En el Cuadro 11 se presenta la comparación de datos no transformados y transformados para la infestación de broca en tres períodos evaluados (2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018) en 15 fincas distribuidas en seis municipios del departamento de Matagalpa.

Cuadro 11. Comparación de los valores promedios sin transformar (%) y con transformación [$\sqrt{(Y+0.5)}$] de la ocurrencia de daño de broca en tres períodos de evaluación.

Períodos	Infestación (%) sin transformación	Infestación transformada
2015-2016	2.6	1.4 a
2016-2017	3.1	1.6 ab
2017-2018	3.3	1.7 a
N	540	540
R ²	0.54	0.34
CV	166.45	57.63

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

En la interacción períodos \times mes se pudo observar que los períodos 2015-2016 y 2016-2017 se comportaron de una forma muy parecida en lo que respecta a la infestación de broca. Estos dos períodos presentaron el pico más alto de infestación en el mes de agosto con 9.5% para el período 2015-2016 y 12.4% para el período 2016-2017. En el período 2017-2018, la infestación tuvo un comportamiento muy similar para los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio. En el mes de julio se pudo observar una caída en la curva de infestación que se prolongó hasta el mes de septiembre. En el mes de octubre hubo un leve ascenso de la curva de infestación, la cual cayó nuevamente en los meses de noviembre y diciembre (Figura 11).

En el presente estudio, en el caso de infestación de broca, con la excepción de algunas fincas, los porcentajes fueron bajos en el período 2015-2018. Se observó una tendencia de aumento de los porcentajes de infestación de 2.6% en el período 2015-2016 a 3.3% en el período 2017-2018 (Cuadro 11). En algunos países se ha establecido un umbral económico de daño para broca de 5%, lo cual se traduce en un 2% de pérdida de café pergamino seco después que ha pasado el proceso de beneficio (Aristizábal *et al.*, 2015; Bustillo Pardey, 2002; Bustillo *et al.*, 1998).

En otros lugares, principalmente del continente Africano, se ha establecido un umbral de 2.34% para un rendimiento promedio de 800 kg de café verde por hectárea. Sin embargo, estos mismos autores no especifican a cuanto equivale en porcentaje de pérdida el umbral económico de daño que estimaron (Wegbe *et al.*, 2003). En términos generales se recomienda el control químico de la broca cuando el porcentaje de infestación alcanza el 3% o 5% de

granos dañados dependiendo si los precios en el mercado son altos o bajos respectivamente (Pereira *et al.*, 2012; Souza y Reis, 1997).

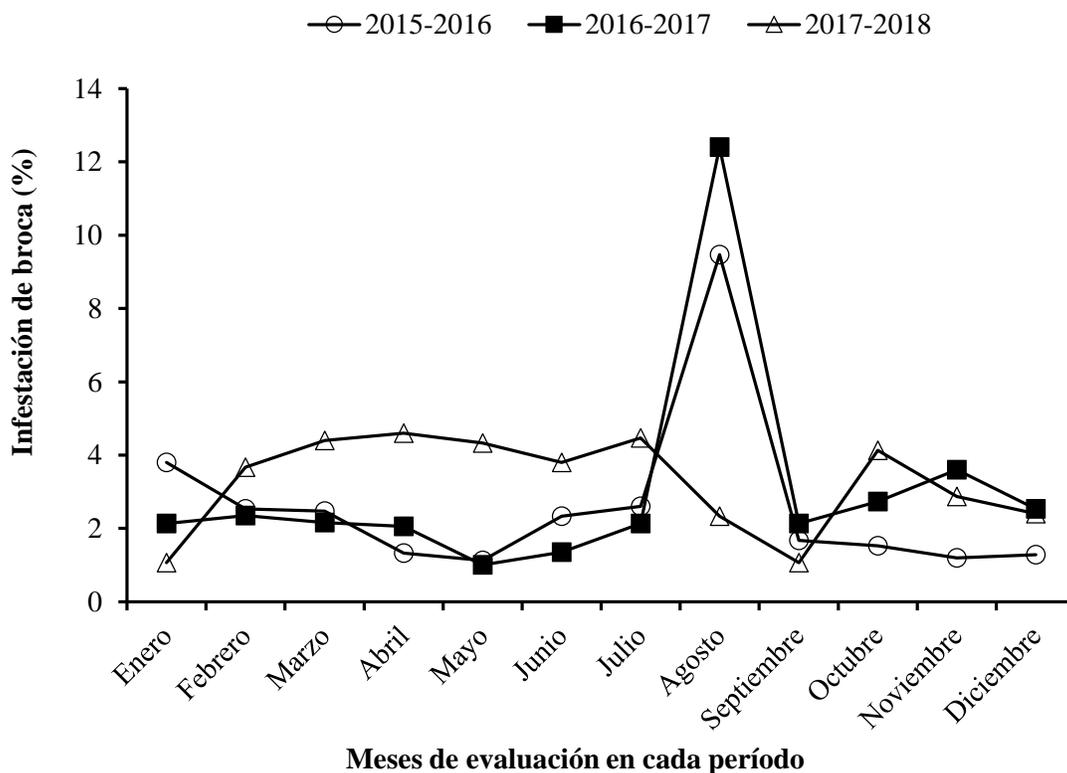


Figura 11. Curvas de infestación de broca observadas en tres períodos de evaluación en 15 fincas del departamento de Matagalpa.

Para la toma de decisiones en el manejo de la broca del café se hace necesario cuantificar los niveles de infestación, lo cual en la mayoría de los casos resulta muy difícil de estimar, ya que el insecto presenta un patrón agregado de distribución y las plantaciones de café son muy heterogéneas (Trujillo *et al.*, 2006). Además, las técnicas de muestreo que se usan para cuantificar la densidad de adultos de *Hypothenemus hampei* requieren de mucho tiempo y de mucha mano de obra (Pereira *et al.*, 2012).

Se han propuesto varias técnicas o métodos de muestreo para determinar los niveles de infestación de broca en diferentes regiones donde se cultiva café (Baker, 1989; Bustillo *et al.*, 1998; Ruíz *et al.*, 2000; Pereira *et al.*, 2012; Fernandes *et al.*, 2015; Mariño *et al.*, 2017).

Se han hecho comparaciones en cuanto a precisión y ahorro de tiempo entre dos métodos conocidos como el *método de las 30 ramas*, en el cual se cuantifica el número total de frutos verdes por rama y el número de frutos infestados por la broca, posteriormente se determina el porcentaje de infestación (Bustillo *et al.*, 1998; CENICAFE, 1993a, 1993b); y el *método de la medida*, en el cual inicialmente en 100 ramas se calibra la medida en centímetros, equivalente a la distancia que contiene 50 frutos verdes, posteriormente se asume dicha distancia para hacer los muestreos mensuales cuantificando únicamente los frutos infestados en 30 ramas y finalmente se determina el porcentaje de infestación (Trujillo *et al.*, 2006).

En el método de las 30 ramas, el evaluador tarda en promedio unos 42 minutos en realizar la operación del registro de infestación, mientras que a través del método de la medida se demora en promedio unos 26 minutos, lo cual implica un ahorro de tiempo de aproximadamente 38% usando el método de la medida (Bustillo y Mejía, 2003; Trujillo *et al.*, 2006).

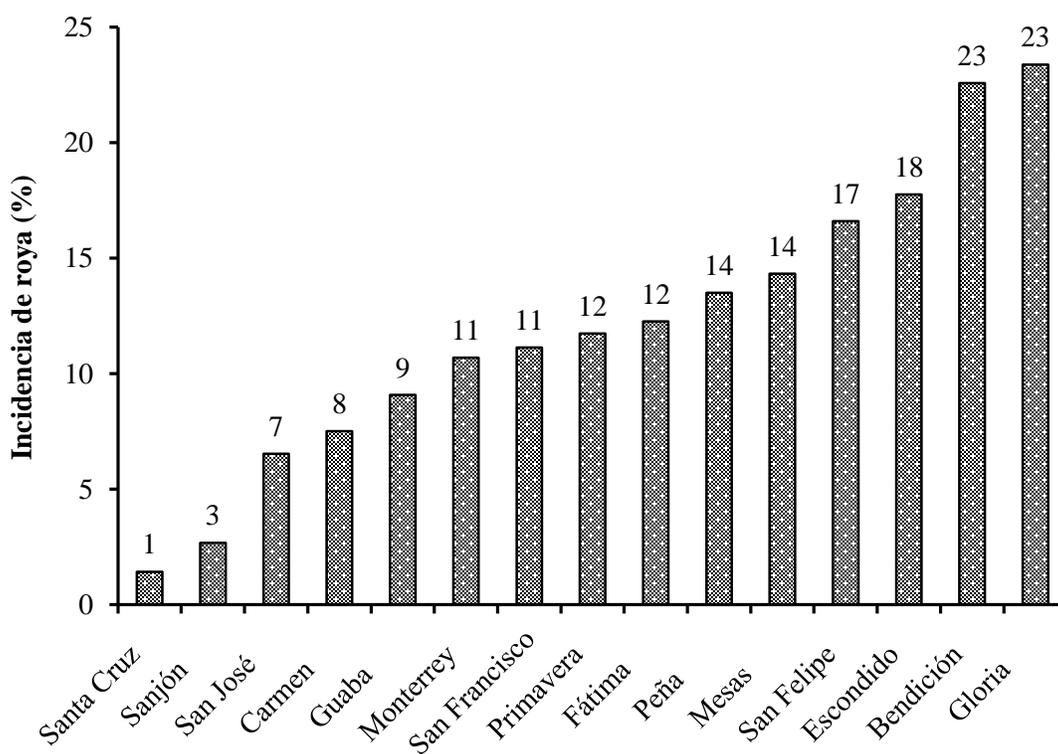
En la presente investigación, para la determinación de los porcentajes de infestación de broca no se usó ninguno de los métodos descritos anteriormente, sino que se hizo uso del Sistema de Alerta Temprana en Café (SATCAFE), el cual al igual que en los dos métodos mencionados con anterioridad, el muestreo se realiza en una hectárea de café pero con la ayuda de un Smartphone y el tiempo para el registro de los datos de infestación es de aproximadamente una hora. Sin embargo, con este sistema simultáneo al registro de infestación de broca, también se realiza la cuantificación de la incidencia de roya en el cafetal, lo cual presenta una ventaja significativa en cuanto a ahorro de tiempo.

4.2. Incidencia de la roya del café

La incidencia de roya del café (*Hemileia vastatrix*) se registró durante el último semestre del año 2015 (junio-diciembre), todo el año 2016 (enero-diciembre), todo el año 2017 (enero-diciembre) y en el primer semestre del año 2018 (enero-junio). La incidencia de roya expresada en porcentaje fue muy variable tanto a nivel de finca como a través de los meses de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

4.2.1. Incidencia de roya en el año 2015

En el año 2015 (junio-diciembre), el análisis de varianza indicó que hubo diferencias significativas entre fincas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). En las fincas Santa Cruz y El Sanjón se observó el menor valor promedio de incidencia con 1% y 3% respectivamente y la fincas donde se registró el mayor valor promedio de incidencia fue en La Bendición y Gloria con 23% cada una y se diferenciaron estadísticamente con respecto a las fincas Santa Cruz y El Sanjón. En el resto de fincas la incidencia osciló entre 7% y 18% y no se diferenciaron estadísticamente (Figura 12; Cuadro 12). En el Cuadro 12 se presenta la comparación de datos no transformados y transformados para la incidencia de roya en el año 2015 en 15 fincas distribuidas en seis municipios del departamento de Matagalpa.



Fincas evaluadas en el año 2015

Figura 12. Porcentaje promedio de incidencia de roya en 15 fincas evaluadas en el año 2015.

Entre los meses de evaluación de incidencia de roya, el análisis de varianza no detectó diferencias significativas ($p = 0.2135$; $\alpha = 0.05$). En el mes de junio se observó el menor valor promedio de incidencia (7%), mientras que el mayor valor promedio de incidencia se observó

en el mes de septiembre con 16%. El valor de incidencia promedio del resto de meses evaluados durante el año 2015 se situó en el rango de 9% y 15%.

4.2.2. Incidencia de roya en el año 2016

En el año 2016, el análisis de varianza indicó que hubo diferencias significativas entre fincas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). El promedio de incidencia más bajo observado fue en las fincas El Sanjón y Santa Cruz con 3%, mientras que el más alto se registró en la finca Fátima con 25% y se diferenciaron estadísticamente.

Cuadro 12. Comparación de los valores promedios de incidencia de roya sin transformar (%) y con transformación $[\sqrt{(Y+0.5)}]$ en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el último semestre (junio-diciembre) del año 2015.

Finca	Incidencia (%) sin transformación	Incidencia transformada
Bendición	22.58	1.04 a
Gloria	23.38	1.07 ab
San Felipe	16.61	1.19 abc
Mesas	14.33	1.20 abc
Escondido	17.76	1.20 abc
Peña	13.51	1.23 abc
Primavera	11.74	1.23 abc
Fátima	12.26	1.24 abcd
San Francisco	11.14	1.26 abcd
Monterey	10.70	1.26 abcd
Guaba	9.08	1.27 abcd
San José	6.53	1.33 bcd
Carmen	7.51	1.33 bcd
Sanjón	2.68	1.43 cd
Santa Cruz	1.43	1.50 d
N	105	105
R ²	0.41	0.47
CV	75.37	11.44

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

En las fincas Primavera, Monterey y Gloria los valores de incidencia fueron de 4% en las tres. En las fincas La Guaba y San Felipe la incidencia fue de 6% y 8% respectivamente. En las fincas El Carmen, San Francisco, Las Mesas, La Bendición, San José, Escondido y La Peña la incidencia de roya osciló entre 10% y 13% y no se diferenciaron estadísticamente (Figura 13; Cuadro 13). En el Cuadro 13 se presenta la comparación de datos no

transformados y transformados para la incidencia de roya en el año 2016 en 15 fincas distribuidas en seis municipios del departamento de Matagalpa.

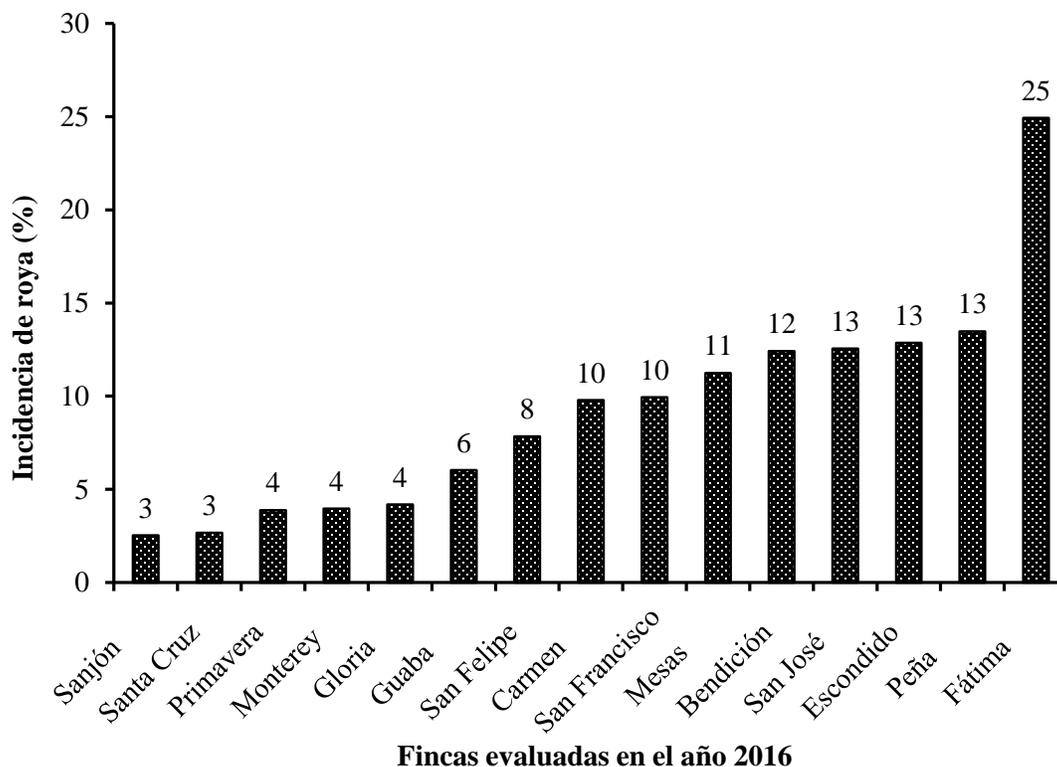


Figura 13. Porcentaje promedio de incidencia de roya en 15 fincas evaluadas en el año 2016.

El análisis de varianza también detectó diferencias significativas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$) entre los meses de evaluación de incidencia de roya en el año 2016. En los meses de febrero y agosto se presentaron los picos más altos de incidencia de roya con 15%. El porcentaje más bajo de incidencia fue observado en mayo con un 2%. Los meses de abril y junio tuvieron un 4% de incidencia. En el resto de meses la incidencia osciló entre 7% y 12% y no se diferenciaron estadísticamente en cuanto a incidencia (Cuadro 14; Figura 14).

Cuadro 13. Comparación de los valores promedios de incidencia de roya sin transformar (%) y con transformación [arcoseno $\sqrt{(Y/100)}$] en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el año 2016.

Finca	Incidencia (%) sin transformación	Incidencia transformada
Fátima	24.93	1.07 a
Escondido	12.86	1.23 b
Bendición	12.42	1.24 b
Peña	13.47	1.24 b
Mesas	11.23	1.26 bc
San José	12.55	1.27 bc
San Francisco	9.94	1.28 bcd
Carmen	9.78	1.29 bcd
San Felipe	7.84	1.32 bcd
Guaba	6.03	1.37 bcde
Primavera	3.88	1.39 cdef
Gloria	4.18	1.40 cdef
Monterey	3.96	1.43 def
Sanjón	2.53	1.46 ef
Santa Cruz	2.67	1.51 f
N	180	180
R ²	0.44	0.47
CV	93.77	11.72

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

Cuadro 14. Comparación de los valores promedios de incidencia sin transformar (%) y con transformación [arcoseno $\sqrt{(Y/100)}$] en el período enero-diciembre del año 2016.

Meses	Incidencia (%) sin transformación	Incidencia transformada
Enero	12.97	1.24 a
Febrero	14.53	1.22 a
Marzo	6.93	1.34 abcd
Abril	3.81	1.43 cd
Mayo	2.14	1.46 d
Junio	3.75	1.41 bcd
Julio	9.73	1.31 abc
Agosto	14.88	1.22 a
Septiembre	11.51	1.29 a
Octubre	9.24	1.31 ab
Noviembre	10.08	1.29 a
Diciembre	11.61	1.26 a
N	180	180
R ²	0.44	0.47
CV	93.77	11.72

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

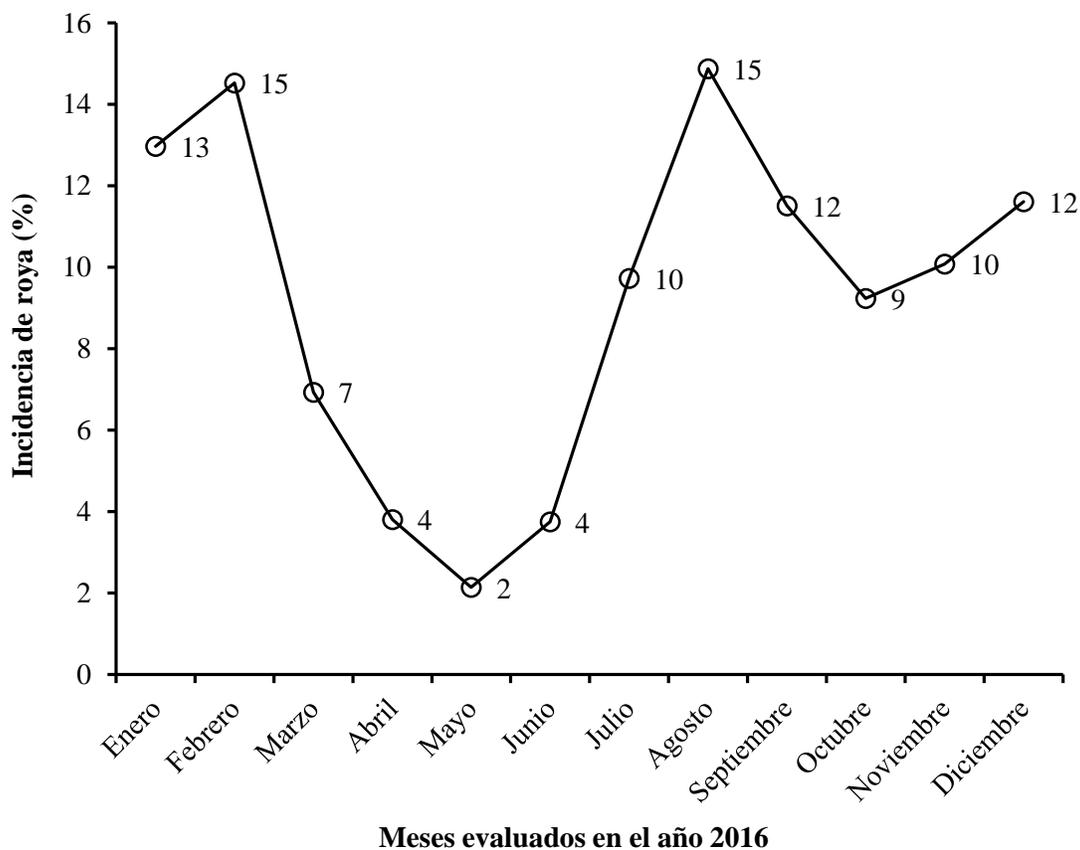


Figura 14. Porcentaje promedio de incidencia por mes en el año 2016 en 15 fincas del departamento de Matagalpa.

4.2.3. Incidencia de roya en el año 2017

En el año 2017, el análisis de varianza indicó que hubo diferencias estadísticas significativas entre fincas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). En la finca Sanjón se observó el menor valor de incidencia con 0.4%, mientras que el mayor valor de incidencia se presentó en la finca Fátima con 21%. En el resto fincas los valores de incidencia variaron de 1% (finca San Francisco) a 15% (finca Mesas) (Figura 15).

Entre los meses de evaluación también se detectaron diferencias significativas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). En el mes de mayo se observó el menor valor de incidencia con 1%, mientras que el mayor valor de incidencia se presentó en el mes de septiembre con 14% (Figura 16).

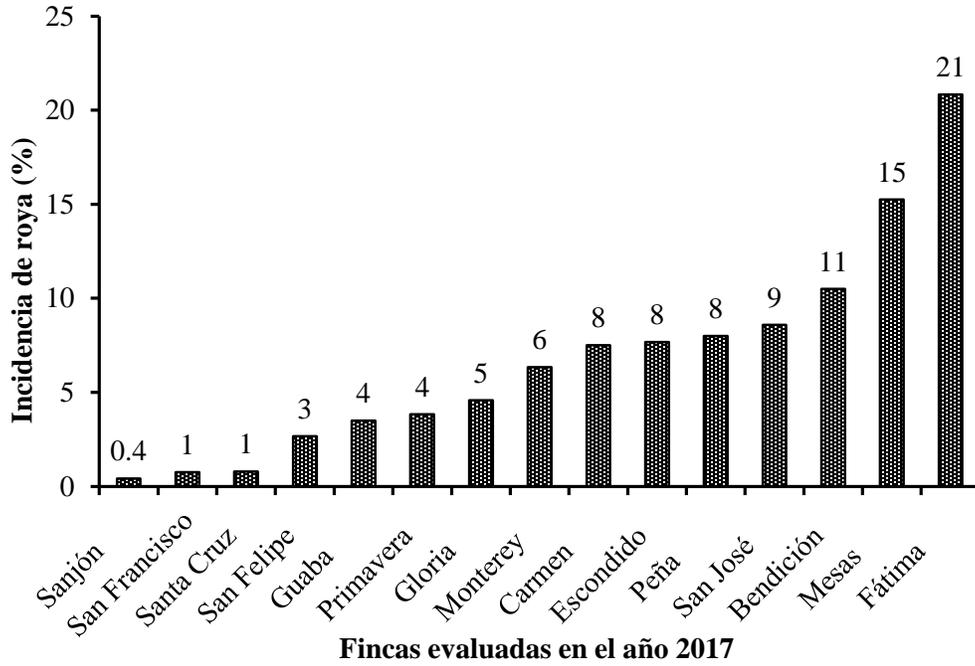


Figura 15. Porcentaje promedio de incidencia de roya en 15 fincas evaluadas en el año 2017.

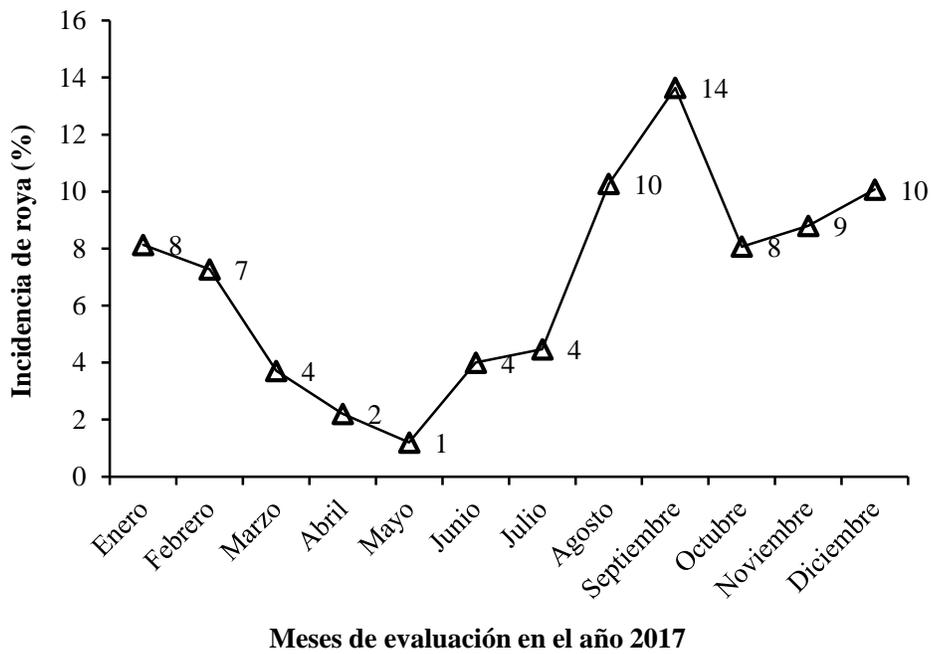


Figura 16. Porcentaje promedio de incidencia por mes en el año 2017 en 15 fincas del departamento de Matagalpa.

4.2.4. Incidencia de roya en el año 2018

En el año 2018, el ANDEVA indicó que hubo diferencias significativas ($p = 0.0013$; $\alpha = 0.05$) entre las fincas evaluadas. La finca con menor valor promedio de incidencia fue Santa Cruz con 0.3%, mientras que en la finca Peña se presentó el mayor valor promedio de incidencia con 16%. En el resto de fincas, la incidencia promedio se situó en el rango de 2% (fincas Sanjón, San Felipe y Carmen) a 9% (fincas Fátima, San José y LasMesas) (Figura 17; Cuadro 15).

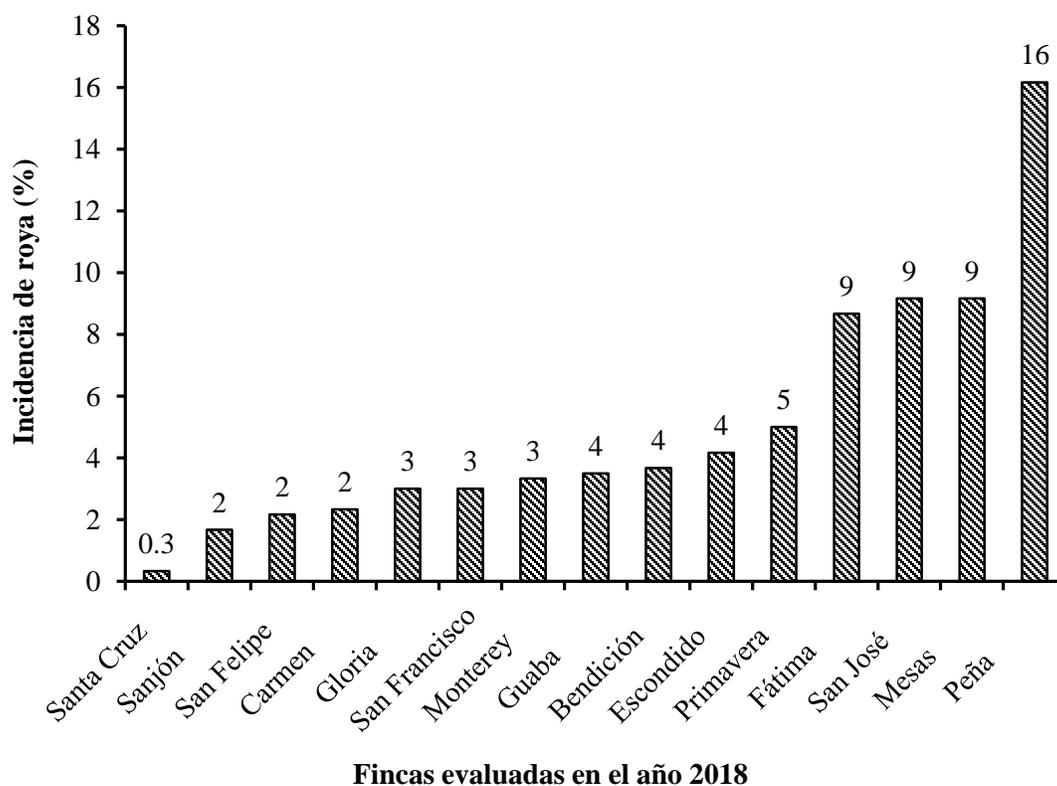


Figura 17. Incidencia promedio de roya en 15 fincas evaluadas en el año 2018 en seis municipios de Matagalpa.

Entre meses de evaluación, el ANDEVA también detectó diferencias significativas ($p = 0.0026$; $\alpha = 0.05$). Los meses donde se observó el valor promedio de incidencia más bajo fue mayo y junio con 3%, mientras que en enero se presentó la incidencia más alto con 11%. En el resto de meses la incidencia promedio osciló entre 4% (marzo y abril) y 6% (febrero) (Cuadro 16; Figura 18).

Cuadro 15. Comparación de los valores promedios de incidencia de roya sin transformar (%) y con transformación [$\sqrt{(Y+0.5)}$] en 15 fincas del departamento de Matagalpa en el año 2018.

Finca	Incidencia (%) sin transformación	Incidencia transformada
Santacruz	0.3	0.9 a
Sanjón	1.7	1.4 ab
Sanfelipe	2.2	1.6 ab
Carmen	2.3	1.6 ab
Guaba	3.5	1.7 abc
Gloria	3.0	1.7 abc
Sanfrancisco	3.0	1.8 abc
Monterey	3.3	1.8 abc
Bendición	3.7	1.9 abc
Escondido	4.2	2.2 abc
Primavera	5.0	2.2 abc
Fátima	8.7	2.5 abc
Sanjosé	9.2	2.5 abc
Mesas	9.2	3.0 bc
Peña	16.2	3.7 c
N	90	90
R ²	0.48	0.47
CV	115.63	48.82

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

Cuadro 16. Comparación de los valores promedios de incidencia sin transformar (%) y con transformación [$\sqrt{(Y+0.5)}$] en el período enero-junio del año 2018.

Meses	Infestación (%) sin transformación	Infestación transformada
Enero	11.3	3.0 b
Febrero	5.8	2.1 ab
Marzo	3.6	1.9 a
Abril	3.9	2.0 ab
Mayo	2.7	1.7 a
Junio	2.9	1.5 a
N	90	90
R ²	0.48	0.47
CV	115.63	48.82

N = número de observaciones; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

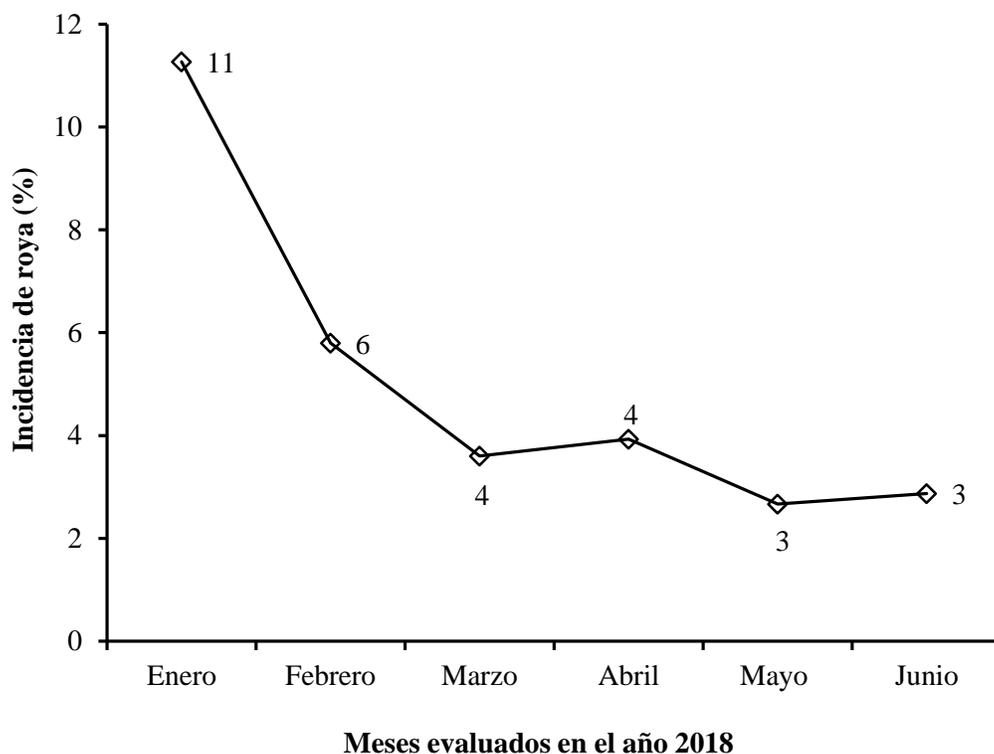


Figura 18. Porcentaje promedio de incidencia por mes en el año 2018 en 15 fincas del departamento de Matagalpa.

Se realizó una comparación de la incidencia de roya en tres períodos: 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018. El análisis de varianza (ANDEVA) indicó que hubo diferencias significativas entre períodos ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$), entre fincas ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$), entre meses ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$), en las interacción períodos \times finca ($p = 0.0002$; $\alpha = 0.05$), pero no en la interacción períodos \times mes ($p = 0.4970$; $\alpha = 0.05$) (Figura 18). Los valores de incidencia que se presentan en la Figura 18 no fueron transformados, por lo tanto están expresados en porcentaje.

En el período 2015-2016, la incidencia de roya fue de 10%, en 2016-2017 fue de 8%, mientras que en el período 2017-2018 la incidencia de roya disminuyó a 7%. La curva de progreso de la incidencia de roya en los tres períodos evaluados claramente muestra un descenso desde el período 2015-2016 hasta el período 2017-2018 (Figura 19). Este descenso en los porcentajes de infección puede estar influenciado por varios factores entre los cuales

podrían estar las condiciones climáticas entre períodos, el uso de germoplasma de café más tolerante a la roya, el uso de fungicidas más efectivos para el manejo del hongo, etc.

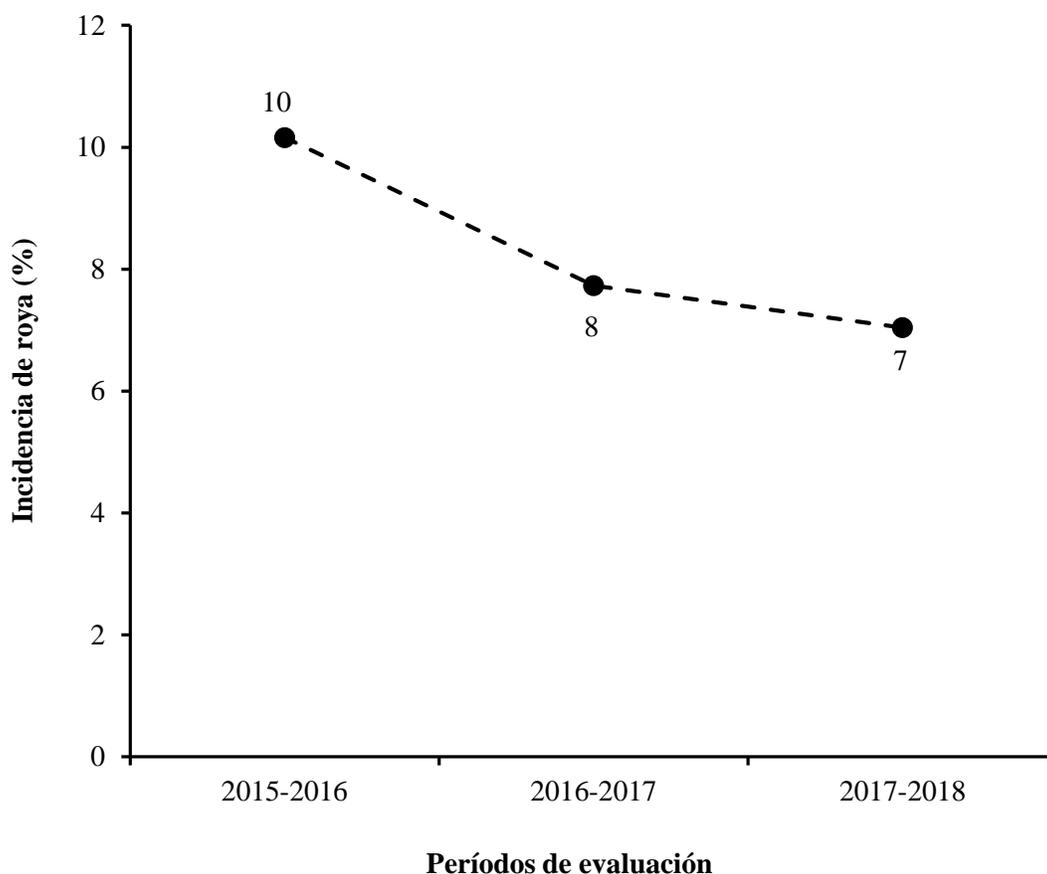


Figura 19. Porcentaje promedio de incidencia de roya observados en tres períodos de evaluación en 15 fincas del departamento de Matagalpa.

En la interacción períodos \times finca, se observó que los porcentajes promedio de incidencia de roya fueron más altos en el período 2015-2016 en el 73.3% de la fincas (11 fincas), mientras que en el 26.7% de las fincas (4 fincas), los valores promedio de incidencia fueron muy similares. En el período 2017-2018 se observó los valores más bajos de incidencia en el 73.3% de la fincas evaluadas. En la finca Fátima es donde se presentaron los picos más altos de incidencia en los tres períodos evaluados (Figura 20).

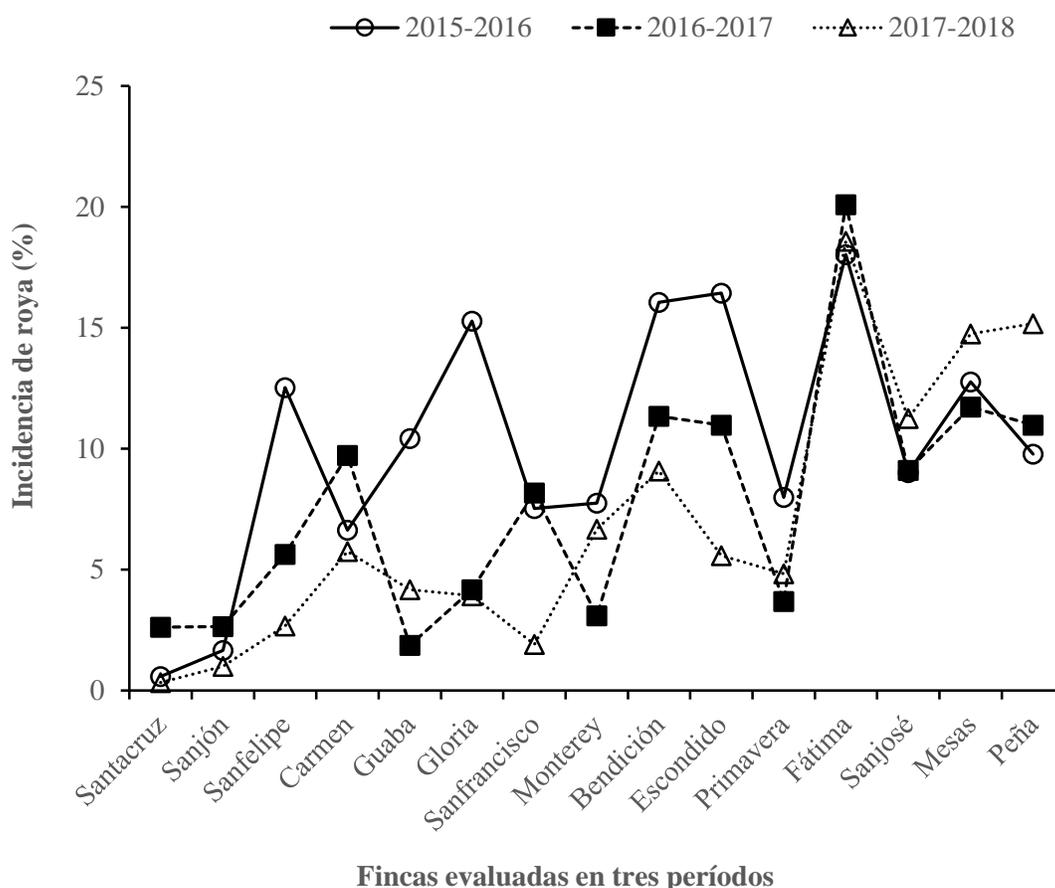


Figura 20. Comportamiento de las curvas de progreso de incidencia de roya en 15 fincas del departamento de Matagalpa en tres períodos evaluados.

Con respecto a la incidencia de roya en los cafetales, se ha establecido un umbral de 5% de incidencia a partir del cual se tomará la decisión de realizar aplicaciones con productos químicos protectores o sistémicos. Esta recomendación se encuentra en estrecha relación también con los días después de la floración del cafetal, lo cual se debe tener en consideración (Rivillas Osorio *et al.*, 1999; Sierra y Montoya, 1993; Sierra *et al.*, 1995).

En la presente investigación se observó que cuando se examinó la incidencia de roya durante los tres períodos (2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018), los porcentajes promedios se situaron por encima del 5% (Figura 18), que se ha tomado como un umbral de acción para iniciar las acciones de manejo de la enfermedad. Una situación similar fue observada cuando se analizó la incidencia de roya en la interacción períodos \times fincas. En el período 2015-2016, el 87% de la fincas (13 fincas en total) presentaron valores promedio de incidencia de roya por arriba

del 5%. En el período 2016-2017, en el 60% de la fincas (9 fincas) se observaron valores de incidencia por encima de 5%, mientras que en el período 2017-2018, el porcentaje de fincas con valores promedios de incidencia mayores a 5% disminuyó a 53% (8 fincas) (Figura 20).

Generalmente, el daño real de la roya se evalúa en términos de pérdidas en el rendimiento; sin embargo, el nivel de follaje infectado (incidencia), también debería ser usado como un indicativo del daño ocasionado por esta enfermedad a las plantas de café. Hasta ahora, sin embargo, no se ha establecido una verdadera correlación entre el grado de daño al follaje y su impacto en los rendimientos. Actualmente no existen datos precisos que permitan formular una clara predicción de la magnitud del daño de la roya al rendimiento potencial del cultivo de café. No obstante, en general, se asume que el 1% del follaje dañado puede llevar a una pérdida de rendimiento del 1% en el año siguiente (Muller *et al.*, 2009).

Aunque en el presente estudio no se cuantificó la tasa diaria de incremento de roya, en otras investigaciones se pudo establecer que en un año de epidemia severa de roya, con una tasa diaria de enfermedad mayor a 0.19%, hay una relación directa entre la infección ocurrida durante el llenado de frutos (tres meses después de la foración principal) y la reducción de los rendimientos. Esta tasa de infección (0.19%) también tendrá un efecto sobre los rendimientos en la siguiente temporada de cosecha (Rivillas Osorio *et al.*, 2011).

4.3. Relación entre variables climáticas, infestación de broca e incidencia de roya

En el período 2015-2016, la temperatura, humedad relativa y precipitación promedio fue de 22°C, 128 mm y 74% respectivamente. La temperatura más baja se presentó en octubre 2015 (20°C) y la más alta en junio 2016 (27°C). La humedad relativa más baja se observó en diciembre 2015 (70%) y en abril 2016 (70%), mientras que los porcentajes de humedad relativa más altos se presentaron en enero y mayo 2016 (78%). Con respecto a la precipitación, el pico más alto se presentó en octubre 2015 y el más bajo en febrero 2016 con 280 mm y 41 mm respectivamente (Figura 21).

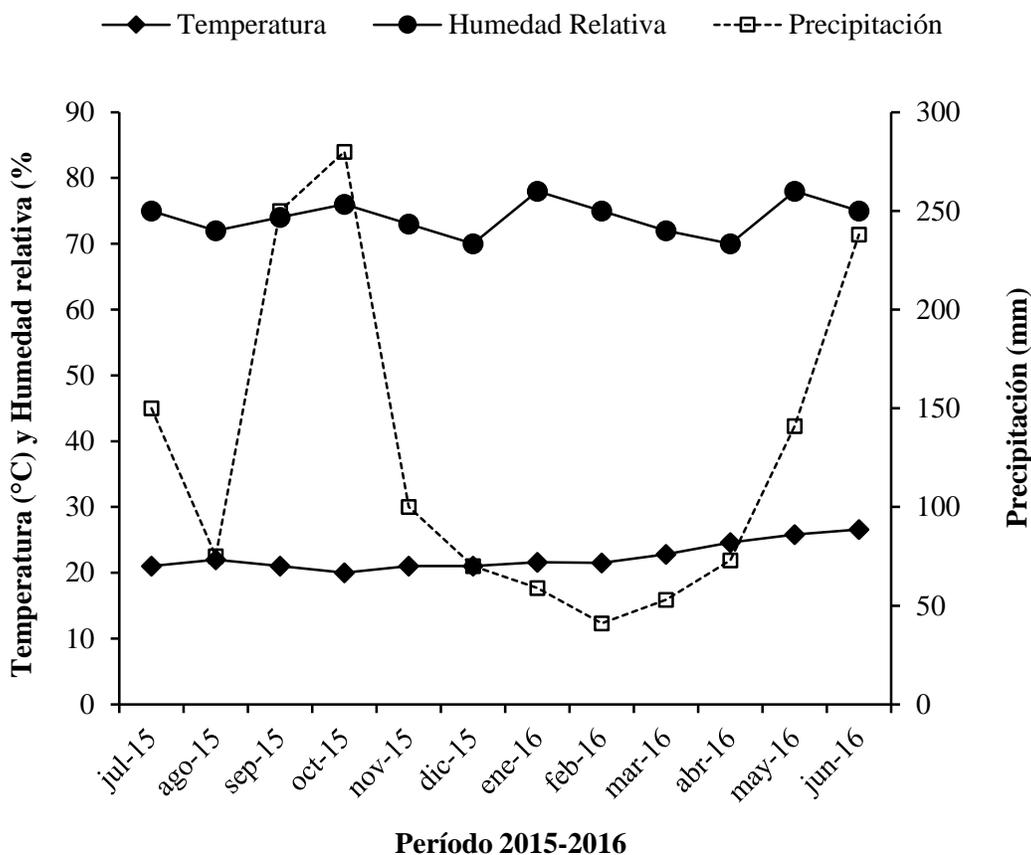


Figura 21. Fluctuación de la temperatura (T°C), humedad relativa (%) y precipitación (mm) en el período 2015-2016 en el departamento de Matagalpa.

En el período 2016-2017, la temperatura, humedad relativa y precipitación promedio fue de 23°C, 73% y 112 mm respectivamente. La temperatura más baja se presentó en agosto 2016 (16°C) y la más alta en mayo 2017 (28°C). La humedad relativa más baja se observó en mayo 2017 (55%), mientras que el porcentaje de humedad relativa más alto se presentó en agosto 2016 (88%). Con respecto a la precipitación, el pico más alto se presentó en agosto 2016 y el más bajo en mayo 2017 con 280 mm y 8 mm respectivamente (Figura 22).

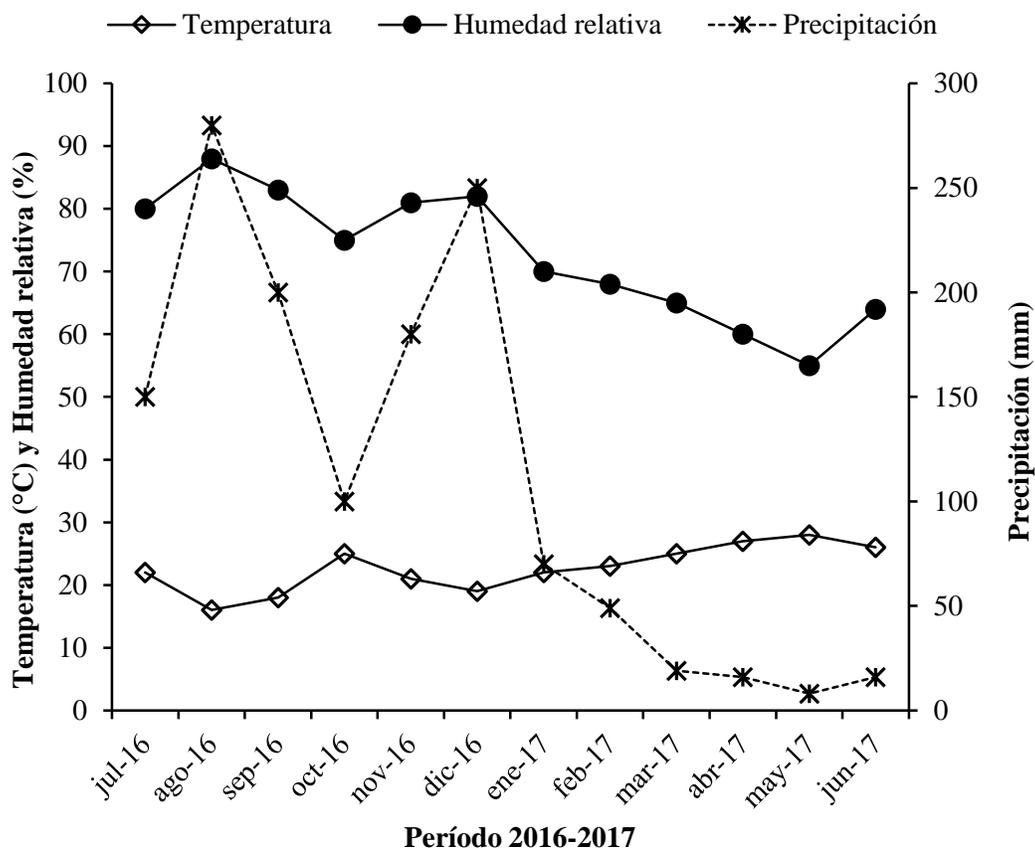


Figura 22. Fluctuación de la temperatura (T°C), humedad relativa (%) y precipitación (mm) en el período 2016-2017 en el departamento de Matagalpa.

En el período 2017-2018, la temperatura, humedad relativa y precipitación promedio fue de 23°C, 77% y 107 mm respectivamente. La temperatura más baja se presentó en septiembre 2017 (18°C) y la más alta en marzo 2018 (26°C). La humedad relativa más baja se observó en los meses de noviembre 2017, febrero y marzo 2018 (72%), mientras que el porcentaje de humedad relativa más alto se presentó en septiembre 2017 (88%). Con respecto a la precipitación, el pico más alto se presentó en septiembre 2017 y el más bajo en marzo 2018 con 230 mm y 20 mm respectivamente (Figura 23).

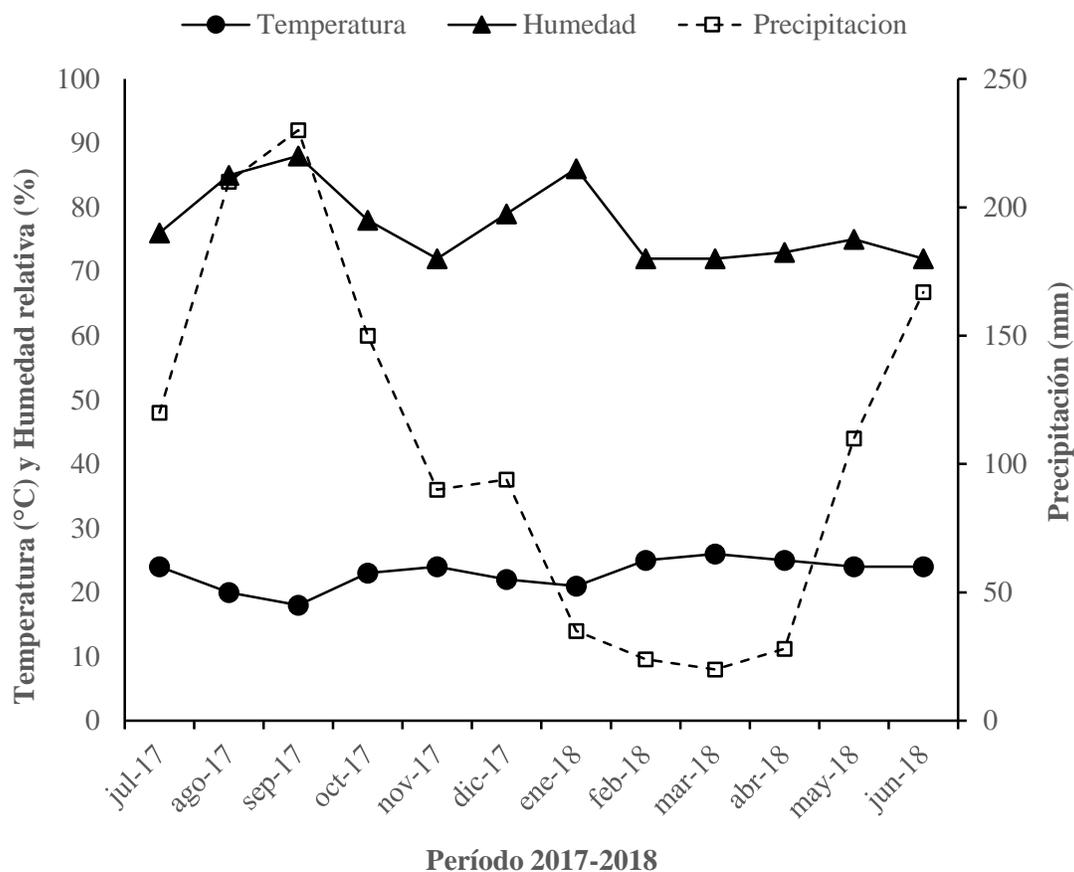


Figura 23. Fluctuación de la temperatura (T°C), humedad relativa (%) y precipitación (mm) en el período 2017-2018 en el departamento de Matagalpa.

4.3.1. Relación entre variables climáticas e infestación de broca

En los períodos 2015-2016 y 2016-2017, no se encontró correlación entre los porcentajes de infestación de broca y las variables climáticas incluidas en el estudio (temperatura, humedad relativa y precipitación). En el período 2017-2018, solamente se encontró correlación entre la temperatura y el porcentaje de infestación, siendo esta una relación negativa alta y significativa ($r = -0.73$; $p = 0.007$), lo cual indicaría que hay una tendencia de disminución de los porcentajes de infestación con el aumento de la temperatura. Esta tendencia fue confirmada con el análisis de regresión ($p = 0.007$; $\alpha = 0.05$) (Figura 24).

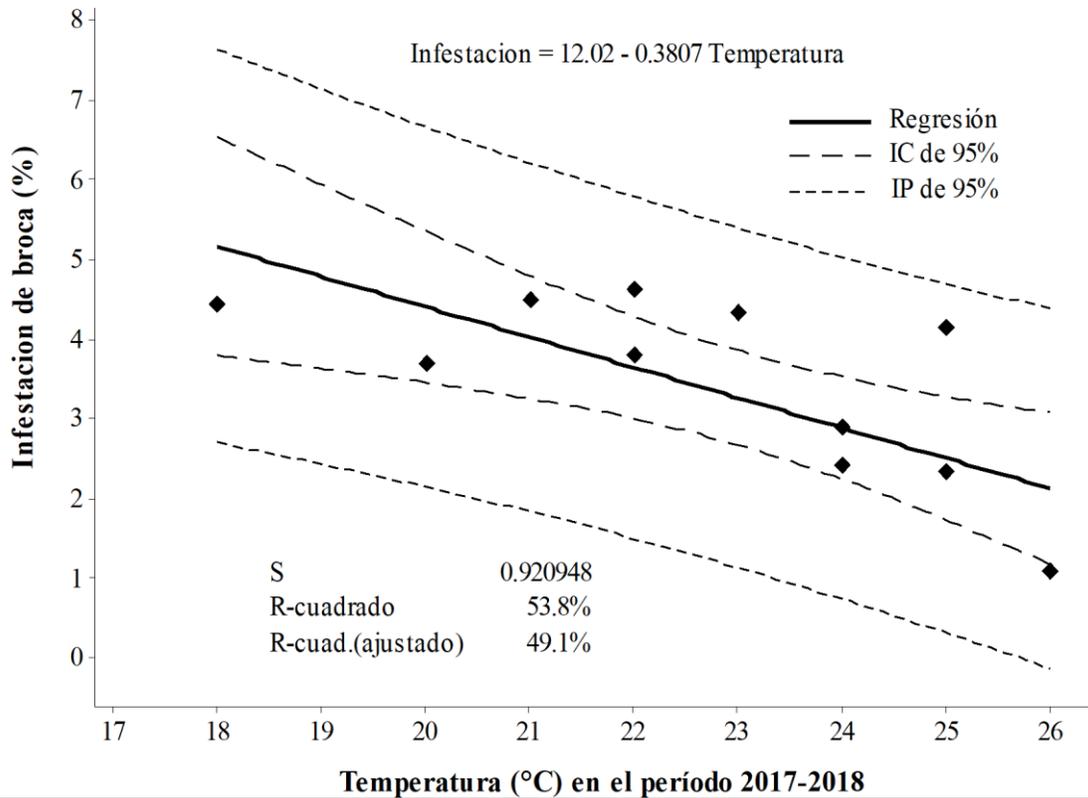


Figura 24. Relación entre la infestación (%) de broca del café (*Hypothenemus hampei*) y la temperatura promedio en el periodo 2017-2018.

La literatura reporta que la distribución de la broca y el daño al cultivo de café están relacionados con varios factores ambientales. Por ejemplo, se han encontrado relaciones positivas entre la infestación de broca y la altitud (Damon, 2000; Jaramillo *et al.*, 2011), relaciones positivas entre el número de individuos de broca y la temperatura (Teodoro *et al.*, 2008; Jaramillo *et al.*, 2011), y niveles más altos de infestación en años secos en comparación con años más húmedos (Constantino, 2010; Rodríguez *et al.*, 2013; Mariño *et al.*, 2016).

En el caso de *H. hampei*, se ha reportado que las temperaturas promedio diarias mayores de 26°C podrían conducir a una reducción de la tasa intrínseca máxima de desarrollo y, en consecuencia, a una menor actividad (infestación) de esta plaga en las plantaciones de café (Jaramillo *et al.*, 2009). Este mismo fenómeno fue observado en el presente estudio, ya que la infestación de broca tuvo una tendencia a la disminución a medida que la temperatura se fue incrementando (Figura 24).

4.3.2. Relación entre variables climáticas e incidencia de roya

Se correlacionó las variables climáticas (temperatura, precipitación y humedad relativa) con la incidencia de roya en el período 2015-2016. Se encontró una correlación negativa ($r = -0.88$; $p < 0.0001$) entre la temperatura y la incidencia de roya, lo cual indica que a menores temperaturas la incidencia es mayor y viceversa, a temperaturas más altas, la incidencia disminuye. Esta tendencia fue corroborada con el análisis de regresión, cuya probabilidad fue altamente significativa ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$). No se encontró correlación entre humedad relativa, precipitación e incidencia de roya durante el período 2015-2016 (Figura 25)

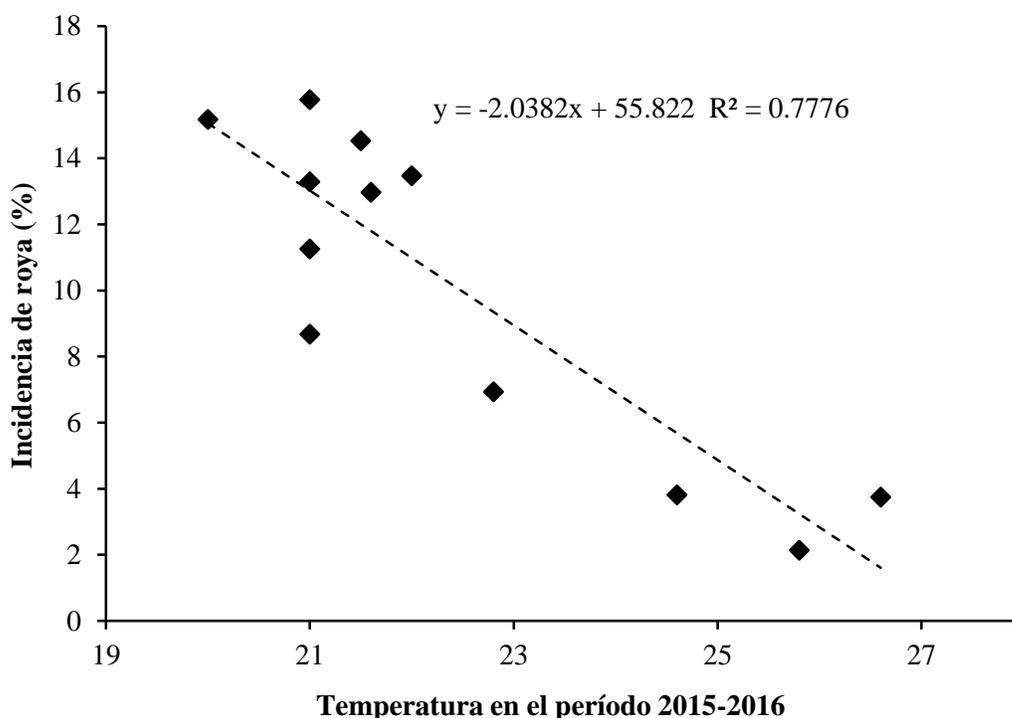


Figura 25. Relación entre la incidencia (%) de roya (*Hemileia vastatrix*) y la temperatura promedio en el periodo 2015-2016.

En el período 2016-2017, se encontró correlación altamente significativa ($p < 0.0001$) entre los porcentajes de incidencia de roya y las variables de temperatura, humedad relativa y precipitación. De acuerdo al presente estudio, la incidencia de roya fue afectada negativamente por el aumento de la temperatura ($r = -0.94$; $p < 0.0001$), ya que se observó una tendencia de disminución de los porcentajes de incidencia de roya con el aumento de la

temperatura (Cuadro 17). Esta observación fue respaldada por el análisis de regresión cuya probabilidad fue altamente significativa ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$) (Figura 26).

La humedad relativa y la precipitación influenciaron de forma positiva la incidencia de roya en el período 2016-2017, ya que al aumentar los valores de estas dos variables climáticas también se incrementaron los valores promedio de incidencia (%) de roya. Los coeficientes de correlación de Pearson (r) fueron de 0.94 y 0.98 para precipitación y humedad relativa respectivamente con una $p < 0.0001$ (Cuadro 17). La relación entre la incidencia, humedad relativa y precipitación también fue examinada a través de un análisis de regresión, cuya probabilidad fue altamente significativa ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$) (Figuras 27 y 28).

Cuadro 17. Correlación entre incidencia (%) de roya y variables climáticas de temperatura (°C), humedad relativa (%) y precipitación (mm) en el período 2016-2017.

Variable climática	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)
Precipitación	-0.926 ^r 0.000 ^p		
Humedad	-0.922 0.000	0.947 0.000	
Incidencia	-0.938 0.000	0.936 0.000	0.977 0.000

r = coeficiente de correlación de Pearson; p = probabilidad

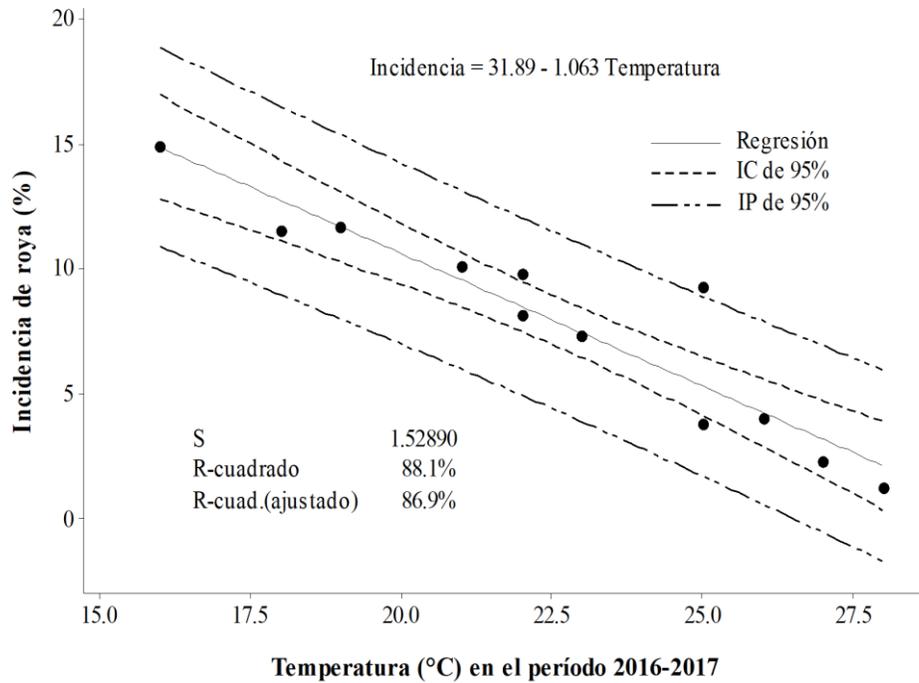


Figura 26. Relación entre la incidencia (%) de roya (*Hemileia vastatrix*) y la temperatura promedio en el período 2016-2017.

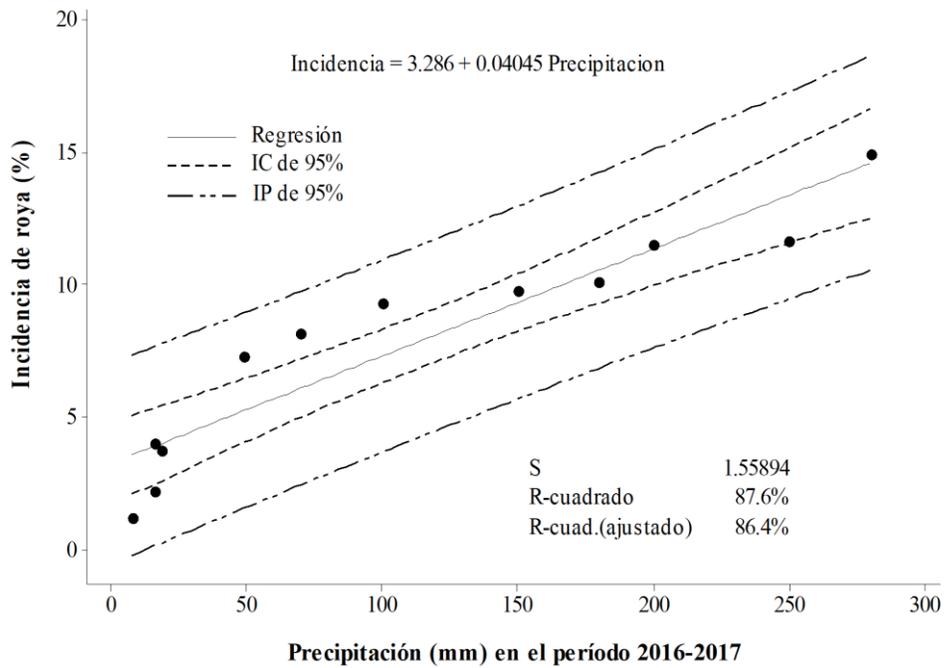


Figura 27. Relación entre la incidencia (%) de roya (*Hemileia vastatrix*) y la precipitación promedio en el período 2016-2017.

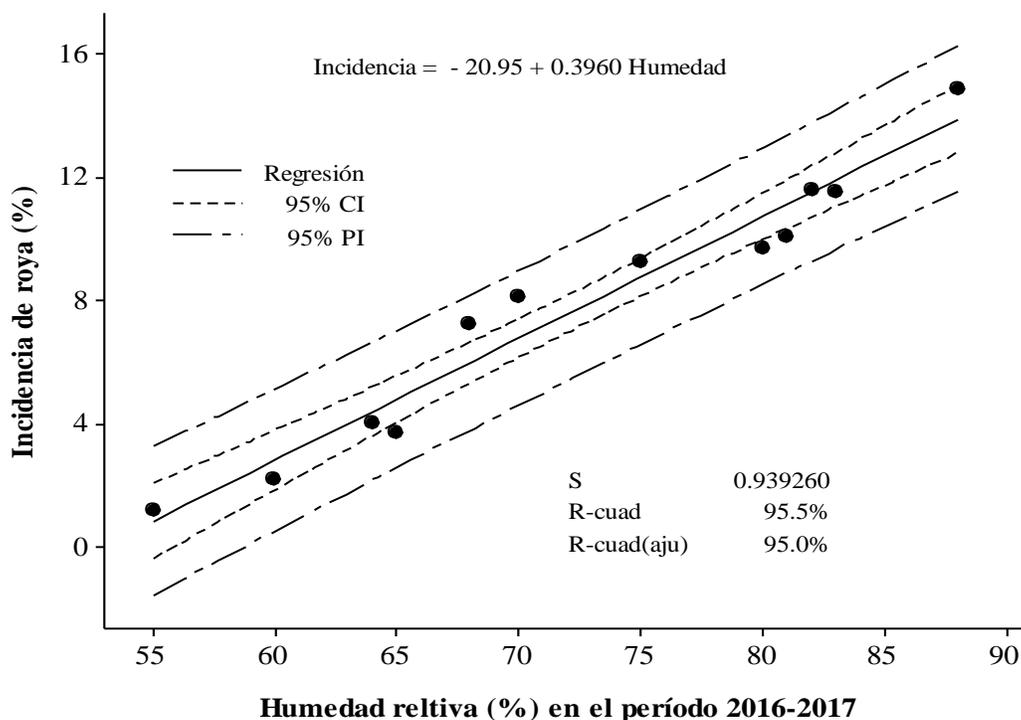


Figura 28. Relación entre la incidencia (%) de roya (*Hemileia vastatrix*) y la humedad relativa promedio en el período 2016-2017.

En el período 2017-2018, se encontró una correlación altamente significativa entre los porcentajes de incidencia de roya, la temperatura promedio y la humedad relativa. La temperatura influyó negativamente en el comportamiento de la incidencia de roya en el período 2017-2018, ya que se observó una tendencia de disminución de los porcentajes de incidencia con el aumento de la temperatura. Esta relación entre la incidencia de roya y la temperatura fue negativa alta y significativa ($r = -0.87$; $p < 0.0001$) (Cuadro 17). Esta observación fue respaldada por el análisis de regresión cuya probabilidad fue altamente significativa ($p < 0.0001$; $\alpha = 0.05$) (Figura 29).

La humedad relativa influyó de forma positiva la incidencia de roya en el período 2017-2018, ya que al aumentar los valores de la humedad relativa también se incrementaron los valores promedio de incidencia (%) de roya. El coeficiente de correlación de Pearson (r) fue de 0.83 con una $p < 0.001$ (Cuadro 18). La relación entre la incidencia de roya y la humedad relativa también fue examinada a través de un análisis de regresión, cuya probabilidad fue

significativa ($p = 0.001$; $\alpha = 0.05$) (Figura 30). No se encontró correlación entre la incidencia de roya y la precipitación, ya que el coeficiente de correlación de Pearson (r) fue de 0.39, mientras que la probabilidad (p) fue de 0.204 (Cuadro 18).

Cuadro 18. Correlación entre incidencia (%) de roya y variables climáticas de temperatura (°C), humedad relativa (%) y precipitación (mm) en el período 2017-2018.

Variable climática	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)
Precipitación	-0.695 ^r 0.012 ^p		
Humedad	-0.947 0.000	0.522 0.081	
Incidencia	-0.866 0.000	0.395 0.204	0.833 0.001

r = coeficiente de correlación de Pearson; p = probabilidad

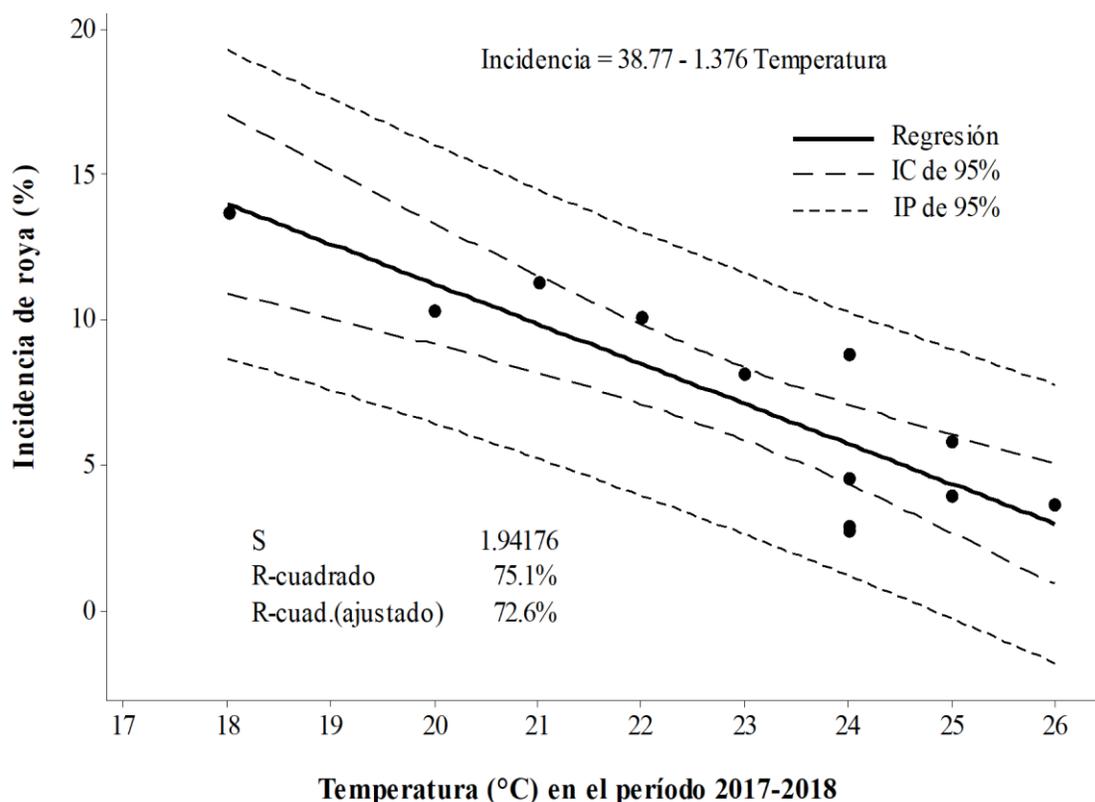


Figura 29. Relación entre la incidencia (%) de roya (*Hemileia vastatrix*) y la temperatura promedio en el período 2017-2018.

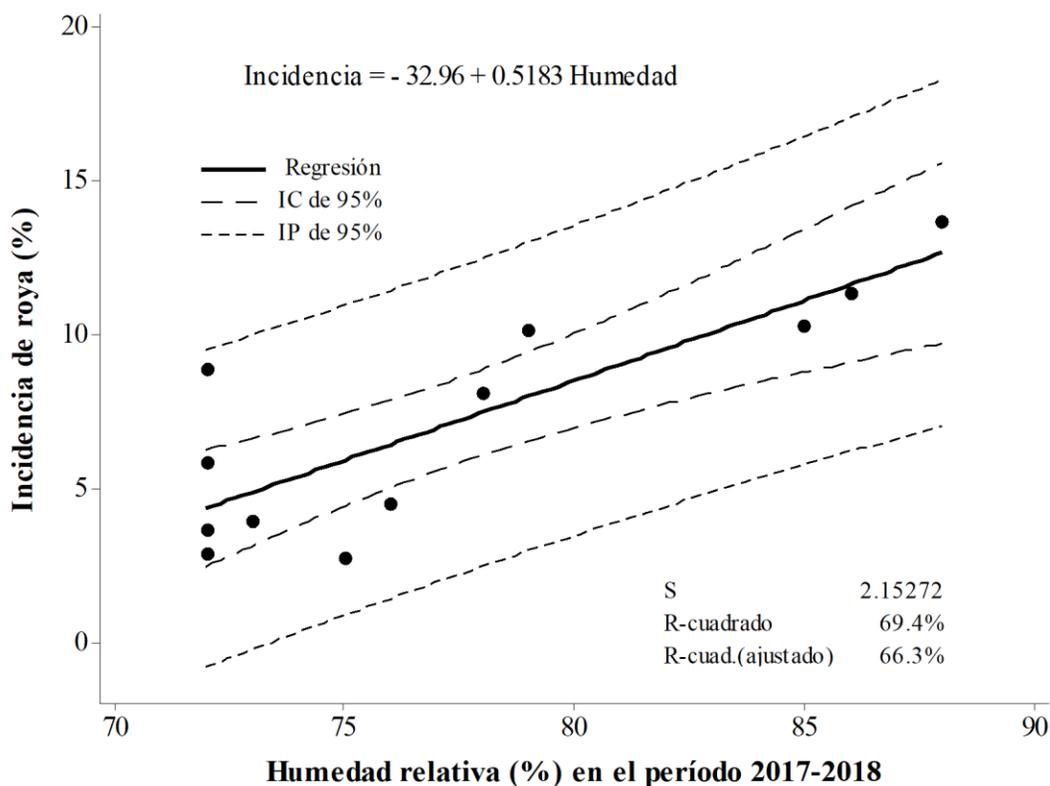


Figura 30. Relación entre la incidencia (%) de roya (*Hemileia vastatrix*) y la humedad relativa promedio en el período 2017-2018.

Las principales variables relacionadas con el clima que afectan el comportamiento de las epidemias de roya en el cultivo de café incluyen la temperatura, la humedad y el viento. Estas variables influyen en las diferentes etapas del ciclo de infección del patógeno *Hemileia vastatrix*: la temperatura afecta la germinación, la infección y el tiempo requerido para que el hongo produzca nuevas esporas; la humedad (en forma de humedad del suelo, humedad de las hojas o lluvia) afecta la germinación, la infección y la dispersión de esporas; y el viento afecta principalmente la dispersión, aunque también puede influir en la temperatura y la humedad (Rountree y Guido, 2016).

V. CONCLUSIONES

- El daño o infestación de broca se situó por debajo del umbral económico de daño que está establecido para esta plaga.
- La incidencia de roya sobrepasó por mucho el umbral económico de daño que se ha establecido para esta enfermedad y podrían producirse epidemias severas de roya si no se actúa oportunamente.
- La variable climática que más se correlacionó con la infestación de broca fue la temperatura y en el caso de la roya fue la temperatura y la humedad relativa.

VI. RECOMENDACIONES

- Se deben hacer investigaciones periódicas sobre el comportamiento de la broca haciendo énfasis en el ciclo de vida del insecto y la fenología del cultivo de café.
- En el caso de roya deberían realizarse estudios epidemiológicos más profundos con el fin de desarrollar sistemas de pronóstico que ayuden al caficultor en la toma de decisiones a fin de evitar epidemias severas de esta enfermedad.
- El SAT-CAFÉ debería compararse con otros métodos de muestreo de broca y café con el fin de desarrollar un método que sea eficaz, sencillo de aplicar y que consuma poco tiempo.

VII. LITERATURA CITADA

- Aristizábal, L.F., Jiménez, M., Bustillo, A.E., Trujillo, H.I., and Arthurs, S.P. 2015. Monitoring Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae), Populations with Alcohol-Baited Funnel Traps in Coffee Farms in Colombia. Florida Entomologist 98:381-383.
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A.J. and Morales, C. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. Food Security 7:303-321.
- Baker, P. S. 1989. A sampling plan for a control project against the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Mexico. Tropical Pest Management 35:169-172.
- Bustillo, P., A. E., Cárdenas, M., R., Villalba, G., D.A., Benavides, M., P.; Orozco, H., J., Posada, F., F. J. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Centro Nacional de Investigaciones del Café CENICAFÉ. Chinchiná (Colombia). 134 p.
- Bustillo, P., A. E., y Mejía, M. C. G. 2003. Un plan de muestreo más rápido para determinar la infestación de broca en un cafetal. Memorias, Curso Tecnología y Equipos de Aspersión para el Control de la Broca del Café. Chinchiná (Colombia), Marzo 25-27. 40 p.
- Bustillo Pardey, A.E. 2007. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei*. Centro Nacional de Investigaciones del Café CENICAFÉ. Chinchiná (Colombia). 41 p.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE). 1993a. Como determinar la infestación de broca en un cafetal. Brocarta N° 5. 2 p.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE). 1993b. Otra forma de conocer la infestación por broca en un cafetal. Brocarta N° 6. 2 p.
- Cerda, R., Avelino, J., Gary, C., Tixier, P., Lechevallier, E., Allinne, C. 2017. Primary and secondary yield losses caused by pests and diseases: Assessment and Modeling in Coffee. PLoS ONE 12:1-17.
- Cressey, D. 2013. Coffee rust regains foothold. Nature 493:587.
- DaMatta, F.M., Ronch, C.P., Maestri, M., Barros, R.S. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. Brazilian Journal of Plant Physiology 19:485-510.

- Damon, A. 2000. A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Bulletin of Entomological Research 90:453-465.
- Fernandes, F. L., Picanço, M. C., Fernandes, M. E. S., Dângelo, R. A. C., Souza, F. F. and Guedes, R. N. C. 2015. A new and highly effective sampling plan using attractant-baited traps for the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). Journal of Pest Science 88:289-299.
- FUNIDES. 2012. Programa de mejoramiento productivo de la caficultura para pequeños y medianos productores. Fundación Nicaragüense para el Desarrollo Económico y Social (FUNIDES). Managua, Nicaragua. 17 p.
- Guharay, F., Monterrey, J., Monterroso, D., y Staver, Ch. 2000. Manejo Integrado de plagas en el cultivo de café. Managua, Nicaragua. INPASA. CATIE. Serie Técnica, Manual Técnico No. 44. 267 p.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M.P. 2010. Metodología de la Investigación. Quinta Edición. México, D.F. McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. DE C.V. 656 p.
- Hoffmann, J. 2014. The World Atlas of Coffee: From Beans to Brewing – Coffees Explored, Explained and Enjoyed. London: James Hoffman Octopus Publishing Group.
- ICO. 2016. World Coffee Production. International Coffee Organization. <http://www.ico.org/prices/po-production.pdf> [accessed 16 May 2016].
- Jaramillo, J., Olaye, A.C., Kamonjo, C., Jaramillo, A., Vega, F.E., Poehling, M., and Borgemeister, C. 2009. Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of climate change impact on a tropical insect. PLoS ONE 4 (8): e6487.
- Jaramillo, J., Muchugu, E., Vega, F.E., Davis, A., Borgemeister, C., and A.Chabi-Olaye, A. 2011. Some like it hot: the influence and implications of climate change on coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) and coffee production in East Africa. PLoS One. 6: e24528.
- Mariño, Y.A., Pérez, M.E., Gallardo, F., Trifilio, M., Cruz, M., and P. Bayman, P. 2016. Sun vs. shade affects infestation, total population and sex ratio of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Puerto Rico. Agriculture Ecosystems & Environment 222:258-266.
- Mariño, Y.A., Vega, V.J., García, J.M., Verle Rodrigues, J.C., García, N.M., and Bayman, P. 2017. The Coffee Berry Borer (Coleoptera: Curculionidae) in Puerto Rico: Distribution, infestation, and population per fruit. Journal of Insect Science 58:1-8.

- Mejía, P. 1998. Manejo Integrado de la Broca del Café. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Colombia.
- Muller R.A., Berry D., Avelino J., Bieysse D. 2009. Coffee diseases. In: Wintgens Jean Nicolas (ed.). Coffee: growing, processing, sustainable production : A guidebook for growers, processors, traders, and researchers. Weinheim : Wiley-VCH, p. 495-549.
- Pereira, A. E., Vilela, E. F., Tinoco, R. S., De Lima, J. O. G., Fantine, A. K., Morais, E. G. and França, C. F. 2012. Correlation between numbers captured and infestation levels of the coffee berry-borer, *Hypothenemus hampei*: A preliminary basis for an action threshold using baited traps. International Journal of Pest Management 58:183-190.
- Rivillas Osorio, C.A., Leguizamón Caycedo, J.E., y Gil Vallejo, L.F. 1999. Recomendaciones para el manejo de la roya del cafeto en Colombia. Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia. 37 p.
- Rivillas Osorio, C.A., Serna Giraldo, C.A., Cristancho Ardila, M.A., y Gaitán Bustamante, A.L. 2011. La roya del cafeto en Colombia: impacto, manejo y costos de control. Boletín Técnico Cenicafé 36. 53 p.
- Rodríguez D., Cure, J.R., Gutierrez, A.P., Cotes, J.M. and Cantor, F. 2013. A coffee agroecosystem model: II. Dynamics of coffee berry borer. Ecological Modelling 248:203-214.
- Rountree, V., and Guido, Z. 2016. Links between coffee leaf rust, weather, and climate: A Literature Review. International Research and Applications Project, Univeristy of Arizona and Columbia University. 12 p.
- Rozo, Y., Escobar, C., Gaitán, A. and Cristancho, M. 2012. Aggressiveness and genetic diversity of *Hemileia vastatrix* during an epidemic in Colombia. Journal of Phytopathology 160:732-740.
- Ruiz, R., Uribe, P. T. and Riley, J. 2000. The effect of sample size and spatial scale on Taylor's power law parameters for coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae). Tropical Agriculture 77:249-261.
- Sierra S., C. A., y Montoya R., E. C. 1993. Control de la roya del cafeto con base en los niveles de infección. Avances Técnicos Cenicafé 195:1-4.
- Sierra S., C. A., Montoya R., E. C., y Vélez R., C. 1995. Nivel de daño y umbral económico para la roya del cafeto. Fitopatología Colombiana 19:43-48.
- Smith, H.M., Samach, A. 2013. Constraints to obtaining consistent annual yields in perennial tree crops. I: Heavy fruit load dominates over vegetative growth. Plant Sciences 207:158-67.

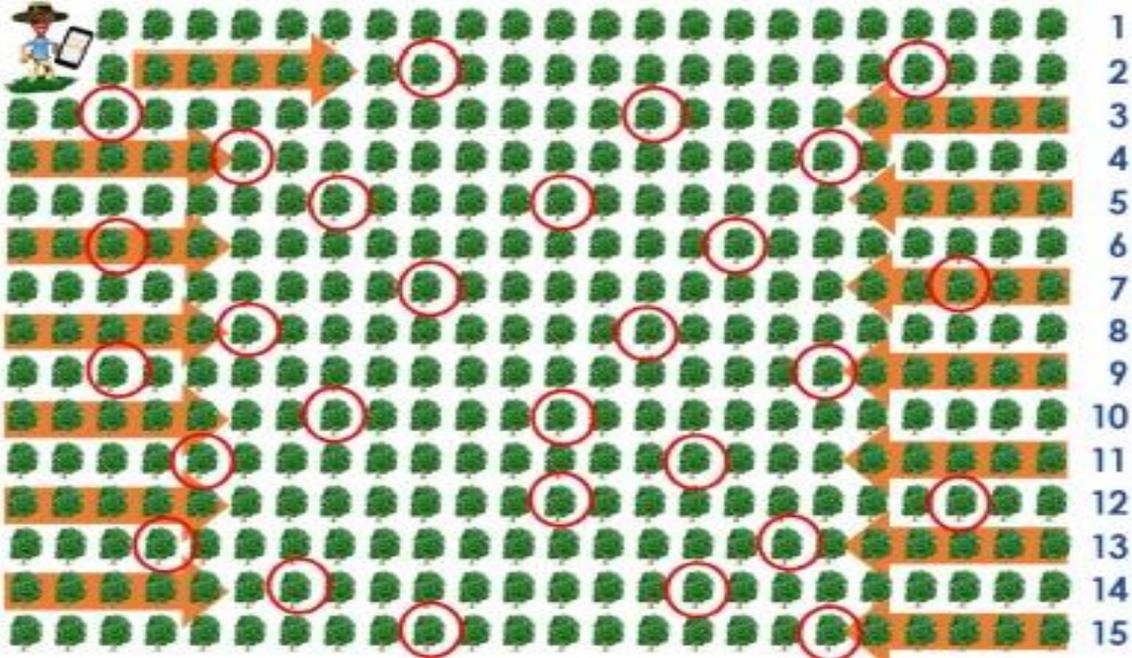
- Souza JC, Reis PR. 1997. Broca-do-café: histórico, biologia, reconhecimento, prejuízos, monitoramento e controle. Belo Horizonte: EPAMIG, 2nd Ed., 40 p. (Boletim Técnico, 50).
- Talhinhas, P., Batista, D., Diniz, I., Vieira, A., Silva, D.N., Loureiro, A., Tavares, S., Pereira, A.P., Azinheira, H.G., Guerra-Guimarães, L., Várzea, V., and Silva, M.D.C. 2017. The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. *Molecular Plant Pathology* 18:1039-1051.
- Teodoro, A., A. M. Klein, and T. Tschardt. 2008. Environmentally mediated coffee pest densities in relation to agroforestry management, using hierarchical partitioning analyses. *Agriculture Ecosystems & Environment* 125:120-126.
- Trujillo E., H.I., Aristizábal A., L.F., Bustillo P., A.E., Jiménez Q., M. 2006. Evaluación de métodos para cuantificar poblaciones de broca del café, *Hypothenemus hampei* Ferrari) (Coleoptera:Curculionidae: Scolytinae), en fincas de caficultores experimentadores. *Revista Colombiana de Entomología* 32:39-44.
- Wegbe, K., Cilas, C., Decazy, B., Alauzet, C., and Dufour, B. 2003. Estimation of production losses caused by the coffee berry borer (Coleoptera:Scolytidae) and calculation of an economic damage threshold in Togolese coffee plots. *Journal of Economic Entomology* 96:1473-1478.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Vista satelital de la ubicación de las 15 fincas seleccionadas en seis municipios del departamento de Matagalpa.



Anexo 2. Esquema de monitoreo de roya y broca en una hectárea de café utilizando la metodología de guardia griega.



Anexo 3. Grano de café con daño de broca (*Hypothenemus hampei*).



Anexo 4. Hoja de café con signos y síntomas de roya (*Hemileia vastatrix*).



Anexo 5. Realizando monitoreo de broca y roya con el dispositivo utilizando el SAT CAFE.

