CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

Análisis de las condiciones de manejo que propiciaron el impacto de la roya *(Hemileia vastatrix)* en la zona cafetalera de los municipios de Jinotega, el Tuma-La Dalia y San Ramón, Nicaragua

Por

Rogelio Antonio Villarreyna Acuña

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Sistemas Agrícolas Sostenibles

Turrialba, Costa Rica, 2014

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

***MAGISTER SCIENTIAE* EN SISTEMAS AGRÍCOLAS SOSTENIBLES**

FIRMANTES:

Jacques Avelino, Ph.D.
Director de tesis

Raffaele Vignola, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

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

Rolando Cerda, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Francisco Jiménez, Dr. Sc.
Decano Programa de Posgrado

Rogelio Antonio Villarreyna Acuña
Candidato

DEDICATORIA

A mis padres: Rogelio Villarreyna Flores y Lucía Acuña Gámez por ser ejemplos de vida, orientadores y facilitadores en mi formación, como hombre y mujer sabios, emprendedores y de actitudes.

A mi hijo, Ángel Famnuel Villarreyna Chavarría por inspirarme a ser cada día mejor

A mis hermanos y sus familias por ser fuente de apoyo, principalmente moral, en todo tiempo

En memoria de mi amigo Missael de Jesús Rocha Molina por haber sido fuente de motivación para iniciar mis estudios de maestrías.

En memoria de mis abuelos Justo Gámez y Simona Acuña por sus buenos consejos y sus deseos de verme siempre cumplir las metas propuestas.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios padre eterno por darme el don de la vida, la fuerza y la sabiduría necesaria para culminar mi meta.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), por haber financiado económicamente mis estudios y hacer realidad una de mis grandes metas.

Al Programa Agroambiental Mesoamericano, financiado por la Real Embajada de Noruega (MAP-Noruega) por su contribución económica para mi investigación.

A Julia Baumgartner por haberme acompañado en todo este proceso, como una buena compañera y amiga y por haber llegado conmigo hasta el final en medio de todas las dificultades.

A mi director de tesis, Ph.D. Jacques Avelino, por su buen desempeño como guía y consejero, por todo el seguimiento, apoyo, conocimientos brindados y sus valiosos aportes técnicos y científicos durante todo el proceso de la investigación.

A Mirna Barrios por su valioso apoyo durante mi fase de campo y por estar siempre pendiente mientras estuve internado en los cafetales.

A Sergio Vílchez por su apoyo incondicional y paciencia durante el proceso de los análisis estadísticos.

A los miembros del comité de tesis M.Sc. Rolando H. Cerda, Ph.D. Elias de Melo Virginio Filho, Ph.D. Raffaele Vignola por su apoyo brindado durante el desarrollo de este estudio.

A todos los productores de las comunidades en estudio de los municipio, Jinotega, Tuma-La Dalia y San Ramón por brindarme con amabilidad la información necesaria para el estudio.

A todas las organizaciones y Centrales de Cooperativas (Soppexcca, Funjides, Cecosprocaes, Coomprocom, Uca-La Dalia, Coop. Augusto Cesar) por facilitarme el acceso hacia los productores y en especial a los socios de la Cooperativa La Unión por facilitarme el alojamiento.

A todos los colegas de la promoción 2013-2014 por ser personas de grandes actitudes, valores y por haber sido fuente de motivación en los tiempos difíciles.

BIOGRAFÍA

El autor nació en el municipio de Estelí, departamento de Estelí, Nicaragua, específicamente en la comunidad Sontule-Miraflor. Realizó sus estudios superiores en la Universidad Católica Agropecuaria del Trópico Seco de Estelí, en la carrera de Ingeniería agropecuaria. Trabajó como extensionista rural, en la promoción de la agricultura orgánica sostenible y diversificación productiva con las organizaciones no gubernamentales; Escuelas Radiofónicas de Nicaragua, proyecto Luz Verde y la Unión de Cooperativas Agropecuarias de Miraflor. En el 2013, inicia estudios en la maestría Sistemas Agrícolas Sostenibles, en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I 1

1.1 INTRODUCCIÓN 1
1.2 OBJETIVOS 3
1.2.1 Objetivo general 3
1.2.2 Objetivos específicos 3
1.3 MARCO CONCEPTUAL 4
1.3.1. La roya del café 4
1.3.1.1 Ciclo Biológico de la enfermedad 5
1.3.1.2. Epidemiología 6
1.3.2. Relación entre la incidencia y severidad de la enfermedad y las principales prácticas de manejo 8
1.3.2.1. Sombra en los cafetales 8
1.3.2.2. Manejo de tejido de los cafetales 9
1.3.2.3. Distancia de Siembra 9
1.3.2.4. Fertilización de las plantas de café 10
1.3.2.5. Roya y Uso de variedades resistentes 10
1.3.2.6. Control químico de la roya del café 11
1.3.3. Historial de la epidemia en Centroamérica y Nicaragua 11
1.4. PRINCIPALES RESULTADOS 12
1.5. PRINCIPALES CONCLUSIONES 13
1.6. LITERATURA CITADA 14

CAPÍTULO II 18

2. ARTÍCULO 1. CONDICIONES DE MANEJO QUE PROPICIARON EL IMPACTO DE LA ROYA *(HEMILEIA VASTATRIX)* EN LA ZONA CAFETALERA DE LOS MUNICIPIOS DE JINOTEGA Y EL TUMA-LA DALIA, NICARAGUA 18
2.1. INTRODUCCIÓN 20
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS 21
2.2.1 Ubicación de la zona de estudio 21
2.2.1.1. Caracterización del municipio de Jinotega 22
2.2.1.2. Caracterización del municipio Tuma-La Dalia 23
2.2.1.3. Caracterización del municipio San Ramón 24
2.2.1.4. Descripción del impacto de roya 2012-2013 24
2.2.2. Identificación de la zona fuertemente afectada por la enfermedad 24
2.2.3. Selección de las fincas 25
2.2.4. Determinación del manejo del cafetal 26
2.2.5. Determinación de la fertilización del cafetal 26
2.2.6. Caracterización del aspecto socioeconómico 26
2.2.7. Caracterización de la estructura de la parcela 26
2.2.8. Caracterización de aspectos ambientales 28
2.2.9. Evaluación del impacto de la roya 28
2.2.9.1. Características de impacto evaluadas en campo 29

2.2.10. Descripción de las variables utilizadas para el estudio *30*
En el cuadro 1, se hace una descripción de todas las variables utilizadas para el estudio. 30
2.2.10.1. Variables analizadas 30
2.2.11 Análisis estadístico *33*
2.3. RESULTADOS 34
2.3.1. Tipología o clases de impacto *34*
2.3.2. Selección de variables relacionadas con el impacto de roya *35*
2.3.3. Caracterización de la estructura de parcela en relación con el impacto de roya *38*
2.3.4. Tipología de manejo, fertilización y aspectos socioeconómicos *39*
2.3.4.1 Tipología de manejo 39
2.3.4.2. Tipología de fertilización 41
2.3.4.3. Tipología de aspectos socioeconómicos 42
2.3.5. Relación entre prácticas de manejo, fertilización, aspectos socioeconómicos y los impactos de roya, 2012 ..... *44*
2.3.6. Determinación de las variables que más explican el impacto de roya, según orden de importancia *45*
2.4. DISCUSIÓN 45
2.4.1. Relación entre prácticas de manejo, fertilización, aspectos socioeconómicos y clases de impacto de roya 2012 ..... *45*
2.4.2. Manejo y fertilización *46*
2.4.3. Aspectos socioeconómicos *54*
2.4.4. Cómo lograr manejar la roya *54*
2.5. CONCLUSIÓN 57
2.6. RECOMENDACIONES 58
2.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 59
2.8. ANEXOS 62
2.8.1. Frases de los productores menos afectados por roya en respuesta a la pregunta ¿Por qué cree usted que su cafetal fue menos afectado que otros cafetales vecinos? *63*
2.8.2. Frases de los productores más afectados por roya en respuesta a la pregunta ¿Por qué cree usted que su cafetal fue más afectado que otros cafetales vecinos? *66*

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Lista de variables que describen cada parcela de café 31
Cuadro 2. Descripción de las clases de impacto y la contribución de cada variable cualitativa, a su formación, bajo el valor Chi2 y P, a través de una tabla de contingencia 35
Cuadro 3. Descripción de las clases de impacto y la contribución de cada variable cuantitativa, a su formación, bajo el valor *H y P*, a través de una prueba de la varianza no paramétrica (Kruskal Wallis) 36
Cuadro 4. Variables seleccionadas, con base en los resultados de la prueba chi^2 (P<0.1), aplicada a tablas de contingencia de la forma (variable codificada x clases de impacto de roya) 36
Cuadro 5. Variables cuantitativas seleccionadas, a través un de análisis de la varianza no paramétrica (Kruskal Wallis), bajo el valor *H* y un *P≤0.10* (variable codificada x clases de impacto de roya) 37
Cuadro 6. Variables cualitativas no seleccionadas y resultados de la prueba chi^2 analizado en tablas de contingencia de la forma (variable codificada x clases de impacto de roya) 38
Cuadro 7. Variables cuantitativas no seleccionadas, a través de análisis de la varianza no paramétrica Kruskal Wallis (según valor *H* y *P≥0.10*), (Variable codificada por clases de impacto) 39
Cuadro 8. Variables cualitativas de estructura de parcela no seleccionadas y resultados de la prueba chi^2 analizado en tablas de contingencia de la forma (variable codificada x clases de impacto de roya) 40
Cuadro 9. Variables cuantitativas de estructura de parcela no seleccionadas, a través de análisis de la varianza no paramétrica Kruskal Wallis (según valor *H* y *P≥0.10*), (Variable codificada por clases de impacto) 40
Cuadro 10. Descripción de las variables cualitativas de prácticas de manejo (significativas) 41
Cuadro 11. Descripción de las variables cuantitativas de prácticas de manejo (significativas), variables cuantitativas 42
Cuadro 12. Descripción de las variables de prácticas de fertilización (significativas) 43
Cuadro 13. Descripción de las clases de aspectos socioeconómicos (significativas), variables cualitativas 44
Cuadro 14. Descripción de las variables de aspectos socioeconómicos (significativas), variables cuantitativas 44
Cuadro 15. Relación entre impacto de roya del café y las clases de manejo, fertilización y aspectos socioeconómicos 45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Observación Microscópica de uredosporas del hongo *Hemileia vastatrix* 5
Figura 2. Ciclo biológico de la roya del café 6
Figura 3. Representación del ciclo de vida de *Hemileia vastatrix* (líneas continuas) y factores que lo afectan (líneas discontinuas).Tomado de Avelino y Rivas (2013). 7
Figura 4. Mapa de la zona de estudio. Los puntos negros corresponden a las fincas estudiadas . 22

Figura 5. Par de fincas estudiadas. A, finca recepada consecuentemente al fuerte ataque de roya durante 2012; B, finca muy poco afectada. Ambas fincas se encuentran separadas únicamente por la cerca, pero, con diferencias en el manejo. Localidad: Jiguina-Jinotega (Foto Rogelio Villarreyna)..... 25
Figura 6. Ubicación de las unidades de muestreo dentro de cada parcela de estudio. En el centro, se muestra la parcela pequeña de 400 m^2 (plantas rojas son unidad de muestreo y plantas negras son plantas de la parcela). Se presenta también la ampliación de la parcela en 1000 m^2 para variables de sombra. 28
Figura 7. Representación de las unidades de muestreo (plantas verdes), utilizadas para medir productividad e intensidad de poda (rectángulo) (Figura a). La figura b) muestra la selección del rango de ramas productivas y ubicación de los estratos. 29
Figura 8. Diagrama del análisis estadístico. 34
Figura 9. Representación gráfica de las asociaciones significativas, a través de un análisis de correspondencia. La figura (7.1), muestra el resultado con dos ejes (1 y 2) y la figura (7.2) muestra el resultado con tres ejes (1 y 3) 47
Figura 10. Variables que más explican el impacto de roya, según el coeficiente de Gini. La explicación de cada variable se muestra en la descripción correspondiente a cada tipología. 49
Figura 11. Esquema de las prácticas de manejo que ayudan a reducir la roya del café (cuadros color rosa). En los cuadros en azul, se muestran los meses recomendables para realizar cada práctica y en los cuadros en verde se muestran las etapas fenológicas del café en los diferentes meses del año en una zona baja, según Guharay *et al.* (2000). 55
Figura 12. Esquema de las prácticas de manejo que ayudan a reducir la roya del café (cuadros color rosa). En los cuadros en azul, se muestran los meses recomendables para realizar cada práctica y en los cuadros en verde se muestran las etapas fenológicas del café en los diferentes meses del año en una zona alta, según Guharay *et al.* (2000). 56

LISTA DE ACRÓNIMOS

MAGFOR: Ministerio Agropecuario y Forestal

CONACAFE: Consejo Nacional del Café, Nicaragua

MAP-Noruega: Programa Agroambiental Mesoamericano, financiado por la Real Embajada Noruega

km: Kilómetro

km^2: Kilómetros cuadrados

msnm: Metros sobre el nivel del mar

mm: Milímetros

ha. : Hectáreas

mz. : Manzanas

PIB: Producto Interno Bruto

UCA SOPPEXCCA: Unión de Cooperativas Agropecuarias

FUNJUDES: Fundación Jinotega para el Desarrollo

CECOSPROCAES: Central de Cooperativas de Servicios Múltiples, productores de cafés especiales

UCA LA DALIA: Unión de Cooperativas Agropecuarias de la Dalia, Matagalpa

kg: Kilogramo

g: gramos

RESUMEN

Con la finalidad de tener una mejor comprensión del efecto del manejo en la epidemia de roya del 2012, se estudiaron 58 fincas de café, ubicadas dentro de una zona fuertemente afectada por roya, en los municipios de Jinotega, el Tuma-La Dalia y San Ramón en Nicaragua, entre diciembre 2013 y mayo 2014. En esta zona, se ubicaron pares de finca, cada par conformado por una finca poco afectada y otra fuertemente afectada. Para obtener la información del nivel de afectación por roya en cada finca, las prácticas de manejo realizadas por los productores y las condiciones socioeconómicas se realizaron entrevistas a los productores. Mientras que la caracterización de la parcela se hizo a través de observaciones de campo. Las variables de impacto de la roya fueron informadas con el productor y también observadas en las parcelas a través de una observación de la intensidad de la poda realizada a inicios del 2013, como resultado del ataque de roya. Se creó una tipología con las variables de impacto, a través de análisis de conglomerado. Luego, se seleccionaron las variables predictoras relacionadas con el impacto. Con las variables que resultaron significativas, en su relación con el impacto se crearon tipologías de manejo, fertilización y aspectos socioeconómicos. Finalmente, a través de un análisis de correspondencia múltiple, se observaron gráficamente las asociaciones entre las tipologías de variables predictoras y la tipología de impacto. Un impacto leve de roya en el 2012 fue asociado con un manejo alto, una fertilización alta y un nivel socioeconómico alto, mientras que un impacto fuerte de roya fue asociado con un manejo bajo, una fertilización baja y un nivel socioeconómico bajo. Los productores, dentro del manejo alto, hicieron más de 2 aplicaciones de fungicidas en el 2011 y más de 3 en el 2012 con productos sistémicos, con una primera aplicación en el primer semestre, realizaron monitoreo de roya, manejo de sombra, manejo de tejidos, mientras que los productores de manejo bajo hicieron en menor proporción todas estas prácticas. Así mismo, los productores dentro de la fertilización alta llevaron a cabo más de 2 aplicaciones de fertilizantes, tanto al suelo como al follaje en el 2011 y 2012, con mayores cantidades aplicadas de cada nutriente, B, K al suelo y N, P, K, B, Ca, Mg, Zn, S, Mn, Cu al follaje, mientras los productores dentro de la fertilización baja hicieron menos aplicaciones de fertilizantes y aplicaron menor cantidad de cada elemento. Por otra parte, los productores con nivel socioeconómico alto se caracterizan por recibir asistencia técnica, con más de 10 visitas técnicas en el año, han tomado capacitaciones sobre manejo de café, tienen acceso a crédito, un nivel de escolaridad mayor a la primaria y mayores ingresos por venta de café, mientras los productores en el nivel socioeconómico bajo tienen menor proporción en cada aspecto. En este estudio, se lograron identificar las prácticas de manejo que contribuyeron a marcar las diferencias de impacto de roya, en fincas de café ubicadas dentro de una misma zona, en relación con las condiciones socioeconómicas de cada productor. Se estimó a 9qq/ha en promedio las pérdidas en la cosecha por la afectación de roya, que pudieron ser evitadas al realizar un manejo eficiente.

Palabras claves: Manejo, Epidemia, Impacto, Fertilización, Nivel socioeconómico, Tipología

SUMMARY

In order to have a better understanding of the effect of farm management on the rust epidemic of 2012, 58 coffee farms located within the municipalities of Jinotega, Tuma-La Dalia and San Ramón, Nicaragua, a region strongly affected by disease, were studied between December 2013 and May 2014. The study consisted of pairs of farms, each pair consisting of one farm slightly affected and the other strongly affected by coffee leaf rust. Interviews were done in order to gather information on how the management practices carried out by the farmers and socioeconomic conditions impacted the affectation levels. The characterization of the plots was done through field observations. The coffee leaf rust impact variables were reported by the farmer and also through observations on the farms by observing the intensity of pruning carried out at the beginning of 2013 as a result of the leaf rust attack. A typology with the impact variables was created through cluster analysis. The predictor variables related to the impact were then selected. With the variables that were significant in relation to the impact, typologies of management types, fertilization and socioeconomic issues were created. Finally through a multiple correspondence analysis, the associations between typologies of predictor variables and impact typology were observed graphically. A slight impact of rust in 2012 was associated with a high management, high fertilization and high socioeconomic status, while a strong impact of rust was associated with low management, low fertilization and low socioeconomic status. Producers with higher management carried out more than 2 applications of fungicides in 2011 and more than 3 in 2012 with systemic products, with a first application in the first half of the year, monitoring the leaf rust, shade management, and tissue management, while producers with lower management levels did a lesser extent of all these practices. Also, producers in the high fertilization category did more than 2 applications of fertilizers, both at soil and foliage in 2011 and 2012, with higher amounts of each nutrient applied: B, K to the soil and N, P, K, B, Ca, Mg, Zn, S, Mn, Cu to the foliage, while producers in the low fertilization category carried out fewer fertilizer applications and applied a lower amount of each element. Moreover producers with high socioeconomic status are characterized by receiving technical support, with more than 10 technical visits in the year, have received trainings on coffee management, have access to credit and a level of education higher than primary school and have a higher income from coffee sales, while producers with a low socioeconomic status have a lower proportion in every area. In this study we were able to identify management practices that helped make a difference in impact of rust on coffee farms located within the same area, in relation to the socioeconomic conditions of each producer. It was estimated that on average 9 QQ / ha in crop losses as a result of coffee leaf rust could have been avoided by performing efficient management practices.

Keywords: Management, Epidemic, Impact, Fertilization, socioeconomic status, Typology

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN Y SÍNTESIS GENERAL DE LA TESIS

1.1 Introducción

La roya del café es causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, un parasito obligado que se alimenta de las hojas vivas de las especies del género Coffea. De las especies cultivadas, *C. arabica* es la más afectada por el hongo. La enfermedad provoca defoliaciones que cuando son graves pueden conducir a la muerte de las ramas y, por tanto, fuertes pérdidas de las plantaciones. La forma principal de multiplicación de *Hemileia vastatrix* es la uredospora. Esta entidad infecciosa se presenta con una coloración naranja, reniforme, equinulada sobre su mitad superior y lisa ventralmente. Los primeros síntomas aparecen en el envés de la hoja, como pequeñas lesiones de color naranja. El hongo penetra la hoja a través de los estomas. Las pequeñas lesiones crecen, se vuelven coalescentes y producen las uredosporas con su característico color naranja. En la parte superior de la hoja, pueden observarse manchas cloróticas a medida que las lesiones crecen, las que finalmente se vuelven necróticas (Avelino y Rivas 2013)

La roya se ha convertido en una preocupación de los países latinoamericanos productores de café, justamente desde su introducción en 1970, iniciando en Bahía, Brasil (Mccook 2009; Buriticá 2010). Las pérdidas ocasionadas por la enfermedad pueden oscilar entre un 20 % y 80 % (Shiomi *et al.* 2006; ICAFE 2011), aunque se han reportado afectaciones de cosechas de más de un 90 % (McCook 2006). En su inicio, la enfermedad se temía, debido a que se tenía poco conocimiento y que todos los caficultores de América Latina utilizaban cultivares susceptibles. Sin embargo, después de probar la eficiencia del control químico y debido a los daños relativamente reducidos, causados por la roya, los productores de Mesoamérica comenzaron a considerar esta enfermedad como de fácil manejo, y se creyó que se había aprendido a convivir con ella, hasta las epidemias de 2008 en Colombia y 2012-2013, Centroamérica y México y 2013, Ecuador y Perú (Cressey 2013).

La epidemia iniciada en el 2012 se ha considerado una de las más severas en los países Centroamericanos. Esta tuvo efectos sobre la producción del mismo año, explicada a través de defoliaciones y muerte de ramas de manera precoz, provocando la caída de frutos antes de la cosecha y pérdidas estimadas en un 20% en promedio a nivel de Centroamérica (Avelino y Rivas 2013). El impacto en la cosecha 2013-2014 fue aún mayor, debido a que se sumó el daño de 2012 y el daño del fuerte ataque que continuo en el 2013. Nicaragua, uno de los países menos afectados en la producción del 2012, reportó incidencias de hasta un 37% (OIC 2013), con pérdidas por debajo del 10%. En este país, el café ocupa un sexto lugar en aporte al PIB y se cultivan alrededor de 127,000 ha. Su producción se estima en 2 millones de quintales oro en promedio cada año (MAGFOR 2013); sin embargo, en el 2013, hubo una pérdida cerca de

400,000 quintales oro (20% de la producción), afectando los ingresos de muchos pequeños productores.

A pesar de muchos estudios realizados, las pérdidas o daños ocasionados por la enfermedad no están bien evaluados (Avelino y Rivas 2013). Al presentarse una defoliación temprana, los daños empiezan con la caída de granos antes de cosecha. Luego será necesario podar las plantas fuertemente afectadas y en ocasiones plantíos totales. Las plantas podadas reducen la cosecha del próximo año y si estas no responden a la poda, será necesario hacer una renovación del cafetal. Una renovación total significa, a parte de una fuerte inversión, una espera de al menos 3 años para contar nuevamente con ingresos del café.

Las epidemias severas se han venido relacionando con las constantes variaciones climáticas de las últimas décadas. Sin embargo, los impactos de 2012 no fueron uniformes. En los países afectados, se pueden identificar fincas que fueron poco afectadas, aún dentro de una zona severamente afectada y con variedades susceptibles. Estas variaciones de impacto están relacionadas con el manejo que cada productor realiza en su finca, incluyendo un paquete de prácticas implementadas en el tiempo oportuno. Según Esteves (1995), el uso de prácticas culturales en el cultivo de café podría reducir la incidencia hasta en un 35%. Por otra parte, Avelino *et al.* (2004), reflejan que el tipo de manejo realizado por el productor puede tener una relación ya sea positiva o negativa con la incidencia de la enfermedad.

Por tanto, el propósito de este estudio es contribuir a fortalecer los conocimientos en torno a la relación entre el manejo del café y los impactos de roya. Se espera identificar prácticas que permitan reducir la incidencia de roya del café, las cuales podrían implementarse para manejar la roya, principalmente en un contexto de cambio climático.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Analizar el impacto de la roya del café *(Hemileia vastatrix)* en fincas cafetaleras de los municipios de Jinotega y el Tuma-La Dalia y las razones determinantes para que fincas ubicadas en una misma zona, hayan sido menos afectadas que otras.

1.2.2 Objetivos específicos

- Documentar los niveles de roya del 2012-2013 y las pérdidas en las cosechas 2012-2013 y 2013-2014 en cafetales con mayor y menor impacto de la enfermedad.

- Caracterizar la estructura y manejo de los cafetales en relación con el impacto de roya durante la epidemia, considerando las características biofísicas de estos.

- Identificar los sistemas y prácticas específicas de manejo que han permitido enfrentarse mejor al ataque de la roya del café.

- Identificar aspectos socioeconómicos relacionados con los impactos de roya.

Preguntas para cada objetivo

- ¿Cuál ha sido el impacto de la roya del 2012 en las cosechas 2012-2013 y 2013-2014 en las fincas en estudio?
- ¿Cuáles son las principales diferencias de estructura, manejo y condiciones biofísicas en los cafetales con impactos de roya diferentes?
- ¿Contribuyó el uso de prácticas de manejo a evitar pérdidas en la producción de los cafetales?
- ¿Favorecen los aspectos socioeconómicos en las diferencias de impacto de roya?

Hipótesis para cada objetivo

- Existe una diversidad de impactos en la producción, causados por la roya.
- Hay una diversidad de estructuras, manejos y condiciones biofísicas en los cafetales con impactos de roya diferentes.
- Existen estructuras y prácticas de manejo que permitieron evitar pérdidas en la producción en relación con las condiciones biofísicas del lugar.
- Existe relación entre aspectos socioeconómicos y las diferencias en los impactos de roya.

1.3 Marco conceptual

1.3.1. La roya del café

La roya del café es una enfermedad causada por el hongo *Hemileia vastatrix*. Pertenece a la familia *Chaconiaceae*, del orden Uredinales de la clase *Urediniomycetes* (Cummins e Hiratsuka 2003; Viera et al. 2012; Avelino y Rivas 2013). Anteriormente, se agrupaba dentro de la familia de las *Pucciniaceae*, pero a través de estudios moleculares y morfológicos se determinó su mayor cercanía a la familia *Chaconiaceae* (Cummins e Hiratsuka 2003). Este hongo presenta ocasionalmente teliosporas y basidiosporas y su principal forma de multiplicación es la uredospora (Figura 1). Esta enfermedad se define como un parásito obligado que se alimenta de las hojas vivas de las especies del género Coffea, siendo C. arabica, la más afectada. Los primeros síntomas de la enfermedad pueden observarse en el envés de la hoja, por donde penetra el hongo. Se manifiesta como pequeñas lesiones de color amarillentas, estas posteriormente se desarrollan y producen las uredosporas con su color anaranjado que las caracteriza (Avelino *et al*. 1999, Kolmer 2009).

La enfermedad provoca la caída temprana de las hojas y, en casos extremos, muerte de ramas, lo que se traduce en pérdida de rendimiento, principalmente en el año siguiente a la afectación (Kolmer 2009). En epidemias severas, donde hay exceso de muerte de ramas, las plantas tienen que ser podadas, con la esperanza de que rebroten. En esos casos, hay pérdidas a largo plazo, posiblemente de unos 3-4 años, las que aún no han sido bien documentadas (Avelino y Rivas 2013).

En la actualidad, no se ha reportado ningún hospedero alterno de la roya, su origen primitivo sugiere que la roya es autoica, es decir que su ciclo biológico se cumple en la misma planta parasitada sin necesidad de otro hospedero (Figueiredo y Passador 2008; Avelino y Rivas 2013). Se pensaba que la roya podía necesitar de otro hospedero para completar su ciclo, por el hecho de que las basidiosporas eran capaz de germinar sobre el cafeto sin infectarlo, por lo cual se consideraba que podía ser heterioca (Avelino *et al.* 1999), sin embargo, Fernandes *et al.* (2009) indican que basidiosporas son vestigios de una forma ancestral, es decir, que no tienen función conocida, además que son genética y morfológicamente inestables.

Durante mucho tiempo, se ha conocido que el primer reporte del hongo afectando al café fue en Ceilán en 1869 (Avelino *et al.* 1999). Aunque realmente lo único que podría asegurarse es que fue en África. En realidad, el primer reporte parece haber sido hecho antes por un explorador británico a las orillas del lago Victoria en 1861 (Avelino y Rivas 2013). Desde su aparición, la roya se ha considerado una de las enfermedades de mayor importancia en el cultivo de café, por las pérdidas ocasionadas en los rendimientos (Avelino 1999).

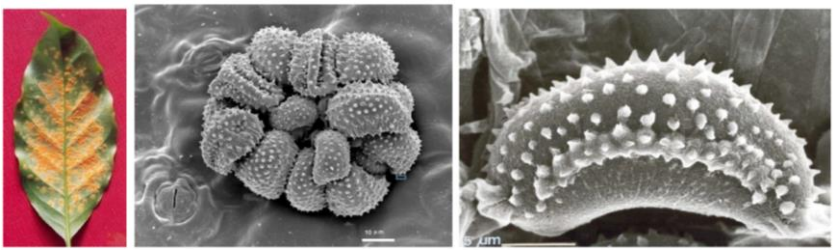


Figura 1. Observación Microscópica de uredosporas del hongo *Hemileia vastatrix*
Fuente: Várzea, V. 2013. Foro regional sobre roya del café. CATIE, Costa Rica 2013.

1.3.1.1 Ciclo Biológico de la enfermedad

El ciclo de vida de la enfermedad se desarrolla en las siguientes etapas: diseminación, germinación, penetración, colonización y esporulación, en el orden respectivo (Figura 2).

- **La diseminación:** Se realiza por medio de uredosporas de tamaño microscópico (30 micras de largo por 20 micras de ancho), las que producidas en cantidades, forman el polvillo amarillo que observamos en el envés de la hoja (Rivillas *et al.* 2011). Esta etapa se divide en una fase de liberación, en la cual la uredospora se despega del esporóforo (abandona la lesión), una fase de dispersión y otra de depositación de la espora sobre la hoja nueva (Silva *et al.* 1999; Avelino *et al.* 1999).

- **La germinación:** Esta etapa inicia con la llegada de las uredosporas al hospedero. Estas uredosporas se depositan en la hoja en la cara inferior haciendo un reconocimiento de los estomas desarrollados como su superficie donde germinarán (Silva et al. 1999). Las condiciones óptimas para la misma comprenden: temperatura de 22°C, oscuridad y agua libre durante el proceso hasta la penetración (Nutman *et al.* 1963). La germinación constituye el inicio del proceso infeccioso en sentido amplio; sin embargo, la infección en sí no está realmente establecida debido a que el hongo se desarrolla únicamente a partir de sus propias reservas. La espora una vez germinada emite de uno a cuatro tubos germinativos, en un período de 6-8 horas (Rivillas *et al.* 2011). En esta etapa, hay una formación de un apresorio sobre el estoma producido por los tubos germinales, el cual será necesario para la etapa siguiente de penetración (Kushalappa y Eskes 1989). El apresorio es una estructura afilada que permite forzar la entrada por el estoma y su formación es favorecido por temperaturas entre 13°C y 16°C (Jong *et al.* 1987)

- **Penetración:** Es la etapa en la cual la espora germinada, mediante un hifa, penetra a través de los estomas (bien formados) de la hoja, hasta la cámara subestomática (Silva *et al.* 2008; Vieira *et al.*2012). El hecho de que para la penetración se necesitan estomas bien formados, permite explicar las razones por las cuales las hojas jóvenes con maduración de estomas incompleta son menos receptivas que las hojas adultas (Kushalappa 1989). Es en esta etapa cuando se establece la relación patógeno-hospedero, y empieza la infección de manera más estricta (Avelino *et al.* 1999).

- **Colonización:** La colonización ocurre de manera intracelular. Luego de la penetración al interior de la hoja, el hongo desarrolla una estructura denominada haustorios, los que entran en contacto con las células la planta y es a través de estas estructuras que extraen los nutrientes para su crecimiento (Rivillas 2011). En esta etapa de colonización de la hoja por las hifas del hongo, se presenta la formación de los primeros síntomas visuales. Entre el inicio de la germinación y la aparición de los primeros síntomas (lesiones amarillentas), se encuentra el período de incubación, el cual tiene poca importancia desde el punto de vista epidemiológico, debido a que aún no se ha producido ninguna entidad infecciosa nueva (Avelino *et al.* 1999).

- **Esporulación:** Esta etapa se produce luego de la colonización. Está constituida por la emergencia posterior del esporóforo y la producción de nuevas esporas infecciosas (Avelino *et al.* 1999). Por la invasión de hifas a una cámara subestomática, se produce un grupo de células esporógenas o protosoros. Algunas emergen por la apertura del estoma y producen un esporóforo. Cada grupo emergido de un estoma constituye un soro o pústula que produce uredosporas (McCain y Hennen 1984). Según Rayner (1972), una lesión produce más de 400.000 uredosporas en tres meses, las que serán dispersadas para iniciar el nuevo ciclo. El período de latencia es el tiempo transcurrido entre el inicio de la germinación y la esporulación, este representa la variable de mayor importancia, cuanto más corto sea, más rápido podrá repetirse el ciclo y más grave será la epidemia (Avelino *et al.* 1999)

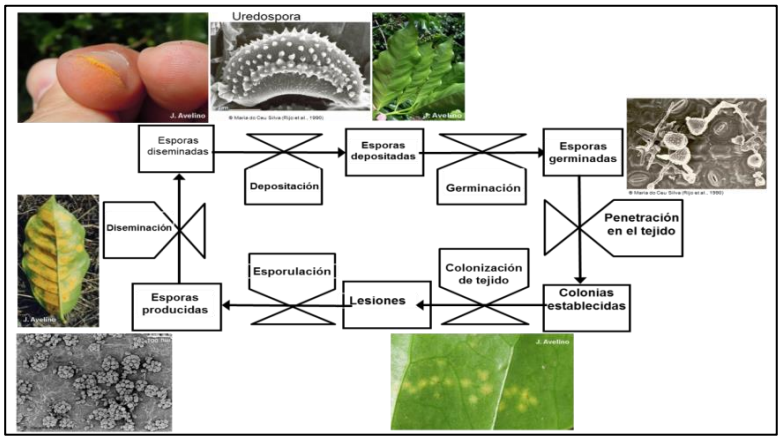


Figura 2. Ciclo biológico de la roya del café
Fuente: Avelino, J. 2013. Foro regional sobre roya del café. CATIE, Costa Rica 2013.

1.3.1.2. Epidemiología

Existe una fuerte relación entre el desarrollo de la enfermedad y diversos factores como: la lluvia, la temperatura, la carga fructífera, la época de cosecha, el inóculo residual, entre otros, como se muestra en la figura 3.

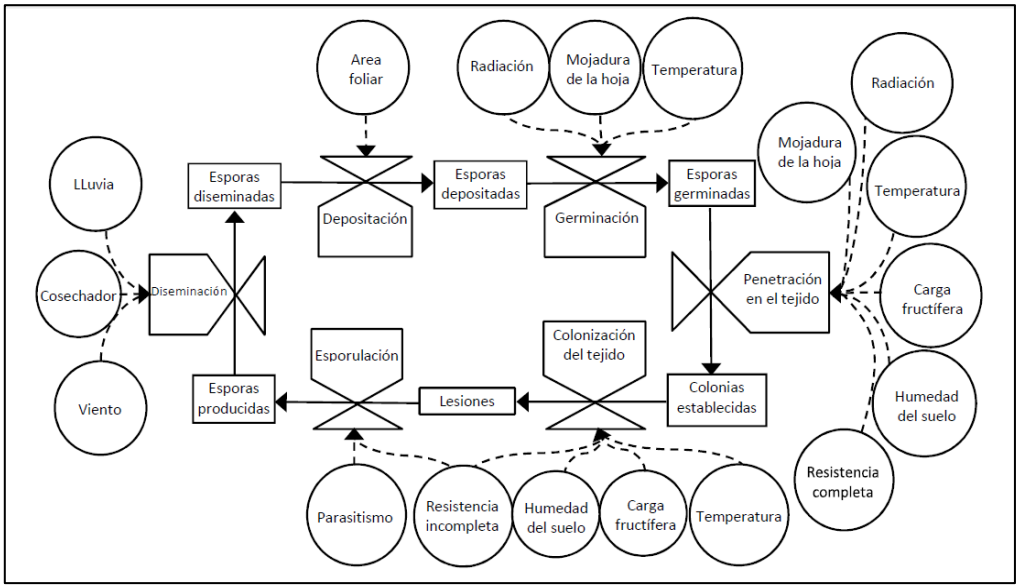


Figura 3. Representación del ciclo de vida de *Hemileia vastatrix* (líneas continuas) y factores que lo afectan (líneas discontinuas).Tomado de Avelino y Rivas (2013).

- **La lluvia**

La lluvia puede favorecer la germinación de las uredosporas y el transporte de estas hasta la depositación sobre la hoja. Se han encontrado proporciones de alta incidencia de roya que ha coincidido con el establecimiento definitivo de la estación lluviosa, así mismo bajas incidencias que coincidieron con niveles bajos de régimen pluvial (Santacreo *et al.*1983b). Según Avelino *et al.* (1993), en un estudio realizado en Guatemala en 1990, la enfermedad empezó su desarrollo en los meses de junio y julio, lo que tiene su relación con el periodo lluvioso. Este conocimiento sirve de base para realizar aplicaciones de productos preventivos, recomendadas en los meses de febrero a marzo.

- **La temperatura**

Al igual que la lluvia, la temperatura influye también en la etapa de germinación. La formación del apresorio y la progresión del hongo dentro de la hoja también dependen de este factor. El período de incubación se acorta extremadamente cuando las temperaturas no son ni muy excesivas ni muy bajas. En Honduras, se observó que a 750 m de altitud, de febrero 1982 a enero de 1983 los períodos de incubación oscilaron entre 29 y 62 días (Santacreo *et al.*1983a), observándose los períodos más cortos a temperaturas de entre 18ºC y 27ºC en los meses de agosto y septiembre. A una altitud de 1200 m, los períodos de latencia se alargaron debido a las temperaturas más bajas. De lo anterior, se puede determinar que los máximos de infección y la forma de la curva de progreso varían con respecto a la altitud. A una mayor altitud los niveles de infección alcanzados son menores (Avelino et al., 1991).

- **Carga fructífera**

Varios estudios realizados han demostrado que existe una fuerte relación positiva entre la carga fructífera y la incidencia y severidad de la roya del café (Zambolim *et al.* 1994; Avelino *et al.* 2004; Avelino *et al.* 2006; Japiassú *et al.* 2007). Lo anterior fue corroborado también en un estudio realizado por López *et al.* (2012), donde se compararon sistemas de producción a pleno sol y sistemas bajo sombra. En dicho estudio se encontró que en ambos sistemas la incidencia y severidad fue menor en plantas sin producción o con poca producción. Las diferencias fueron más marcadas con la severidad, ya que la producción influye sobre el hongo, modificando la fisiología de la planta.

La incidencia de roya puede llegar a ser muy alta con una carga fructífera mayor a los 200 nudos productivos por planta. Tomando en cuenta que la producción de café se desarrolla de manera bienal, años de altos rendimientos, seguidos por años de bajos rendimientos (Avelino *et al.* 2004), las medidas de control preventivo son más necesarias cuando se está frente a un año de alto rendimiento.

- **La época de cosecha**

Se ha determinado una relación paralela entre el avance de la cosecha y el avance de la epidemia. En México en un estudio realizado en tres localidades, el principio de la epidemia coincidió con el inicio de la cosecha. Posteriormente, cuando la cosecha estaba bien establecida hubo un crecimiento acelerado de la epidemia, y el máximo de infección se encontró al final de la cosecha; luego, la epidemia empezó a declinar (Avelino et al. 1991). Esta relación paralela puede atribuirse al gran movimiento de personas que trabajan en la recolección de las cosechas, lo que favorece la diseminación de las uredosporas. Este conocimiento obtenido brinda pautas para indicar que es sumamente necesaria la protección del cafetal con medidas preventivas antes de la cosecha (Avelino *et al.* 1999).

1.3.2. Relación entre la incidencia y severidad de la enfermedad y las principales prácticas de manejo

Existen prácticas de manejo que pueden reducir el impacto de la roya. Sin embargo, ninguna práctica utilizada de forma independiente, logrará resultados eficientes. Prácticas de manejo, como la fertilización, control de malezas, aplicación de fungicidas, usados de forma integral, pueden ayudar a amortiguar los efectos de la enfermedad (Zambolim *et al.* 1994). A continuación se hace mención de algunas prácticas importantes, con una breve descripción de su efecto ante la enfermedad.

1.3.2.1. Sombra en los cafetales

Los árboles de sombra en los cafetales, además de contribuir positivamente a la conservación de la biodiversidad, aportan a las familias múltiples beneficios que ayudan a mejorar sus ingresos (Muschler 1999, Rojas *et al.* 2012). Sin embargo, un exceso de sombra o un mal manejo puede

crear condiciones favorables para el desarrollo de ciertas plagas y enfermedades perjudiciales al cultivo de café (Duicela y Sotomayor 1993; citado por Duicela 2011).

En su relación con la roya, la sombra juega un papel importante gracias a su efecto regulador de la carga fructífera (Avelino 2006; López *et al.* 2012). Sin embargo, si la sombra manejada dentro del cafetal no limita el rendimiento, es decir, rendimientos similares a los de cafetales a pleno sol, la incidencia y severidad de la enfermedad puede aumentar en los sistemas bajo sombra (Avelino *et al.* 2006).

Por otro lado, si se analiza la sombra desde el punto de vista microclimático, principalmente con las precipitaciones, su relación con la roya puede ser más compleja. Cuando las precipitaciones son de baja intensidad y de poca duración, la sombra puede evitar su llegada hasta las plantas de café; por lo tanto esta acción no favorece la propagación del patógeno. Sin embargo, con lluvias intensas y de larga duración, las hojas de los árboles reducen el impacto fuerte de la lluvia sobre los cafetos, pero forman grandes gotas que al caer sobre las hojas de café con roya, pueden provocar, por su impacto, una mayor dispersion en seco de las esporas (Avelino *et al.* 2004). Así mismo, la sombra regula las temperaturas. Las temperaturas máximas diarias de las hojas son más bajas que al pleno sol, lo que las acerca al óptimo favorable para la roya anaranjada.
Según Duicela (2011), un nivel de sombra entre un 30 y 40 % es considerado adecuado para mantener el equilibrio entre plagas y enfermedades (entre estas la roya del café), conservando a la vez una productividad razonable.

1.3.2.2. Manejo de tejido de los cafetales

La poda y deshija de los cafetos se han considerado por años como prácticas de manejo importantes para mejorar la productividad de plantaciones fuertemente agotadas, ya sea por excesos de producción, edad, afectaciones de plagas y enfermedades, entre otros. Se ha determinado que su implementación en el momento oportuno y de la forma adecuada, en combinación con otras prácticas de manejo puede disminuir en un 35 % la incidencia de roya del café (Estévez 1995). Su efecto puede estar más relacionado en la reducción del inóculo residual, ya que se pueden eliminar las hojas enfermas que quedan después de la cosecha, la que coincide con los picos de roya (Avelino *et al.* 1999).

1.3.2.3. Distancia de Siembra

La distancia de siembra utilizada por los productores de café en cada país y dentro del mismo país es variable, aun cuando se trata de las mismas variedades. Esta variación en las distancias y densidades de siembra puede tener una relación directa con la incidencia y severidad de la roya del café. En un estudio realizado por Paiva *et al.* (2011), se encontraron relaciones positivas entre

mayor densidad de plantación y una mayor severidad de roya. En este estudio, se eliminó el efecto de la carga fructífera debido a que en el momento de realizarlo, las plantas no presentaban producción; lo que asegura que existe un efecto de la densidad. Existe la hipótesis de que los cafetos producen menos a mayor densidad de población, por lo tanto, si se toma en cuenta la carga fructífera, la relación entre densidad y severidad de la enfermedad podría ser variable.

1.3.2.4. Fertilización de las plantas de café

El estado nutricional de las plantas puede ser fundamental ante una infección de roya del café. Estudios realizados hacen referencia a la importancia de la nutrición de las plantas, tanto para aumentar los niveles de producción, como para aumentar su nivel de defensa ante las enfermedades (Avelino, 1996; Agrios, 1998; Avelino *et al.* 2006). Una planta bien nutrida tiene mayor capacidad para reponer las hojas enfermas, en comparación con una planta deficientemente alimentada, y consecuentemente las pérdidas son menores (Cristancho *et al.* 2012; Avelino y Rivas 2013). En un estudio realizado en Honduras por Avelino *et al.* (2006), se encontró relación entre plantaciones de café con poca o sin fertilización y una alta incidencia de roya.

Una fertilización a base de urea puede provocar la caída de hojas viejas de la planta y de este modo reducir la epidemia, esto considerando que las hojas más viejas del café son las responsables del desarrollo inicial de la epidemia (Avelino 1999). Por otro lado, Varzea (comentario personal) ha indicado que desequilibrios en aplicación de N pueden generar desarrollo de hojas nuevas y con consistencia estimuladora del ataque de roya. Cristancho *et al.* (2012), relacionan la epidemia sufrida en Colombia 2008-2011 con una reducción en la aplicación de fertilizantes.

1.3.2.5. Roya y Uso de variedades resistentes

Debido a la susceptibilidad demostrada por las variedades tradicionales correspondientes a *Coffea arabica* ante el patógeno de la roya, se ha trabajado fuertemente en la búsqueda de alternativas para contrarrestar esta problemática. El uso de variedades resistentes se ha determinado como una alternativa que permite hacerle frente a la enfermedad, disminuyendo el uso excesivo de productos químicos utilizados para su control y reduciendo los problemas de contaminación. Variedades como Costa Rica 95 (MIDA 96 o Lempira 98) han demostrado tener una buena resistencia ante el patógeno y se han recomendado para zonas con alta incidencia de la enfermedad (Bertrand *et al.* 1999). Todas las líneas de catimores han mostrado una buena resistencia, pero con la limitante de la inferioridad en la calidad de la taza en comparación con la variedad caturra, bourbon y catuaí.

1.3.2.6. Control químico de la roya del café

Cuando se tienen condiciones climáticas óptimas para la roya, ningún sistema de manejo o de prácticas independientes logrará mantener la enfermedad a niveles bajos. Por los tanto, necesariamente se tendrá que recurrir a prácticas de control específicas basadas en el uso de químicos (Avelino y Rivas 2013). Este control químico está basado en el uso de productos cúpricos y sistémicos.

- **Productos cúpricos:** Son productos a base de cobre, con la particularidad de proteger a las plantas de las agresiones de los patógenos. Actúan formando una capa protectora en el envés de la hoja de café, evitando así la germinación de las esporas y su posterior invasión al tejido. Por lo tanto, los programas de control deben iniciarse antes que el hongo llegue al tejido (Rivillas *et al.* 2011). Los más utilizados han sido oxicloruro de cobre, hidróxido de cobre y óxido de cobre (Avelino y Rivas 2013). En un reciente estudio realizado en Guatemala por Campos-Almengor *et al.* (2013), se analizó la efectividad de 5 fungicidas cúpricos, donde se obtuvieron buenos resultados con el Caldo bordelés, Oxicloruro de cobre y Trillogy 64 EC (Aceite de Nim). Ellos recomiendan que estos productos deben aplicarse cuando se tenga menos del 10% de incidencia, con 4-5 aplicaciones (una última durante la cosecha), para ver resultados positivos.

- **Productos sistémicos:** Estos productos tienen la particularidad de traslocarse y redistribuirse dentro de la planta, una vez que son captados por la misma. Son considerados curativos, con capacidad de proteger a la planta por un período mayor y la ventaja de que su rendimiento es menos influenciado por el método de aspersión (Ivic 2010). Los productos sistémicos que más se han utilizado, corresponden a la familia de los triazoles: triadimefon, propiconazole, triadimenol, hexaconazole, cyproconazole (Avelino *et al.* 1999) y más recientemente se utiliza el grupo de strobilurinas. Los primeros con actividad sobre la molécula específica Ergosterol y la última (strobilurinas), con actividad sobre las mitocondrias del hongo, inhibiendo el transporte de electrones de la cadena respiratoria. Todos estos productos con efectos preventivos y curativos (Rivillas *et al.* 2011).

1.3.3. Historial de la epidemia en Centroamérica y Nicaragua

La roya del café fue detectada por primera vez en América Latina en 1970, en Bahía Brasil, probablemente introducida por los vientos transatlánticos o alisios desde Costa de Marfil o Angola, África o por una vía antropogénica (McCook 2009; Buriticá 2010). Esta aparición repentina de la enfermedad en Brasil alertó a países vecinos productores de café como Colombia, quienes empezaron a fortalecer sus investigaciones en torno a cómo evitar o mitigar la llegada severa de la enfermedad (Buriticá 2010). De igual manera lo hizo Costa Rica, donde el gobierno empezó a desarrollar medidas contra la roya, prohibiendo la entrada de cualquier material vegetal o agrícola proveniente de países donde había brote de la enfermedad (McCook 2009).

Sorprendentemente la roya saltó de Brasil a Nicaragua en el año 1976. Apareció en el departamento de Carazo, entre San Marcos y Masatepe afectando unas 2010 hectáreas. Este ataque causó daños severos en las plantaciones y provocó cambios en las prácticas de manejo utilizadas (Rodríguez 1978; Avelino *et al.* 1999; Mccook 2009). A través de campañas intensas de erradicación en el país, en 1977 se lograron bajar los focos de contaminación, pero en 1980, con la guerra civil y el cambio de gobierno hubo descuido en las plantaciones y la enfermedad volvió a resurgir con fuerza (McCook 2009)

Ya entre los años 1979 y 1982, la roya se había difundido a todos los países de Centroamérica al norte de Costa Rica, posiblemente desde Nicaragua, y para 1983, se encontraron los primeros brotes en Costa Rica. Este país a pesar de estar cerca de Nicaragua, donde apareció el primer brote, fue el último de Centroamérica en ser afectado, lo que se atribuye al fuerte trabajo sanitario realizado para evitar su llegada (McCook 2009)

En 1995, la enfermedad vuelve a resurgir con fuerza en Nicaragua, a pesar de que el productor había aprendido a manejarla durante la década de los 80. Se reportaron incidencias superiores a un 40 % de promedio en los departamentos de Jinotega y Matagalpa, lo cual fue nuevamente alarmante para los productores, ya que se presentaron fuertes defoliaciones en las plantaciones (Avelino 1996; McCook 2009). Después de varios años de calma y de convivencia con la enfermedad desde 1995; en el año 2012, regresó nuevamente con gran rigor a apoderarse de las plantaciones en varias localidades cafetaleras del país, afectando el 37 % del número de hectáreas cultivadas en todo el país. Estas afectaciones fueron reportadas en todos los países productores de café de Centroamérica (OIC 2013). Con este ataque severo del 2012-2013, todas las regiones productoras de café han tomado nuevamente en serio la enfermedad, buscando alternativas conjuntas que permitan reducir sus efectos (Avelino y Rivas 2013)

1.4. Principales resultados

Se evidenció una relación entre un impacto leve de roya en el 2012 con un manejo del cafetal alto, una fertilización alta y niveles socioeconómicos del productor altos; mientras que un impacto fuerte de roya fue relacionado con un manejo bajo del cafetal, una fertilización baja y aspectos socioeconómicos bajos.

En las clases de manejo alto y fertilización alta, una mayor cantidad de productores realizaron más de 2 aplicaciones de fertilizante tanto al suelo como al follaje en el 2011 y 2012 con mayores cantidades aplicadas de cada nutriente, más de 2 aplicaciones de fungicidas en el 2011 y más de 3 aplicaciones de fungicida en el 2012, con productos sistémicos y una primera aplicación en el primer semestre. Una mayor cantidad de productores realizaron monitoreo de roya, manejo de sombra con más de 1 regulación en el año, manejo de tejidos y tenían una edad de planta con un promedio de 12 años. Mientras que un manejo bajo mayor cantidad de productores que hicieron cada práctica con menor intensidad, una primera aplicación de producto sistémico en el segundo semestre y una edad de plantas con promedio de 18 años.

En el nivel socioeconómico alto, 100% de los productores indicaron haber recibido capacitaciones sobre manejo de café, con más de 4 capacitaciones. Una mayor cantidad de productores mencionaron recibir asistencia técnica con promedio de 10 visitas técnicas en el año, tener acceso a créditos y un ingresos promedio de 1500 dólares por venta de café/ha. Mientras el nivel socioeconómico bajo una mayor cantidad de productores no recibe asistencia técnica ni capacitaciones, con menos acceso a créditos e ingreso menores.

Las variables que más explican las diferencias de impacto en su orden de importancia según jerarquización realizada corresponden a la nutrición de la planta, B, K, N, Mn, P y Fe aplicados al follaje, B, K al suelo. También otras prácticas de manejo como la aplicación de fungicidas en el 2011 y 2012, monitoreo de roya, regulaciones de sombra en 2011 y 2012 y aspectos socioeconómicos como capacitaciones, asistencia técnica y acceso a créditos.

1.5. Principales Conclusiones

Hubo diferencias de impacto de roya en fincas dentro de una misma zona fuertemente afectada. Se encontraron fincas con nivel de impacto leve, moderado y fuerte.

Los menos afectados tuvieron pérdidas estimadas de 1.5 qq/ha en los dos ciclos de cosecha 2012-2013 y 2013 2014, mientras los más afectados tuvieron pérdidas de 14 qq/ha en los mismos ciclos, para una diferencia de 12.5 qq/ha, lo que significa económicamente una pérdida de $1400, tomando en cuenta el precio del café para esos ciclos en Nicaragua.

Existen prácticas de manejo como fertilización, aplicación de fungicidas, manejo de sombra, entre otras, que han marcado las diferencias de impacto de roya en el 2012, en fincas ubicadas dentro de una misma zona y que valdría la pena que fueran consideradas por los productores más afectados de cara a futuras amenazas de roya.

Las variables de estructura de parcela y ambiente no fueron significativas al relacionarse con el impacto, lo que indica que cuando se encuentra frente a un ataque severo de roya, el manejo que realiza el productor es importante.

Los productores de mayor aspecto socioeconómico como ingresos, asistencia técnica, capacitaciones y acceso a créditos han sido menos afectados por roya en el 2012.

1.6. Literatura Citada

Agrios, G.N. 1998. Fitopatología 2 ed. México, Editorial Limusa, S.A. de C.V. 11-12 p. (Fisiología de las enfermedades de las plantas)

Arcila Pulgarín, J. Capítulo 7. 2007. Renovación y administración de los cafetales para estabilizar la producción de la finca. *In* Arcila pulgarín, J.; Farfán, F.; Moreno, A.B.; Salazar, L.F.; Hincapié, E.; CENICAFE. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Colombia. p. 145-159.

Avelino, J. 1996. Informe de viaje a Nicaragua. IICA-PROMECAFE. 4 p.

Avelino, J. 1999. Contribution à la gestion du pathosystème *Hemileia vastatrix* et Coffea arabica au Honduras Influence des principaux facteurs physiques, phytotechniques et biologiques. PhD. Thesis. Orsay, France, Université de Paris XI. 127 p.

Avelino, J.; Muller, R.; Cilas, C.; Velasco Pascual, H. 1991. Développement et comportement de la rouille orangée du caféier (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) dans des plantations en cours de modernisation, plantées de variétés naines, dans le sud-est du Mexique. Café, cacao, thé 35(1): 21-42.

Avelino, J; Muller, R; Eskes, A; Santacreo, R; Holguin, F. Capítulo 6. 1999. La roya anaranjada del cafeto: mito y realidad. *In* Bertrand, B.; Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultura de Centroamérica. San José, Costa Rica. p. 193-241.

Avelino, J.; Toledo, J.C.; Medina, B. 1993. Développement de la rouille orangée *(Hemileia vastalrix)* dans une plantation du Sud-Ouest du Guatemala et évaluation des dégats qu'elle provoque. *In* 15 Colloque Scientifique Internatíonal sur le Café, Montpellier, (6-11 juin 1993, France). France, ASrc. p. 293-302.

Avelino, J.; Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del cafeto http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036, 47 p.

Avelino, J.; Romero-Guardián, A.; Cruz-Cuellar, H.F.; Declerck, F.A. 2012. Landscape context and scale differentially impact coffee leaf rust, coffee berry borer, and coffee root-knot nematodes. Ecological Applications 22(2): 584-596.

Avelino, J.; Willocquet, L.; Savary, S. 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics Plant pathology 53(5): 541-547.

Avelino, J.; Zelaya, H.; Merlo, A.; Pineda, A.; Ordoñez, M.; Savary, S. 2006. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. Ecological modelling 197(3): 431-447.

Barrera, J.F. 2002. La Broca del café: Una plaga que llegó para quedarse (en línea). Tres plagas del café en Chiapas. Colegio de la Frontera Sur. Chiapas, México. p. 17-20. Consultado 14 sep. 2013. Disponible en: http://www2.tapecosur.edu.mx/mip/Publicaciones/pdf/09_Capitulo04c.pdf

Buriticá, P. 2010. La Roya del Cafeto en Colombia: Realizaciones de Impacto Nacional e Internacional en el Siglo XX. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín 63(1): 5285-5292.

Campos-Almengor, O.G; Colom, D.S; Reyes, J.N; Mazariegos, R.S. 2014. Análisis de 5 fungicidas de contacto para el control de la roya del café *Hemileia vastatrix* Beerk y Br. El Cafetal no.38:10-12.

Cresey, D. 2013. Coffe rust regains foothold. Researcher marchal technoliogy in bid to thwart fungal outbreak in Central America. Nature no 493:587.

Cristancho, M.A., Rozo, Y., Escobar, C., Rivillas, C.A., y Gaitán, A.L., 2012. Outbreak of coffee leaf rust *(Hemileia vastatrix) in* Colombia. New Disease Reports **25**:19

Cummins, G.B.; Hiratsuka, Y. 2003. Ilustrated genera of rust fungi. American Phytopathological Society (APS), St. Paul, Minnesota, USA Third Edition: 223 p.

De Melo Virginio Filho, E.; Barrios, M.; Toruño Morales, I. 2009. ¿Cómo podemos mejorar la finca cafetalera en la cuenca?: Una guía de apoyo a procesos de reflexión-acción-reflexión participativos con familias productores y promotores técnicos. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Cuaderno de campo. 72 p

Duicela, G.L.A. 2011. Manejo sostenible de fincas cafetaleras: Buenas prácticas en la producción de café arábico y gestión de la calidad en las organizaciones de productores. Porto Viejo, Ecuador, Imprenta CGRAF, Manta. COFENAC (Consejo Cafetalero Nacional). 309 p

Estévez V, F.G. 1995. Evaluación del comportamiento de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) sin aplicación de agroquímicos. *In* simposio sobre caficultura latinoamericana (16, 25-29 Oct. 1993, Managua, Nicaragua). 1995. Memoria. IICA (Guatemala), PROMECAFE, Comisión Nacional del Café, Nic. Tegucigalpa, Honduras. V. 1, p. 12.

Fernandes, R.d.C.; Evans, H.C.; Barreto, R.W. 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.

Figueiredo, M.B.; Passador, M.M. 2008. Morfologia, funções dos soros e variações dos ciclos vitais das ferrugens. Arquivos do Instituto Biológico. 75(1): 117-134.

FUNICA (Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario y Forestal de Nicaragua). 2009. Propuesta de intervención de FUNICA para la zona norte. Managua, Nicaragua. 51 p.

Guharay, F.; Monterrey, J.; Monterroso, D.; Staver, Ch. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Managua, Nicaragua, CATIE. 265 p. (Serie Técnica. Manual Técnico Nº 44).

Ivic, D. 2010. Curative and Eradicative Effects of Fungicides. Fungicides. Ed. Odile Carise. Rijeka, Croatia, ISBN: 978-953-307-266-1, InTech. Disponible en: http://www.intechopen.com/books/fungicides/curative-and-eradicativeeffects-of-fungicides

Japiassú, L.B.; Garcia, A.W.R.; Miguel, A.E.; Carvalho, C.H.S.; Ferreira, R.A.; Padilha, L.; Matiello, J.B. 2007. Influência da carga pendente, do espaçamento e de fatores climáticos no desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro. In: Simposio de pesquisa dos cafés do Brasil, 5. Águas de Lindóia. Anais. Brasília: Embrapa Café, 2007.

Jaramillo-Robledo, A.; Arcila-Pulgarín, J. 2009. Variabilidad climática en la zona cafetera Colombiana asociada al evento de la niña y su efecto en la caficultura. Cenicafé 389:1-8

Jong, E.; Eskes, A.; Hoogstraten, J.; Zadoks, J. 1987. Temperature requirements for germination, germ tube growth and appressorium formation of urediospores of *Hemileia vastatrix*. European Journal of Plant Pathology 93(2): 61-71.

Kushalappa, A.C. 1989. Biology and epidemiology, in: Coffee rust: epidemiology, resistance and management, A.C. Kushalappa y A.B. Eskes, Editores, CRC Press: Florida. p. 16-80.

Kushalappa, A.C.; Eskes, A.B. 1989. Advances in coffee rust research. Annual Review of Phytopathology 27(1): 503-531.

Kolmer, J.A.; Ordonez, M.E.; Groth, J.V. 2009. The rust fungi. In: Encyclopedia of Life Sciences (ELS): 8.

López-Bravo, D.F.; Virginio-Filho, E.d.M.; 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.

MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal). 2012. Informe Estadístico de la Producción Agropecuaria a Junio 2012 (en línea). Managua, Nicaragua. Consultado 24 de Ago. 2013. Disponible en: http://www.magfor.gob.ni/descargas/2011/estadisticas/InformeOct-2011.pdf

MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal). 2013. El café de Nicaragua. Managua, Nicaragua. Presentación PowerPoint. Consultado 10 nov. 2013. Disponible en: http://www.magfor.gob.ni/descargas/publicaciones/cafecacao/cafenicaragua.pdf

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.

McCook, S. 2009. La Roya del café en Costa Rica: Epidemias, innovación y medio ambiente, 1950-1995. Revista de Historia (59-60): 99-117.

McCain, J.; Hennen, J. 1984. Development of the uredinial thallus and sorus in the orange coffee rust fungus, Hemileia vastatrix. Phytopathology (6): 714-721.

Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales Turrialba, Costa Rica. CATIE. 139 p.

Nutman, F.J.; Roberts, F.M.; Clarke, R.T. 1963. Studies on the biology of Hemileia vastatrix Berk. Transactions of the British Mycological Society. 46(1): 27-44.

OIC (Organización Internacional del Café). 2013. Report on the outbreak of coffee leaf rust in Central America and action plan to combat the pest (en línea). Centro América. Consultado 24 Ago. 2013. Disponible en: http://dev.ico.org/documents/cy2012-13/ed-2157e-report-clr.pdf

Paiva, B.R.T.L.; de Souza, P.E.; Scalco, M.S.; Santos, L.A. 2011. Progresso da ferrugem do cafeeiro irrigado em diferentes densidades de plantio pós-poda Ciência e Agrotecnologia 35: 137-143.

Rayner, R. 1961. Germination and penetration studies on coffee rust (Hemileia vastatrix B. & Br.). Annals of Applied Biology (3): 497-505.

Rivillas Osorio, C.A.; Serna Giraldo, C.A.; Cristancho Ardila, M.A.; y Gaitan Bustamante, A.L. 2011. La roya del cafeto en Colombia - Impacto, manejo y costos del control. Caldas, Co: Cenicafé. 51 p.

Rodríguez, R.A. 1978. La lucha contra la roya del cafeto en Nicaragua. San José, Costa Rica. Agronomía Costarricense 2(1):91-101.

Rojas, F.; Canessa, R.; Ramírez, J. 2012. Cafetales arbolados. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 2(4): pág. 101-106. Disponible en: http://www.tecdigital.itcr.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/view/556/482

Romero Gurdián, A. 2010. Efecto de los sistemas agroforestales del café y del contexto del paisaje sobre la roya, (*Hemileia vastatrix*), broca (*Hypothenemus hampei*)(Ferrari) y los nematodos (*Meloidogyne spp*.), con diferentes certificaciones en la provincia de Cartago, Costa Rica. Tesis MagSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 75 p.

Santacreo, R.; Polanco, E.; Oseguera, S. 1983a. Período de incubación y generación de *Hemileia vastatrix* Berk et Br. en tres zonas cafetaleras de Honduras, Centro América. Memoria. *In* XI Simposio Latinoamericano sobre Caficultura. (XI., 1983, Panamá, Panamá). San José, Costa Rica, IICA. p. 109-127.

Santacreo, R.; Reyes, E.; Oseguera V, S. 1983b. Estudio del desarrollo de la roya del cafeto/Hemileia vastatrix/Berk. et Br. y su relación con factores biológicos y climáticos en condiciones de campo en dos zonas cafeteras de Honduras, CA. *In* XI Simposio Latinoamericano sobre Caficultura. (XI., 1983, Panamá, Panamá). San José, Costa Rica, IICA. p. 199-213.

Shiomi, H.F.; Silva, H.S.A.; De Melo, I.S.; Nunes, F.V.; Bettiol, W. 2006. Bioprospecting endophytic bacteria for biological control of coffee leaf rust Scientia Agricola 63(1): 32-39.

Silva, M.C.; Nicole, M.; Rijo, L.; Geiger, J.P.; Rodrigues, C.J. 1999. Cytochemistry of plant-rust fungus interface during the compatible interaction Coffea arabica (cv. Caturra)-Hemileia vastatrix (race III). International Journal of Plant Sciences 160: 79–91.

Silva, M.C.; Guerra-Guimarães, L.; Loureiro, A.; Nicole, M.R. 2008. Involvement of peroxidases in the coffee resistance to orange rust (Hemileia vastatrix). Physiological and Molecular Plant Pathology 72: 29–38.

Zambolim, L.; Chaves, G.; Do Vale, F.; Pereira, A. 1994. Manejo integrado das doencas do cafeeiro em cultivo adensado. *In* Simposio Internacional sobre café adensado. Londrina, Brasil. ANAIS. p. 151-182.

CAPÍTULO II

2. Artículo 1. Condiciones de manejo que propiciaron el impacto de la roya *(Hemileia vastatrix)* en la zona cafetalera de los municipios de Jinotega, el Tuma-La Dalia y San Ramón, Nicaragua

Resumen

Con la finalidad de tener una mejor comprensión del efecto del manejo en la epidemia de roya del 2012, se estudiaron 58 fincas de café, ubicadas dentro de una zona fuertemente afectada por roya, en los municipios de Jinotega, el Tuma-La Dalia y San Ramón en Nicaragua, entre diciembre 2013 y mayo 2014. En esta zona, se ubicaron pares de finca, cada par conformado por una finca poco afectada y otra fuertemente afectada. Para obtener la información del nivel de afectación por roya en cada finca, las prácticas de manejo realizadas por los productores y las condiciones socioeconómicas se realizaron entrevistas a los productores. Mientras que la caracterización de la parcela se hizo a través de observaciones de campo. Las variables de impacto de la roya fueron informadas con el productor y también observadas en las parcelas a través de una observación de la intensidad de la poda realizada a inicios del 2013, como resultado del ataque de roya. Se creó una tipología con las variables de impacto, a través de análisis de conglomerado. Luego se seleccionaron las variables predictoras relacionadas con el impacto. Con las variables que resultaron significativas, en su relación con el impacto, se crearon tipologías de manejo, fertilización y aspectos socioeconómicos. Finalmente, a través de un análisis de correspondencia múltiple, se observaron gráficamente las asociaciones entre las tipologías de variables predictoras y la tipología de impacto. Un impacto leve de roya en el 2012 fue asociado con un manejo alto, una fertilización alta y un nivel socioeconómico alto, mientras que un impacto fuerte de roya fue asociado con un manejo bajo, una fertilización baja y un nivel socioeconómico bajo. Los productores dentro del manejo alto hicieron más de 2 aplicaciones de fungicidas en el 2011 y más de 3 en el 2012 con productos sistémicos, con una primera aplicación en el primer semestre, hicieron monitoreo de roya, manejo de sombra, manejo de tejidos, mientras que los productores de manejo bajo hicieron en menor proporción todas estas prácticas. Así mismo, los productores dentro de la fertilización alta hicieron más de 2 aplicaciones de fertilizantes, tanto al suelo como al follaje en el 2011 y 2012, con mayores cantidades aplicadas de cada nutriente, B, K al suelo y N, P, K, B, Ca, Mg, Zn, S, Mn, Cu al follaje, mientras los productores dentro de la fertilización baja hicieron menos aplicaciones de fertilizantes y aplicaron menor cantidad de cada elemento. Por otra parte, los productores con nivel socioeconómico alto se caracterizan por recibir asistencia técnica, con más de 10 visitas técnicas en el año, han recibido capacitaciones sobre manejo de café, tienen acceso a crédito, un nivel de escolaridad mayor a la primaria y mayores ingresos por venta de café, mientras los productores en el nivel socioeconómico bajo tienen menor proporción en cada aspecto. En este estudio, se lograron identificar las prácticas de manejo que contribuyeron a marcar las diferencias de impacto de roya, en fincas de café ubicadas dentro de una misma zona, en relación con las condiciones socioeconómicas de cada productor. Se

estimó a 9qq/ha en promedio las pérdidas en la cosecha por la afectación de roya, que pudieron ser evitadas al realizar un manejo eficiente.

Palabras claves: Manejo, Epidemia, Impacto, Fertilización, Nivel socioeconómico, Tipología

Summary

In order to have a better understanding of the effect of farm management on the rust epidemic of 2012, 58 coffee farms located within the municipalities of Jinotega, Tuma-La Dalia and San Ramón, Nicaragua, a region strongly affected by disease, were studied between December 2013 and May 2014. The study consisted of pairs of farms, each pair consisting of one farm slightly affected and the other strongly affected by coffee leaf rust. Interviews were done in order to gather information on how the management practices carried out by the farmers and socioeconomic conditions impacted the affectation levels. The characterization of the plots was done through field observations. The coffee leaf rust impact variables were reported by the farmer and also through observations on the farms by observing the intensity of pruning carried out at the beginning of 2013 as a result of the leaf rust attack. A typology with the impact variables was created through cluster analysis. The predictor variables related to the impact were then selected. With the variables that were significant in relation to the impact, typologies of management types, fertilization and socioeconomic issues were created. Finally through a multiple correspondence analysis, the associations between typologies of predictor variables and impact typology were observed graphically. A slight impact of rust in 2012 was associated with a high management, high fertilization and high socioeconomic status, while a strong impact of rust was associated with low management, low fertilization and low socioeconomic status. Producers with higher management carried out more than 2 applications of fungicides in 2011 and more than 3 in 2012 with systemic products, with a first application in the first half of the year, monitoring the leaf rust, shade management, and tissue management, while producers with lower management levels did a lesser extent of all these practices. Also, producers in the high fertilization category did more than 2 applications of fertilizers, both at soil and foliage in 2011 and 2012, with higher amounts of each nutrient applied: B, K to the soil and N, P, K, B, Ca, Mg, Zn, S, Mn, Cu to the foliage, while producers in the low fertilization category carried out fewer fertilizer applications and applied a lower amount of each element. Moreover producers with high socioeconomic status are characterized by receiving technical support, with more than 10 technical visits in the year, have received trainings on coffee management, have access to credit and a level of education higher than primary school and have a higher income from coffee sales, while producers with a low socioeconomic status have a lower proportion in every area. In this study we were able to identify management practices that helped make a difference in impact of rust on coffee farms located within the same area, in relation to the socioeconomic conditions of each producer. It was estimated that on average 9 QQ / ha in crop losses as a result of coffee leaf rust could have been avoided by performing efficient management practices.

Keywords: Management, Epidemic, Impact, Fertilization, socioeconomic status, Typology

2.1. Introducción

La variación climática de las últimas décadas ha ocasionado un incremento acelerado de plagas y enfermedades en el cultivo del café en todos los países que se dedican a este rubro, principalmente los de América Latina y el Caribe (Jaramillo y Arcila 2009). La roya del café, causada por el hongo *Hemileia vastatrix,* es considerada una de las enfermedades de mayor importancia económica, lo cual se ha puesto de manifiesto en la epidemia más reciente en Centroamérica, iniciada en el 2012 (Avelino y Rivas 2013). Desde que la enfermedad fue introducida al Continente Americano en 1970, las pérdidas estimadas en las cosechas, oscilan desde un 20- 90% (Shiomi *et al.* 2006, McCook 2006; McCook 2009, ICAFE 2011). Sin embargo, aún no existen estudios que informen sobre las pérdidas a largo plazo, las que podrían ser aún mayores (Avelino y Rivas 2013).

Los primeros esfuerzos por erradicar la enfermedad han tenido resultados nulos. La roya está siempre presente en los cafetales que se trabajan con variedades susceptibles. Sin embargo, hay épocas en que los ataques han sido más severos. Estas épocas de mayor severidad obedecen a muchos factores, entre los cuales los hay climáticos como temperatura, precipitación, humedad relativa (Santacreo *et al.*1983a; Santacreo *et al.*1983b; Avelino 1991; Avelino y Rivas 2013). Así mismo, los hay productivos, como la carga fructífera (López-Bravo *et al.* 2012), socioeconómicos como asistencia técnica, acceso a créditos, nivel de ingreso, capacitaciones, entre otros. También hay factores externos como la inestabilidad en los precios del café y el manejo que cada productor realiza en su cafetal. Cada factor tiene un punto óptimo favorable para la enfermedad y probablemente cuando muchos de estos se juntan, la incidencia y severidad de la enfermedad aumenta hasta el punto de convertirse en epidemia incontrolable (Avelino y Rivas 2013).

El efecto del manejo en la reducción de los ataques severos de la epidemia del 2012 aún no ha sido bien documentado, a pesar de que se observó variabilidad de ataques en zonas de producción climáticamente homogéneas (Avelino y Rivas 2013). Esta variabilidad solo puede explicarse por efectos locales en relación, por ejemplo, con el manejo; el cual es muy propio de cada productor. Se sabe en efecto que el manejo de la finca es un punto clave para lograr el control de la roya (Avelino *et al.* 2004; Avelino *et al.* 2006).

Hasta ahora, el uso de fungicidas tanto de contacto como sistémicos (familia triazoles) sigue siendo el de mayor éxito para reducir el problema, si son usados en el tiempo oportuno (Silva-Acuña *et al.* 2002; Avelino 2006; Campos 2014). Así mismo, la sombra en los cafetales juega un papel importante por su efecto regulador de la carga fructífera, ya que entre mayor es la carga fructífera, hay mayor incidencia de roya (López-Bravo *et al.*2012), aunque según Duicela (2011) y López-Bravo *et al.* (2012), las mayores incidencias se dan cuando hay un exceso de sombra, debido a que crea condiciones microclimáticas favorables. Por lo anterior, sus efectos en relación con factores climáticos son complejos y pueden ser positivos o negativos (Avelino y Rivas 2013; López-Bravo *et al.* 2012).

La renovación del cafetal y el manejo de tejidos es indispensable dentro de la sanidad del cafetal, plantas viejas pueden tener tendencia a enfermarse más fácilmente (Estévez 1995). Por otra parte, estudios realizados hacen referencia a la importancia de la nutrición de las plantas, tanto para aumentar los niveles de producción, como para acrecentar su nivel de defensa ante las enfermedades (Avelino 1996; Agrios 1998; Avelino *et al.* 2006). Una planta bien nutrida tiene mayor capacidad para reponer las hojas enfermas, en comparación con una planta deficientemente alimentada, y consecuentemente las pérdidas son menores (Cristancho *et al.* 2012; Avelino y Rivas 2013). Así mismo, la distancia de siembra utilizada podría tener también su efecto. Según (Paiva *et al.* 2011), a mayor densidad de plantas, puede haber mayor incidencia de roya, en condiciones de carga fructífera homogénea, por el incremento de la humedad.

Ninguna práctica de manejo logrará de manera independiente reducir el impacto de la enfermedad, más cuando se encuentra ante una epidemia. Por tanto, se hace necesario la implementación eficiente de todas en su conjunto (Rivillas *et al.* 2011). La calidad del manejo en el cafetal puede estar influenciada, a su vez, por ciertos aspectos socioeconómicos. Mayores ingresos por la venta de café pueden significar una mejor oportunidad para que el productor invierta más en su finca. Esto a la vez se ve afectado por la inestabilidad en los precios del café. Así mismo, el acceso a financiamientos, acompañado de una asistencia técnica eficiente, ayuda al productor a tomar mejores decisiones sobre cómo invertir ese dinero en su café, enfocado en la implementación de las buenas prácticas de manejo (CAFENICA 2013).

En este estudio, se pretende demostrar la relación entre el impacto de roya y el manejo que de una u otra manera el productor realiza en su parcela, influenciado por ciertos aspectos socioeconómicos. Es de especial interés conocer las prácticas de manejo que les permitieron a los productores atravesar sin daños la epidemia del 2012, la cual fue una de las más graves que la región enfrentó en toda su historia. Este trabajo permitirá también analizar si la enfermedad podía controlarse, a pesar de los decires del sector, sobre lo complicado de su manejo en condiciones adversas como las del 2012. Los resultados encontrados son un insumo que contribuirá en la toma de mejores decisiones, tanto para los productores, como para las entidades orientadas a apoyar al productor, principalmente al pequeño y mediano productor.

2.2. Materiales y métodos

2.2.1 Ubicación de la zona de estudio

El estudio se realizó en Nicaragua, en la denominada región Nicacentral por el proyecto MAP-Noruega del CATIE, en los municipios de Jinotega y el Tuma-La Dalia ubicados en el departamento de Jinotega y Matagalpa respectivamente (Figura 5), donde se concentra el 60% de la producción de café del país (Guharay *et al.* 2000). En esta región, el MAP-Noruega trabaja en pro del mejoramiento de las condiciones de vida de las familias, enfocado en un seguimiento a

los rubros productivos entre estos el café, como una importante fuente de ingreso para las familias productoras. Para poder atender el número de productores propuestos, el MAP-Noruega ha hecho alianza con organizaciones establecidas en cada municipio, principalmente, centrales de cooperativas que atienden cierto número de cooperativas de pequeños productores, enfocados mayormente en el café. Esas centrales de cooperativas sirvieron de base para llevar a cabo este estudio con sus productores. En la Figura 4, se puede observar la ubicación exacta del lugar de estudio y de las fincas muestreadas.

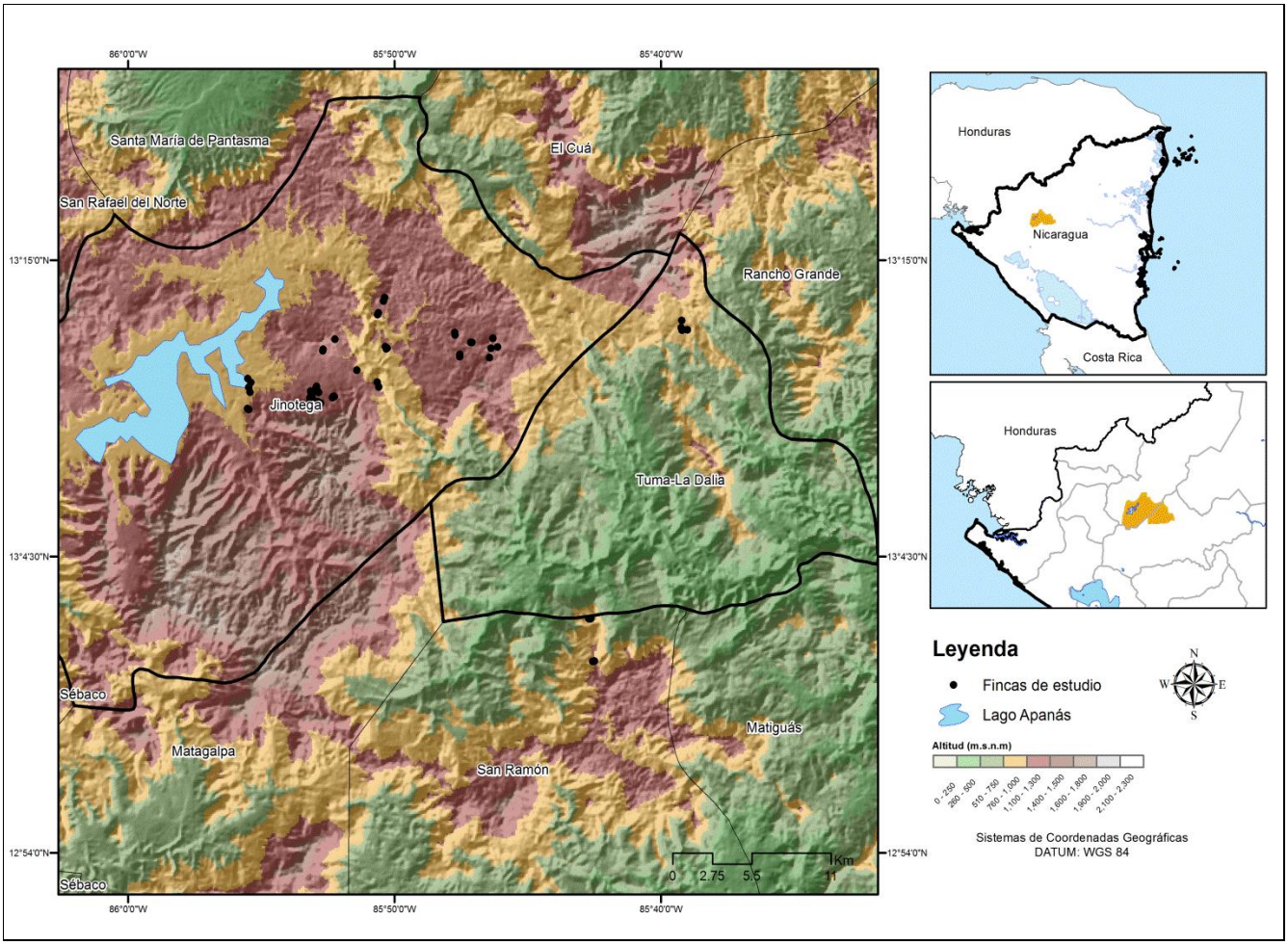


Figura 4. Mapa de la zona de estudio. Los puntos negros corresponden a las fincas estudiadas

2.2.1.1. Caracterización del municipio de Jinotega

El municipio de Jinotega está ubicado en la región central norte de Nicaragua, entre las coordenadas 13º 05' latitud norte y 86º 00' de longitud oeste a 162 km de la ciudad capital. Cuenta con una extensión de 1,119 km^2 y es parte de los ocho municipios que conforman el departamento de Jinotega. Su población aproximada es de 123,548 habitantes, con una densidad poblacional de 140.3 habitantes por km^2. El clima predominante del municipio es de sabana tropical de altura, con temperaturas promedio de 19º a 21ºC, una precipitación pluvial que varía

de 2000 a 2600 mm y una humedad relativa de 75 % al sureste y 85 % al noreste (FIDEG 2012; INIDE Y MAGFOR 2013). Está constituido por altas montañas, cerros, colinas, valles y altiplanos. Sus condiciones edafoclimáticas son propicias para el desarrollo de una alta diversificación productiva entre la que se destacan los rubros de café de altura y sombra, ganadería bovina y ovina, granos básicos y hortalizas, caracterizado por una fuerte actividad comercial (FIDEG 2012).

El municipio cuenta con una extensión de 53,220 ha dedicadas a la actividad agropecuaria, de las cuales 39,123 ha son para el uso agrícola (75 %), 12,955 ha para uso pecuario y 1,142 ha correspondientes a instalaciones diversas, todas distribuidas en un total de 6,346 fincas. La principal actividad agrícola en este municipio corresponde al café, siendo la fuente principal de los ingresos económicos de las familias. Del total de fincas reportadas para la actividad agropecuaria, existen 3,654 fincas dedicadas a la producción de café; lo que representa un total 13,558 ha (INIDE Y MAGFOR 2013). De manera general, la zona cafetalera del municipio se ubica entre un rango de altura de 700-1200 msnm (FUNICA 2009). En este municipio, Caturra es la variedad, mayormente cultivada, seguido por Bourbón y Catuaí, por tanto fue más favorable para el estudio, razón por la cual, en este municipio se localizaron 50 fincas de las 58 fincas totales del estudio.

2.2.1.2. Caracterización del municipio Tuma-La Dalia

Este municipio pertenece al departamento de Matagalpa dentro de la región central, entre las coordenadas 13º 08' latitud norte y 85º44' longitud oeste. Está ubicado a 175 km de la ciudad capital y a 45 km de la cabecera departamental. Cuenta con una extensión territorial de 651.66 (INIDE Y MAGFOR 2013) km^2 y una población total de 64,288 habitantes, con una densidad poblacional de 139 habitantes por km^2. Su clima reúne las características de la clase bioclimática de bosque tropical semihúmedo con precipitaciones que fluctúan entre los 2000 – 2500 mm y temperaturas que oscilan entre los 22ºC y 24ºC (FUNICA 2009)

Las condiciones climáticas son propicias para la producción de café en este municipio y se cultivan alrededor de unas 11,437 ha de café lo que representa el 36 % del departamento de Matagalpa. La cantidad de hectáreas mencionadas están distribuidas en un total de 2,777 fincas lo que brinda un promedio de 4 ha por fincas (INIDE Y MAGFOR 2013). De manera general, la mayor parte del café cultivado en el municipio se ubica entre los 700-1200 msnm. En este municipio, hay una mayor predominancia de líneas de Catimor. No se tiene conocimiento del tipo de línea, debido a que se han introducido al país sin control. Sin embargo, las fincas con variedades susceptibles fueron fuertemente afectadas por roya, esto dificultó encontrar mayor número de fincas, útiles para el estudio (solo 8 fincas).

2.2.1.3. Caracterización del municipio San Ramón

Este municipio pertenece al departamento de Matagalpa. Está ubicado entre las coordenadas 12º55' latitud norte y 85º50' longitud oeste y posee una extensión territorial de 424 km^2. Su topografía es irregular, con una altura promedio de 640 msnm. El clima es de tipo sabana tropical, con temperaturas que oscilan entre 20º y 26º, y precipitaciones que varían de 1600-2000mm.

San Ramón es un municipio intensamente agropecuario. El 64% del total de su superficie, equivalente a 19,900 ha son utilizadas para la actividad agrícola, de las cuales 5,484 son empleadas para el cultivo del café. En este municipio, se ubicaron 4 fincas para el estudio.

2.2.1.4. Descripción del impacto de roya 2012-2013

En Nicaragua, como en todo Centroamérica, la epidemia de la roya del café más reciente inició en el 2012. Para el 2014, los impactos de roya y manejo de las parcelas de café en el 2012 eran todavía visibles o estaban guardados en la memoria de los productores. Por lo tanto, lo anteriormente mencionado fueron aspectos favorables para la realización de este estudio.

La incidencia de roya en el departamento de Jinotega fue reportado en un 53 %, superior a los demás departamentos productores de café, mientras en el departamento de Matagalpa fue reportada una incidencia de un 31 %. Los dos municipios seleccionados para el estudio representan, dentro de sus respectivos departamentos, una gran parte de la producción de café; siendo una de las razones por la cual fueron seleccionados para el estudio.

2.2.2. Identificación de la zona fuertemente afectada por la enfermedad

Para el desarrollo del estudio, se seleccionó primeramente una zona donde la roya del café afectó severamente durante el ciclo de cosecha 2012-2013, dentro de los municipios Jinotega y el Tuma/La Dalia.
El área de estudio, considerada como zona severamente afectada, fue determinada a través de entrevistas a expertos que trabajan en la zona: especialistas y técnicos de MAP-Noruega, en la región Nicacentral. Se contó además con el apoyo de organizaciones no gubernamentales socias de MAP-Noruega, como: SOPPEXCCA, FUNJIDES y CECOSPROCAES, en Jinotega, UCA-LA DALIA y cooperativa Augusto Cesar, en Tuma-La Dalia y COOMPROCOM en San Ramón. Se obtuvo también el apoyo de promotores locales y presidentes de diferentes cooperativas. Estos informantes facilitaron, además, una lista de productores que según visitas técnicas estaban clasificados como muy afectados y poco afectados. La información brindada por todos los colaboradores fue complementada con visitas de campo a las áreas impactadas mencionadas para:

i) conocer a los productores y verificar en campo los niveles del impacto; y ii) definir mejor el área exacta para el estudio.

2.2.3. Selección de las fincas

La muestra fue compuesta por 58 fincas distribuidas dentro de la zona severamente afectada, seleccionada dentro de los municipios en estudio (50 en Jinotega y 8 en Tuma-La Dalia): 29 fincas no impactadas o menos afectadas por la enfermedad y 29 fuertemente impactadas, asociadas en pares. Cada par de fincas estaba ubicado en la misma localidad. La selección se hizo basada en criterios previamente establecidos; plantaciones mayores de 3 años, variedades susceptibles a la roya (no catimores), rango altitudinal entre 800-1200 msnm y de preferencia pequeños y medianos productores.

En un primer momento, se seleccionó una cantidad de fincas superior. Luego, se eliminaron aquellas que no cumplían con los criterios de selección, principalmente la variedad. También se eliminaron algunas que no estaban acorde con la información brindada por el informante. En ocasiones, una finca reportada como fuertemente afectada reflejaba lo contrario en momento de la visita, verificado con la información del productor y lo apreciado en campo. La delimitación de las fincas definitivas (29 pares), se realizó después de las observaciones de campo, una vez que se determinó el nivel de impacto. La primera actividad consistió en la identificación de las parcelas no afectadas o menos afectadas, que eran las más difíciles de encontrar, dentro de la zona afectada. Luego, a cada finca poco afecta se le ubicó, a la par o lo más cerca posible, una fuertemente afectada y de esta manera se completaron los 29 pares de finca. Fue interesante en muchos casos, donde fincas o lotes separados únicamente por la cerca, uno estaba muy afectado y otro poco afectado, ambos con variedad caturra (Figura 1).

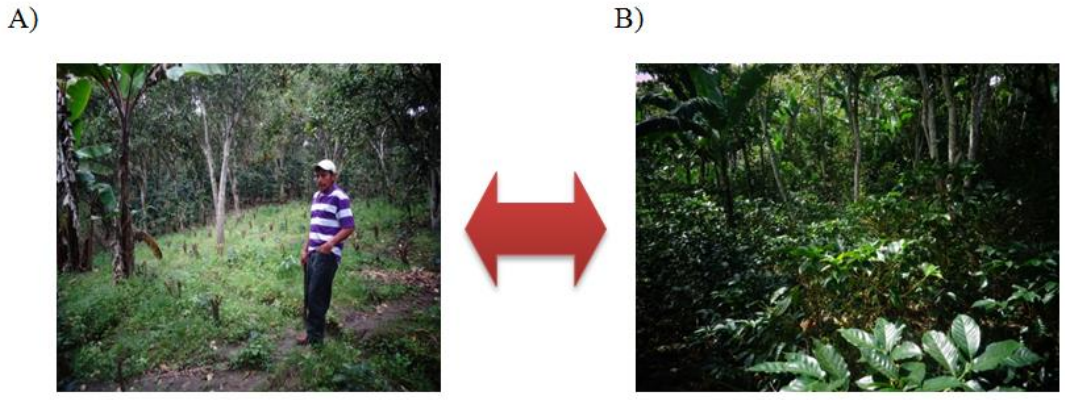


Figura 5. Par de fincas estudiadas. A, finca recepada consecuentemente al fuerte ataque de roya durante 2012; B, finca muy poco afectada. Ambas fincas se encuentran separadas únicamente por la cerca, pero, con diferencias en el manejo. Localidad: Jiguina-Jinotega (Foto Rogelio Villarreyna)

2.2.4. Determinación del manejo del cafetal

El manejo realizado en cada finca de café, en el 2011 y 2012, fue determinado a través de entrevista al productor. Mediante la entrevista se obtuvo información de fungicidas que aplicó en el 2011 y 2012, con sus dosis y mes de aplicación, insecticidas aplicados en el 2011 y 2012, manejo de tejidos 2012, manejo de la sombra en el 2011 y 2012, uso de trampas para broca, control de malezas (químico y mecánico), muestreos de roya y comportamiento de las cosechas (anual o bienal). La entrevista fue la herramienta más oportuna para recoger la información del manejo, antes y durante el impacto de roya. En la medida de lo posible, se trató de obtener información confiable, para lo cual se contó además con el apoyo de facilitadores locales que conocen en cierta medida lo que hace el productor en su finca de café.

2.2.5. Determinación de la fertilización del cafetal

La fertilización del café es un aspecto muy importante dentro del manejo de los cafetales. En este estudio, por la cantidad de variables que esta práctica integra, se separaron del resto de práctica de manejo, para un mejor análisis. La información sobre variables de fertilización se obtuvo a través de entrevista al productor. En ella, se preguntó sobre fertilización al suelo y foliar. En la fertilización al suelo, se obtuvo información de la fórmula de abono utilizada en el 2011 y 2012, número de aplicaciones, fecha de cada aplicación y dosis utilizada en cada aplicación. En cuanto a los productos foliares, se preguntó sobre el tipo de producto aplicado, en el 2011 y 2012 con una descripción completa del producto, incluyendo casa comercial distribuidora. Igualmente, la dosis utilizada, número de aplicaciones y fecha de aplicación.

2.2.6. Caracterización del aspecto socioeconómico

La información sobre aspectos socioeconómicos se obtuvo de entrevista aplicada al productor. En la entrevista, se preguntó sobre la edad del productor, nivel de escolaridad, capacitaciones sobre manejo de café, ingresos por la venta de café, asistencia técnica, número de visitas técnicas en el año y acceso a créditos. Estas características socioeconómicas fueron seleccionadas porque influyen en el manejo del cafetal por parte del productor.

2.2.7. Caracterización de la estructura de la parcela

La estructura de la parcela de café fue evaluada a través de observaciones de campo. Con este objeto, se utilizó una parcela pequeña de 400 m^2 (10 surcos x 20 plantas en cada surco),

representativa a juicio del productor del lote en estudio (Figura 6). Dentro de esta parcela seleccionada se definió una unidad de muestreo de 5 plantas. Las plantas fueron ubicadas en zigzag surco 2 (planta 4), surco 4 (planta 16), surco 6 (planta 10), surco 8 (panta 2), surco 9 (planta 15), siguiendo la metodología utilizada por Romero (2010). Estas plantas se utilizaron para describir distancias entre plantas de café, número de cafetos por hoyo, porcentaje de sombra, porcentaje de cobertura del suelo.

Se observaron además otras características de estructura de parcela relacionadas con la sombra: número de especies de árboles, densidad de árboles de sombra por estrato de sombra y número de estratos de sombra. Con este propósito, se aumentó el tamaño de la parcela muestral a 1000 m^2 (32 x 32 m), para tener una mayor representatividad de árboles, tomado en cuenta el área utilizada por Zúñiga *et al.* (2004) para medir dosel de sombra (Figura 6). Todas estas caraterísticas de estructura pueden tener relación con la incidencia y severidad de la enfermedad (Avelino *et al.* 2004)

A continuación, se describe el método utilizado para documentar las características antes mencionadas.

- Distancia entre plantas de café: en las 5 plantas seleccionadas (Figura 6) se midió, a través de una cinta métrica, la distancia a sus plantas vecinas (en la línea de plantación y entre filas).
- Número de cafetos por hoyo: se determinó contando el número de plantas de café por hoyo en las 5 plantas seleccionadas.
- Orientación del surco: se determinó con la ayuda de una brújula, con respecto al norte magnético.
- Porcentaje de sombra: mediante un densiómetro esférico se tomaron mediciones en 5 puntos de la parcela, con 4 mediciones por punto, en correspondencia con los puntos cardinales, según metodología descrita por Englund *et al*. (2000). Estas mediciones se realizaron en los puntos definidos por las 5 plantas definidas en la parcela muestral.
- Especies de árboles de sombra: con la ayuda del productor, se identificaron todas las especies de plantas que interfieren con su sombra sobre en los cafetos (> 2 m intercalados con el café).
- Densidad de árboles de por estrato de sombra: se contaron todas las plantas en los estratos establecidos (2-8 m; 9-17 m; 18-24 m y >24 m de altura) intercaladas con el café en la parcela en estudio. Para esta variable, se estableció un área de 1000 m^2.
- Número de estratos de sombra: mediante una estimación visual y con ayuda de un clinómetro Suunto, se determinó el número de estratos de sombra en cada una de las parcelas, siguiendo las escalas definidas por Somarriba (2005) y con base en alturas de árboles encontradas en Nicaragua por López *et al.* (2003): 2-8 m, 9-18 m, 18-24 m, >24 m).

- Sistema de poda de plantas de café: además de la información del productor esta se estimó de manera visual, si fue por bloque, hilera, planta o tallo (poda selectiva).
- Porcentaje de cobertura del suelo: se realizó a través de estimación visual. Esto se hizo en cinco puntos en la calle, con la ayuda de un marco de 1 m^2, siguiendo la metodología utilizada por Deheuvels *et al.* (2012). En cada punto se estimó el % de hojarasca seca, malas hierbas (zacate, hojas ancha, bejucos, ciperáceas, etc.), buena cobertura (hoja ancha y angostas), suelo desnudo, piedras. Finalmente, se obtuvo un promedio de los 5 puntos para cada tipo de cobertura encontrada.

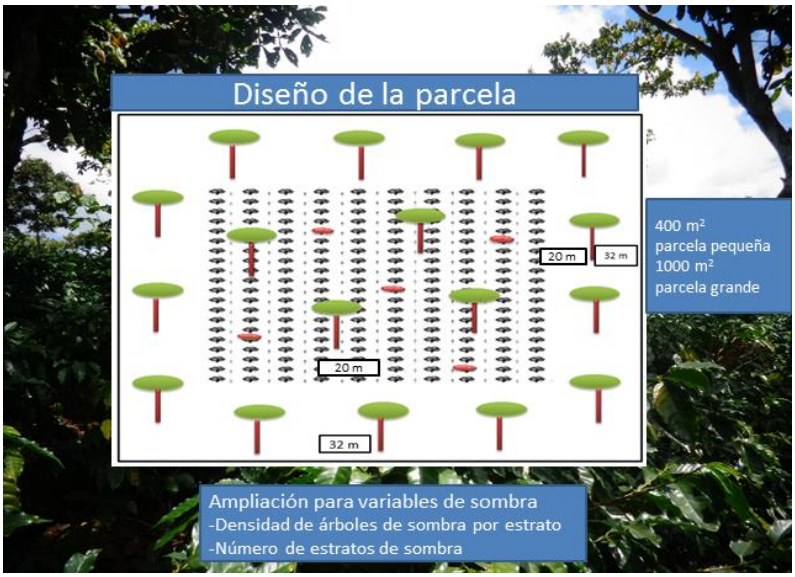


Figura 6. Ubicación de las unidades de muestreo dentro de cada parcela de estudio. En el centro, se muestra la parcela pequeña de 400 m^2 (plantas rojas son unidad de muestreo y plantas negras son plantas de la parcela). Se presenta también la ampliación de la parcela en 1000 m^2 para variables de sombra.

2.2.8. Caracterización de aspectos ambientales

Las parcelas estudiadas fueron georreferenciadas. Los factores ambientales, como altitud, inclinación de la pendiente y orientación de la pendiente, se obtuvieron a través del uso de un GPS, un clinómetro Sunnto y una brújula respectivamente. La inclinación de la pendiente y la orientación se midieron desde la parte superior de la parcela.

2.2.9. Evaluación del impacto de la roya

El impacto de roya evaluado corresponde al año 2012. Lo más conveniente para el estudio era hacer la evaluación al año siguiente (2013), donde se hubiesen observado los daños ocasionados,

manifestados en el estado de las parcelas. Sin embargo, el estudio se llevó a cabo hasta el año 2014. Para entonces, ya no era posible observar claramente el nivel de afectación. Por lo cual, la información del impacto se obtuvo a través de entrevista al productor/a, partícipe de toda la problemática del 2012.

En la entrevista, se tuvo conocimiento de aspectos como:

- Nivel de afectación de la parcela en el 2012, evaluada en categorías, leve, moderado y fuerte.
- Plantas fuertemente afectadas, área fuertemente afectada, impacto de la defoliación y muerte de ramas, evaluadas en categorías, muy leve (0-10%), leve (10-25%), moderado (25-50%), fuerte (50-75%) y muy fuerte (>75%).
- Intensidad de poda según el productor, leve (<20%), moderada (20-50%), fuerte (>50%). Poda realizada por afectación de roya, selectiva, bloque, ninguna.
- Etapa en que se presentó la defoliación; antes, durante o después de la cosecha 2012. La defoliación antes de la cosecha indica que la epidemia fue severa y puede haber pérdidas en cosecha, incluso el mismo año de afectación, lo cual no ha sido muy común. Las pérdidas por lo general se han observado al año siguiente (Avelino y Galileo 2013).
- Las pérdidas estimadas en el 2012 y 2013, fueron también importantes para evaluar el impacto.

2.2.9.1. Características de impacto evaluadas en campo

Dos aspectos importantes para medir el nivel de impacto fueron evaluados a través de observaciones de campo; la intensidad de poda, la cual ya fue informada con el productor, y número de nudos productivos por planta. Los 3 surcos centrales de la parcela, definida para evaluar aspectos de estructura de parcela fueron utilizadas para tal fin (Figura 7). A cada planta se le contó el número de tallos totales y el número de tallos podados en el 2013.

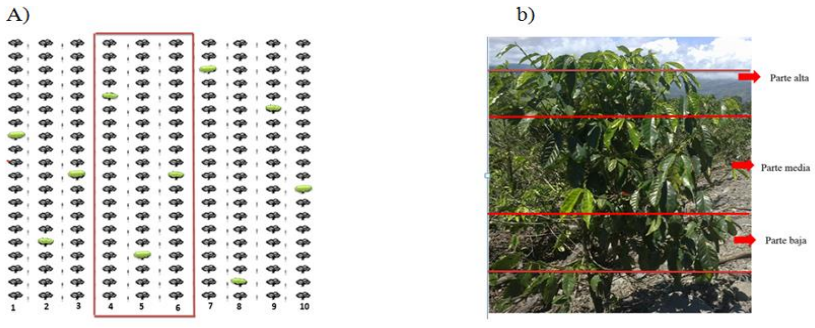


Figura 7. Representación de las unidades de muestreo (plantas verdes), utilizadas para medir productividad e intensidad de poda (rectángulo) (Figura a). La figura b) muestra la selección del rango de ramas productivas y ubicación de los estratos.

Para evaluar el número de nudos productivos se seleccionaron 10 plantas en la parcela muestral (Figura 7). Esta característica se midió a fínales de la cosecha 2013-2014, justo en el mes de enero, permitiendo aún determinar los nudos productivos, con los restos de cosecha. Se definió un rango de ramas productivas, desde la productiva superior a la inferior y se contaron las ramas productivas dentro de ese rango. Cada planta se dividió en 3 estratos (bajo, medio, alto), dentro del rango de bandolas productivas (Figura 7). Luego en cada estrato se seleccionó una rama a la que se le contaron los nudos productivos. Tanto la intensidad de poda como los nudos productivos por planta, permitieron tener una mejor noción del impacto de roya en cada lote.

2.2.10. Descripción de las variables utilizadas para el estudio

En el cuadro 1, se hace una descripción de todas las variables utilizadas para el estudio.

2.2.10.1. Variables analizadas

La mayoría de las variables analizadas no requirieron cálculos especiales (Cuadro 1). Estas fueron directamente documentadas con el productor o en el campo. Otras, sin embargo, requirieron un cálculo; las cuales se describen a continuación:

- **Variables de fertilización**

Con la información obtenida de la fertilización, se realizaron cálculos para determinar la cantidad de cada macro y micro nutriente aplicada, tanto al suelo como al follaje. La cantidad de cada elemento aplicado al suelo se definió teniendo conocimiento de la fórmula de abono utilizada. Para esto, el productor mostró los sacos vacíos de abono que había utilizado en el 2012, de donde se tomó la fórmula.

Para los fertilizantes foliares, con la información brindada por el productor, se buscaron los panfletos de cada producto en las casas comerciales. Considerando la cantidad de agua utilizada se estimó la cantidad en g/ha de cada macro y micro nutriente aplicado al follaje.

- **Variables de impacto**

✓ Las pérdidas estimadas en el ciclo 2012-2013 y 2013-2014 se obtuvieron, teniendo como base la información del rendimiento obtenido y el rendimiento esperado por el productor, correspondiente a cada ciclo.

✓ Para la intensidad de poda, se sumó el total de tallos de todas las plantas observadas, incluyendo los podados en el 2013 y se obtuvo el promedio. Del mismo modo, se sumó la cantidad de tallos podados y se consiguió el promedio. Finalmente, con los dos promedios se estimó la intensidad de poda, medida en porcentaje.

✓ El número de nudos productivos por planta se estimó, teniendo el previo conocimiento de la cantidad estimada de nudos productivos por rama y el número de ramas productivas por planta.

Cuadro 1. Lista de variables que describen cada parcela de café

Tipo de variable	Variable	Código	Unidad de medida
Impacto de Roya	Afectación de roya en el 2012 según apreciación del productor	AR12	_
	Clasificación con base en la cantidad de plantas fuertemente afectadas	CPFA	_
	Clasificación con base en el área afectada	CAAR	_
	Impacto de la defoliación por roya	IDR	_
	Etapa en que se presentó la defoliación	ED	_
	Muerte de ramas	MR	_
	Intensidad de la poda en el 2012, según el productor	IPAR	_
	Tipo de poda realizada por afectación de roya	TPAR	_
	Pérdida estimada por afectación de roya en el 2012	PEAR12	qq oro/ha
	Pérdida estimada por afectación de roya en el 2013	PEAR13	qq oro/ha
	Nudos productivos por planta	NP/P	Uni/plant
	Intensidad de poda estimada a través	IPE	%
Fertilización	Número de fertilizaciones al suelo 2011	AFE11	Unidad
	Número de fertilizaciones al suelo 2012	AFE12	Unidad
	Cantidad de nitrógeno aplicado al suelo	N_S	Kg/ha
	Cantidad de fósforo aplicado al suelo	P_S	Kg/ha
	Cantidad de potasio aplicado al suelo	K_S	Kg/ha
	Cantidad de magnesio aplicado al suelo	Mg_S	Kg/ha
	Cantidad de calcio aplicado al suelo	Ca_S	Kg/ha
	Cantidad de azufre aplicado al suelo	S_S	Kg/ha
	Cantidad de boro aplicado al suelo	B_S	Kg/ha
	Número de fertilizaciones foliares 2011	AFF11	Unidad
	Número de fertilizaciones foliares 2012	AFF12	Unidad
	Cantidad de nitrógeno aplicado al follaje	N_F	g/ha
	Cantidad de fosforo aplicado al follaje	P_F	g/ha
	Cantidad de potasio aplicado al follaje	K_F	g/ha
	Cantidad de magnesio aplicado al follaje	Mg_F	g/ha
	Cantidad de calcio aplicado al follaje	Ca_F	g/ha
	Cantidad de boro aplicado al follaje	B_F	g/ha
	Cantidad de cobre aplicado al follaje	Cu_F	g/ha
	Cantidad de zinc aplicado al follaje	Zn_F	g/ha
	Cantidad de azufre aplicado al follaje	S_F	g/ha
	Cantidad de polisacárido aplicado al follaje	Pol_F	g/ha
	Cantidad de hierro aplicado al follaje	Fe_F	g/ha
	Cantidad de aminoácidos aplicado al follaje	aaT_F	g/ha
	Cantidad de manganeso aplicado al follaje	Mn_F	g/ha
Manejo	Si el productor realiza monitoreo de roya	RMR	_
	Si el productor realizó poda de sombra en el 2011	PS11	_
	Si el productor realizó poda de sombra en el 2012	PS12	_
	Tipo de poda en el café, realizada de costumbre por el productor	TPAC	_
	Comportamiento de la producción	R.C	_

	Si aplicó insecticidas en el 2011	Ins11	_
	Si aplicó insecticidas en el 2012	Ins12	_
	Si aplica trampas para broca	TBro12	_
	Fecha de la primera aplicación de producto fungicida 2012	PA12	Semestre
	Número de aplicaciones de fungicidas en el 2011	AFun11	Unidad
	Número de aplicaciones de fungicidas en el 2012	AFun12	Unidad
	Número de aplicaciones de productos erradicantes 2012	Errad12	Unidad
	Número de aplicaciones de productos protectantes 2012	Prot12	Unidad
	Número de limpias mecánicas	Lmec	Unidad
	Número de limpias químicas	Lquím	Unidad
	Número de operaciones de sombra realizadas	Opsom	Unidad
	Edad de las plantas de café	Epta	Años
Socioeconómicas	Nivel de escolaridad del productor	NEP	_
	Nivel de escolaridad mayor de un miembro de la familia	NEMF	_
	Si recibe asistencia técnica	Atec	_
	Si tiene acceso a crédito	Cred	_
	Si ha recibido capacitaciones sobre manejo de café	CMC	_
	Edad del productor	EP	Años
	Total de miembros de la familia	TMF	
	Cantidad de temas de capacitaciones recibidos	CTC	Unidad
	Número de visitas técnicas en el año	NVA	Unidad
	Ingresos por venta de café por hectárea	I/VC	$/ha
Estructura de parcela	Presencia de leguminosas	Legum	_
	Presencia de maderables	Mader	_
	Presencia de leñosas	Leñ	_
	Presencia de frutales	Frut	_
	Presencia de bananos	Bana	_
	Porcentaje de sombra	%som	%
	Número de especies de árboles de sombra	NES	Unid/1000m^2
	Número de estratos de sombra	Esom	Unidad
	Número de árboles de 2-8 m de altura	A2-8m	Unid/ha
	Número de árboles de 9-17 m de altura	A9-17m	Unid/ha
	Número de árboles de 18-24 m de altura	A18-24m	Unid/ha
	Cantidad de bananos	Ban/ha	Unid/ha
Estructura del cafetal	Densidad de plantación	Densid	Plntas/ha
	Orientación del surco	OriSur	Grados
	Cantidad de suelo cubierto por hojarasca seca	CobHS	%
	Cantidad de suelo cubierto por malas hierbas	CobMH	%
	Cantidad de suelo cubierto por buena cobertura	CobBC	%
	Cantidad de suelo desnudo	SueloD	%
Ambiente	Altura sobre el nivel del mar	Altitud	msnm
	Porcentaje de pendiente	%P	%
	Orientación de la pendiente	OriP	Grados

2.2.11 Análisis estadístico

Paso 1. Tipología de impacto: consistió en formar la tipología de impacto con todas las variables. A través del análisis de conglomerado, se definieron tres grupos o clases de impacto (impacto leve, moderado y fuerte). El método de Ward y la distancia Gower permiten crear tipologías con variables mixtas. Para conocer la contribución de las variables iniciales, se procedió de dos maneras: según variables cualitativas y cuantitativas. Un análisis de tabla de contingencia permitió conocer el valor chi^2 y el valor de significancia (valor *P*) de cada variable cualitativa. Así mismo, un análisis de la varianza no paramétrica (Kruskal Wallis) permitió conocer el valor *H* y el valor de significancia (valor *P*) de cada variable cuantitativa, dentro de la tipología de impacto.

Paso 2. Selección de variables: con la tipología de impacto definida se procedió a un segundo paso, en el cual se relacionaron todas las variables; de manejo, fertilización, socioeconómicas, estructura de parcela y ambiente, con las clases de impacto. Se utilizó una tabla de contingencia para analizar la relación entre las clases de impacto y variables cualitativas, a través del valor chi^2 y *P* reflejado. Así mismo, una prueba de análisis de la varianza no paramétrica (Kruskal Wallis) permitió conocer las variables cuantitativas más relacionadas con el impacto, a través del valor *H* y *P* reflejado. Las variables explicativas no significativas fueron descartadas de los pasos siguientes del análisis.

Paso 3. Tipologías de manejo, fertilización y aspectos socioeconómicos: una vez determinadas las variables relacionadas significativamente con el impacto se procedió a crear tipologías de manejo, fertilización y aspectos socioeconómicos. Las variables de estructura y ambiente, resultaron no estar relacionadas con el impacto, por tanto, ya no fueron tomadas en cuenta. El corte en los conglomerados se hizo de tal forma que se obtuvieran grupos con suficientes individuos. Para conocer la contribución de las variables iniciales, se procedió de la misma manera que se describe en el paso 1.

Paso 4. Relación entre manejo, fertilización, aspecto socioeconómico e impacto de roya: a través un análisis de tabla de contingencia, se expresó el grado de asociaciones entre las tipologías de manejos, fertilización y variables socioeconómicas, tomando en cuenta el valor chi^2 y valor *P*. Finalmente, un análisis de correspondencia fue utilizado para visualizar gráficamente las asociaciones significativas reflejadas en la tabla de contingencia.

Paso 5. Jerarquización de las variables explicativas, según efecto en el impacto: se utilizaron árboles de clasificación de Random Forests para determinar las variables más importantes, es decir, las que más explican el impacto. Durante el proceso de clasificación, se hace posible obtener un resumen de las variables más importantes a través del coeficiente de Gini. Este coeficiente estima el valor de la variable según su participación en la ramificación del árbol y a través de la suma del error cuadrático medio. En este caso, la variable que suma más error indica que fue utilizada más veces en la creación del árbol; lo que la hace más importante. Entre más cerca del cero sea la suma de las disminuciones, menos importante es la variable.

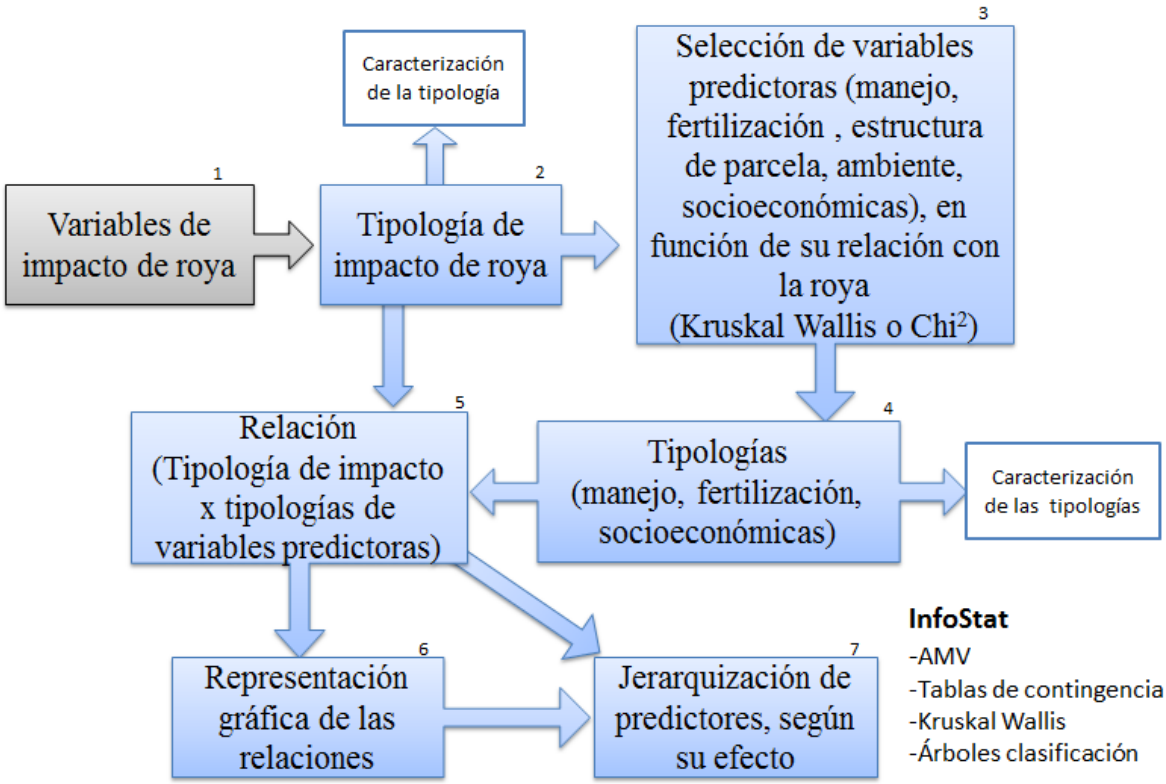


Figura 8. Diagrama del análisis estadístico.

2.3. Resultados

2.3.1. Tipología o clases de impacto

A través de un análisis de conglomerados, se formaron tres clases de impacto, impacto leve (Imp_Leve), impacto moderado (Imp_mod) e impacto fuerte (Imp_Fuert). Los resultados de la descripción de las clases de impacto creadas se muestran en los cuadros 2 y 3. Cuadro 2, variables cualitativas y cuadro 3, variables cuantitativas. En dichos cuadros, se puede observar la contribución de cada variable de impacto a la formación de las diferentes clases. Todas las variables de impacto descritas en el cuadro 1, resultaron muy significativas en las tres clases de impacto creadas.

- **Imp_Leve:** 100% de los productores indican que tuvieron poca afectación de roya 2012, pocas plantas y área afectada y poca muerte de ramas. Más del 90% de los productores indica poca defoliación, poca poda por roya y que la poda fue selectiva. Según el productor las pérdidas en 2012 y 2013 fueron < 1 qq oro/ha. Se verificó que en este grupo la carga fructífera fue la mayor de todas y la intensidad de poda fue la menor, con solo 13% de los tallos podados en 2013.

Cuadro 2. Descripción de las clases de impacto y la contribución de cada variable cualitativa, a su formación, bajo el valor Chi2 y P, a través de una tabla de contingencia

Variables	Clases			Total	Valor Chi^2	*P*
	Imp_Leve	Imp_Mod	Imp_Fuert			
AR12	P 100%	M 40%, F 60%	F 100%	P 50%, F 43%, M 7%	90.2	0.0001
CPFA	P 100%	M 80%,	F 100%	P 50%, F 36%, M 14%	104.6	0.0001
CAAR	P 100%	M 90%	F 100%	P 50%, F 34%, M 16%	109.8	0.0001
IDR	P 97%	M 50%, F 50%	F 100%	P 48%, F 41%, M 11%	87.8	0.0001
ED	Drc 38 %, 34% Ac	Ac 90%	Ac 89%,	Ac 62%, Drc 24%, Dsc 14%	23.3	0.0001
MR	P 100%	P 70%	M 47%, F 47%	P 64%, M 21%, F 16%	59.6	0.0001
IPAR	<20%: 98%	20-50%: 80%	>50%: 74%	<20%: 50%, >50%: 28%, 20-50%: 22%	76.9	0.0001
TPAR	Selec: 90%	Sel 70%	B 84%	Sel 50%, B 33%, Amb 17%	57.5	0.0001
N	29	10	19	58		

AR12= Afectación de roya en 2012, CPFA= Cantidad de plantas fuertemente afectadas, CAAR=Cantidad de área fuertemente afectada, IDR=Impacto de la defoliación por roya, ED=Etapa de la defoliación, MR=Muerte de ramas, IPAR=Intensidad de poda por afectación de roya, P=Poco, M=Moderado, F=Fuerte, Sel=Poda selectiva, SelyB= Poda selectiva y por bloque, B=Poda en bloque, Ac, Drc, Dsc=Antes, durante y después de la cosecha, respectivamente. Cada variable más la sigla es utilizada para explicar, ejem. AR12 P 100% (dentro del impacto leve el 100% tuvieron poca afectación de roya 2012. La columna del total se basa en el total de datos observados N=Número de fincas.

- **Imp_Fuert:** el 100% de los productores indican que tuvieron fuerte afectación de roya en 2012, mayor cantidad de plantas y mucha área fuertemente afectada, mayor % de defoliación y mayor cantidad de ramas muertas. Más del 80% de los productores señala que tuvo defoliación antes de la cosecha y poda por roya en bloque. El 74% de los productores indica que realizó una intensidad de poda >50%. Según información del productor, hubo pérdidas estimadas en 4qq oro/ha (2012) y 10 qq oro/ha (2013), lo cual es considerable tomando en cuenta el promedio de producción de la región que puede oscilar entre 16 y 18 qq oro/ha. Se verificó que en este grupo la carga fructífera fue la menor de todas y la intensidad de poda fue la mayor con un 55% de tallos podados.

- **Imp_Mod:** esta clase agrupa productores con valores intermedios entre el Imp_Leve e Imp_Fuerte, con ligera tendencia hacia el Imp_Fuerte.

2.3.2. Selección de variables relacionadas con el impacto de roya

Los resultados de la selección de variables predictoras, según su relación con las clases de impacto se muestran en los cuadros 4, 5, 6, 7, 8, 9. Las variables cualitativas que fueron seleccionadas para el resto de los análisis (bajo valor Chi^2, $P \leq 0.10$) se muestran en el cuadro 4, mientras las cuantitativas seleccionadas (según Valor *H*, $P \leq 0.10$) se muestran en el cuadro 5. Las

Cuadro 3. Descripción de las clases de impacto y la contribución de cada variable cuantitativa, a su formación, bajo el valor *H y P*, a través de una prueba de la varianza no paramétrica (Kruskal Wallis)

Variables	Clases						Total	Valor *H*	*P*
	Imp_Leve	D.E	Imp_Mod	D.E	Imp_Fuert	D.E			
PEAR12	0.5a	0.9	1.4ab	1.5	3.9b	5.9	1.8	8.91	0.0042
PEAR13	1.0a	1.0	8.6b	3.6	10.5b	7.3	5.4	42.8	0.0001
NP/P	135.2a	73.0	41.1b	31.5	8.3c	15.5	74.4	39.47	0.0001
IP %	13.0a	7.2	26.9b	10.9	55.0b	29.2	29.1	29.45	0.0001
N	29		10		19		58		

PEAR12=Pérdida estimada por afectación de roya en el ciclo 2012-2013 (qq oro/ha), PEAR13=Pérdida estimada por afectación de roya en el ciclo 2013-2014 (qq oro/ha), NP/P= Nudos productivos por planta, IP %=Intensidad de poda observada. Los datos reflejados corresponden a la media. Letras diferentes en la misma fila, indican que hay diferencia estadística significativa. a), representa el valor que más se acerca a lo positivo que debería obtenerse, b), indica lo contrario a lo de a) y ab), que no hay diferencia. N al número de fincas. La columna del total se basa en el total de los datos observados.

variables cualitativas que fueron descartadas por no tener relación con el impacto de roya (según valor Chi^2, $P \geq 0.10$) son mostradas en el cuadro 6 y 8. De igual manera, los resultados de las variables cuantitativas descartadas (según Valor *H*, $P \geq 0.10$) son presentados en el cuadro 7 y 9.

Cuadro 4. Variables seleccionadas, con base en los resultados de la prueba chi^2 ($P<0.1$), aplicada a tablas de contingencia de la forma (variable codificada x clases de impacto de roya)

Tipo de Variable	Variable	Clases de impacto de roya			Valor Chi^2	*P*
		Imp_Leve	Imp_Mod	Imp_Fuert		
Manejo General	RMR	62 % Si RMR	80% No RMR	79% No RMR	10.6	0.005
	TPRC	93% Selec, 7% Otro tipo	93% Selec, 7% Otro tipo	74% selec, 26% No Podan	16	0.0031
	RC	62% Estable	80% Bienal	79% Bienal	10.6	0.0005
	PA12	79% 1erSemestre	50% 1erSemestre	53% 2doSemestre	10.5	0.0334
	PS11	86% Si PS11	60% No PS11	58% No PS11	13.3	0.0013
	PS12	97% Si Poda12	90% Si Poda12	53% No PS12	17.7	0.0001
Aspectos	NEP	90% NEP PCyS	70% Ningún NEP	42% Ningún NEP	25.92	0.0002
Socieconó-	ATec	83% Si ATec	80% Si ATec	53% Si ATec	5.37	0.0683
micos	Créd	97% Si Crédito	100% Si Crédito	63% Si Crédito	12.83	0.0016
	CMC	93% Si Cap.	50% SI Cap.	58% Si Cap.	12.02	0.0024

Los datos reflejados en porcentaje (%) se basan en la cantidad de fincas en cada clase de impacto. RMR=Realiza monitoreo de roya, TPRC=Tipo de poda en café realizada por el productor, RC=Comportamiento de la producción, PA12=Fecha de la 1º aplicación de fungicida, PS11 y PS12, Regulaciones de sombra en 2011 y 2012, NEP=Nivel de educación del productor, ATec=Asistencia técnica, Créd=Crédito, CMC=Capacitaciones sobre manejo de café, Otro=Otro tipo de poda, 1erSemestre=Primer semestre, 2doSemestre=Segundo semestre, NEP PCyS= Nivel de escolaridad del productor, primaria completa, Cap.=Capacitación

Cuadro 5. Variables cuantitativas seleccionadas, a través un de análisis de la varianza no paramétrica (Kruskal Wallis), bajo el valor *H* y un *P≤0.10* (variable codificada x clases de impacto de roya)

Tipo de Variable	Variable	Clase			Valor *H*	*P*
		Imp_Leve	Imp_Mod	Imp_Fuert		
Prácticas de	AFun11	2.3a	1.5ab	1.2b	6.1	0.0390
Manejo	AFun12	3.4a	1.7b	1.8b	13.2	0.0009
	Errad12	3.0a	1.1b	1.5b	11.1	0.0027
	Opsom	1.1a	0.9ab	0.7b	4.4	0.0199
	Epta	11.3a	16.0b	23.3b	21.9	0.0001
Fertilización	AFE11	2.1a	1.4ab	1.3b	7.3	0.0174
	AFE12	2.4a	1.6b	1.3b	13.0	0.0007
	K_S	108.1a	70.5ab	38.9b	11.7	0.0028
	B_S	9.3a	2.9ab	1.9b	4.6	0.0920
	AFF11	2.4a	1.1b	0.7b	17.2	0.0001
	AFF12	2.8a	1.3b	0.8b	22.0	0.0001
	N_F	866.4a	160.5b	67.1b	23.3	0.0001
	P_F	499.9a	206.5ab	74.2b	8.8	0.0093
	K_F	1055.9a	350.6b	59.6b	26.1	0.0001
	Mg_F	105.4a	9.0b	1.4b	15.3	0.0003
	Ca_F	220.2a	59.7b	3.6b	20.5	0.0001
	B_F	168.1a	73.1b	4.3b	26.9	0.0001
	Cu_F	3.0a	3.9ab	0.3b	4.4	0.0805
	Zn_F	192.9a	84.9b	8.5b	24.5	0.0001
	S_F	33.7a	33.0a	0.3a	3.6	0.0842
	Pol_F	75.3a	34.2a	0.0a	3.4	0.0206
	Fe_F	6.9a	8.0ab	0.6b	4.2	0.0808
	aaT_F	82.1a	89.7ab	8.0b	5.3	0.0173
	Mn_F	35.8a	8.3ab	0.2b	9.3	0.0053
Aspectos	EP	46.7a	58.9ab	50.7b	7.0	0.0303
Socioeconómicos	CTC	4.1a	2.0ab	2.5b	9.0	0.0097
	NVA	10.4a	9.0b	4.0b	7.1	0.0242
	I/VC	1727.4a	1021.4b	926.5b	9.7	0.0078

Letras iguales en la misma fila indican que no hay diferencia estadística significativa. La letra (a), representa los valores más cercanos a lo que debería ser y (b), lo contrario. Los datos reflejados corresponden a las medias. AFun11 y AFun12=Número de aplicación de fungicidas en 2011 y 2012, Errad 12=Número de productos erradicantes o sistémicos, Opsom=Número de operaciones de sombra, Epta=Edad de la planta(años), AFS11 yAFS12=Número de aplicación de fertilizante al suelo en 2011 y 2011, AFF11 y AFF12=Número de aplicación de fertilizante al follaje en 2011 y 2012, S=Suelo (Kg), F=Foliar (g), EP=Edad del productor, CTC=Cantidad de capacitaciones recibidas, NVA=Número de visitas técnicas, I/VC=Ingresos por venta de café.

Se puede observar que diversas características de manejo, incluyendo fertilización, fueron seleccionadas; de igual forma, ciertas características de aspectos socioeconómicos. Por el contrario, ninguna de las variables que caracterizan la estructura de la parcela y ambiente fue escogida. Este resultado indica que cuando se encuentra frente a un ataque severo de roya, el

manejo que realice el productor en su parcela es importante. Es de mencionar que la altitud no podía salir como una variable significativa, debido al criterio de selección que obligó a tomar dos parcelas con impactos de roya muy diferentes, en cada altura.

Cuadro 6. Variables cualitativas no seleccionadas y resultados de la prueba chi^2 analizado en tablas de contingencia de la forma (variable codificada x clases de impacto de roya)

Tipo de Variable	**Variable**	**Clases de impacto**				
		Imp_Leve	**Imp_Mod**	**Imp_Fuert**	**Valor Chi^2**	***P***
Manejo	Ins11	69% No Aplic.	50% No Aplic.	74% No Aplic.	1.7	0.4323
	Ins12	66% No Aplic.	50% No Aplic.	63% No Aplic.	0.8	0.6845
	TBro12	66% No Aplic.	70% No Aplic.	79% No Aplic.	1	0.5968
	Pherb	86% Glifosato	80% Glifosato	63% Glifosato	7.5	0.2754
Aspectos Socioeconómicos	NEMF	79% NEMF≥Sec	80% NEMF≥Sec	79% NEMF≥Sec	11.7	0.303

Ins11 y Ins12=Aplicación de insecticidas en 2011 y 2012, TBro12=Trampas para broca en 2012, Pherb=Producto herbicida. No Aplic= No aplicaron, NEMF≥Sec=Nivel de escolaridad de uno de los miembros de familia mayor o igual a la secundaria.

2.3.3. Caracterización de la estructura de parcela en relación con el impacto de roya

La descripción de las variables de estructura se muestra en el cuadro 8 para variables cualitativas, según prueba *Chi^2* y cuadro 9 para variables cuantitativas, según valor *H* de Kruskal Wallis. Estas variables de estructura de parcela resultaron no estar relacionadas con las diferencias de impacto en su totalidad. Esto indica que tanto los cafetales fuertemente afectados por roya como los poco afectados tenían características similares, principalmente en cuanto a sombra, en el momento de las observaciones. La sombra en todos los cafetales estaba representada mayormente por especies de *Ingas* (Leguminosas) y bananos. En un menor porcentaje, fue posible encontrar leñosas, maderables y frutales tanto en fincas afectadas por roya como en las poco afectadas. El porcentaje de sombra promedio fue de 56 y 57% en las fincas con poco y alto impacto respectivamente. Así mismo, todas las fincas independientemente del impacto de roya tenían al menos 2 estratos de sombra, con 248 árboles en promedio de al menos 5 especies diferentes. Se observó además una buena cobertura de hojarasca seca, con poca presencia de malas hierbas y suelo desnudo, y una densidad promedio de 5800 plantas de café por ha.

2.3.4. Tipología de manejo, fertilización y aspectos socioeconómicos

En los cuadros 10-14, se describen las tipologías de manejo, fertilización y aspectos socioeconómicos, con la contribución de las variables seleccionadas inicialmente, a la construcción de cada tipología. No fue posible construir una tipología de ambiente y de estructura, debido a que ninguna variable explicaba la roya en la etapa anterior del análisis.

Cuadro 7. Variables cuantitativas no seleccionadas, a través de análisis de la varianza no paramétrica Kruskal Wallis (según valor *H* y *P≥0.10*), (Variable codificada por clases de impacto)

Tipo de Variable	Variable	Clase			Valor *H*	*P*
		Imp_Leve	Imp_Mod	Imp_Fuert		
Manejo	Prot12	0.41	0.6	0.32	0.54	0.6786
	Lmec	2.21	2	2.05	0.63	0.6857
	Lquim	1.41	1.4	1.16	2.09	0.2824
Fertilización	N_E	265.5	210.2	186.8	3	0.2241
	P_E	46.6	24.3	23.8	3.1	0.2139
	Mg_E	14.8	13.1	7.3	3.4	0.1664
	Ca_E	7.5	16.5	3.3	3.5	0.1305
	S_E	17.6	30	10.9	3.9	0.1283
Aspecto Socioeconómico	TMF	6.07	6.4	5.42	2.02	0.351
Ambiente	Altitud	1058.9	1080.1	1043.8	2.29	0.3184
	%P	27.24	29.8	25.5	0.54	0.7629
	OriP	178.6	218.9	186.2	0.84	0.6586

Los valores reflejados dentro de cada clase corresponden a la media, estimada a través de Kruskal Wallis. Prot12=Productos protectantes aplicados en 2012, Lmec=Limpieza mecánica, Lquim=Limpieza química, S*=suelo, TMF=Total de miembros de la familia, %P=% de pendiente, OriP=Orientación de la pendiente.

2.3.4.1 Tipología de manejo

Se formaron dos clases de manejo, denominados Manejo alto (Man_Alto) y Manejo bajo (Man_Bajo). En un inicio se intentó trabajar con tres clases de manejo, pero al hacer la prueba Chi^2, en relación con las clases de impacto no fue posible, ya que no se cumplía con las reglas de la Chi^2. Sin embargo, las dos clases de manejo formadas son muy diferentes entre sí. Los resultados de la descripción de las clases de manejo se muestran en los Cuadro 10 (variables cualitativas) y 11 se (variables cuantitativas).

- **Man_Alto:** Una mayor cantidad de productores indican haber realizado más de 2 aplicaciones de fungicidas en 2011, más de 3 aplicaciones de productos erradicantes (sistémicos) en 2012, más

de 1 operación de regulación de sombra en 2012. La planta es joven con 12 años de edad en promedio (Cuadro 11). Así mismo, una mayor cantidad de productores indicaron haber realizado muestreos de roya, manejo de tejidos (90% poda selectiva), la primera aplicación de productos fungicidas en el 1º semestre, poda de sombra en 2011 y 2012. El comportamiento de la producción es estable, según los productores (Cuadro 10).

Cuadro 8. Variables cualitativas de estructura de parcela no seleccionadas y resultados de la prueba chi^2 analizado en tablas de contingencia de la forma (variable codificada x clases de impacto de roya)

Variable	**Clases de impacto**				
	Imp_Leve	**Imp_Mod**	**Imp_Fuert**	**Valor Chi^2**	***P***
Legum	97% Si Legum	100% Si Legum	100% Si Legum	1.4	0.4956
Bana	90% Si Bana	90% Si Bana	89% Si Bana	2	0.999
Frut	62% No Frut	68% Si Frut	50% No Frut	4.4	0.1138
Mader	76% Si Mader	80% Si Mader	63% Si Mader	1.3	0.5343
Leñ	66% No Leñ	50% Si Leñ	63% No Leñ	0.79	0.6845

Legum, bana, frut, Mader, Leñ =Presencia de leguminosas, bananos, frutales, maderables y leñosas respectivamente.

Cuadro 9. Variables cuantitativas de estructura de parcela no seleccionadas, a través de análisis de la varianza no paramétrica Kruskal Wallis (según valor *H* y *P≥0.10*), (Variable codificada por clases de impacto)

Variable	**Clase**			**Valor *H***	***P***
	Imp_Leve	**Imp_Mod**	**Imp._Fuert**		
%Som	55.97	58.59	57.28	0.8	0.6703
Esom	1.9	2.9	1.74	1.07	0.4866
Ban/ha	228.97	330	227.37	2.59	0.2739
NES	5.75	5.3	6.26	0.5	0.7913
A*2-8m/ha	180	148	216.84	2.07	0.3551
A*9-17m/ha	75.52	62	56.32	0.82	0.659
A*18-24m/ha	2.76	3	2.63	0.42	0.521
OriSur	83	115.5	80.89	2.76	0.2515
Densid	5486.1	6052.8	5869.84	3.08	0.1097
CobHS	71.9	64.3	59.74	4.42	0.1097
CobMH	7.86	13.4	17.68	4.33	0.111
CobBC	1.28	3	4.89	2.99	0.125
SueloD	18.97	19.3	17.68	7.60E-05	0.9999

%Som=% de sombra, Esom=Estratos de sombra, Ban/ha=Bananos/ha, NES=Número de especies de sombra, *A=árboles, OriSur=Orientación del surco, Densid=Densidad de plantas de café (plantas/ha), Cob=Cobertura (%), SueloD=Suelo desnudo. Los datos reflejados corresponden al total.

- **Man_Bajo:** Una mayor cantidad de productores indica haber realizado menos de 2 aplicaciones de fungicidas en 2011 y 2012, menos de 2 aplicaciones de productos erradicantes (sistémicos) en 2012, una o ninguna operación de regulación de sombra en 2012. La planta es más vieja con 18 años de edad en promedio (Cuadro 11). Así mismo, una mayor cantidad de productores señaló no haber realizado muestreos de roya, la primera aplicación de productos fungicidas en el 2º semestre, poda de sombra en 2011 y 2012. El comportamiento de la producción es bienal, según los productores. Incluye además, productores que no realizaron manejo de tejidos, aunque esto solo representa el 9% del total de los datos (Cuadro 10).

2.3.4.2. Tipología de fertilización

Se formaron dos clases, fertilización alta (Fert_Alta) y fertilización baja (Fert_Baja). Igual que con el manejo, se intentó trabajar con tres clases, pero fue imposible al aplicar las reglas de la Chi^2. Los resultados de la descripción de las clases de fertilización se muestran en el cuadro 12.

Cuadro 10. Descripción de las variables cualitativas de prácticas de manejo (significativas)

Prácticas de manejo	Clases		Total	Valor Chi^2
	Man_Alto	Man_Bajo		
RMR	Si RMR: 66%	No RMR: 83%	Si RMR: 41% No RMR 59%	14.7
TPRC	Selec: 90%,	Selec: 79%,	Selec: 84%, No Poda: 9%, Otro: 7%	8.2
R.C	Estable: 72%	Bienal: 90%	Normal: 41%, Bienal 59%	25.2
PA12	Semes 1º: 100%	Semes 2º: 59%	Semes1: 66%, Semes 2º 29%, No Apli: 5%	38.8
PS11	Si PS11: 93%	No PS11: 66%	Si PS11: 64%, No PS11: 36%	24
PS12	Si PS11: 100%	No PS11: 41%	Si PS11: 79%, No PS12: 21%	19.8
N	29	29	58	

Los datos reflejados en porcentaje (%), se basan en la cantidad de individuos en cada clase de impacto. Los datos en la columna (Total), está basado en el total de datos analizados. RMR=Realiza monitoreo de roya, TPRC=Tipo de poda en café realizada por el productor, RC=Comportamiento de la producción, PA12=Fecha de la 1º aplicación de fungicida, PS11 y PS12, Regulaciones de sombra en 2011 y 2012, Selec= Poda selectiva, Otro= Poda en bloque o cíclica, Semes 1º= Primer semestre, Semes 2º= Segundo semestre.

- **Fert_Alta:** Una mayor cantidad de productores indicaron haber realizado más de 2 fertilizaciones al suelo y más de 2 aplicaciones al follaje en 2011 y 2012. Representa además, los productores que usaron mayores cantidades de K y B al suelo en kg/ha, así mismo, mayores cantidades de N, P, K, B, Ca, Zn, S, Mg, Fe, Mn, aminoácidos y polisacáridos al follaje en g/ha, en 2011 y 2012 (cuadro 12). Estas cantidades fueron calculadas partiendo de la información brindada por el productor.

- **Fert_Baja:** Una mayor cantidad de productores indicaron haber realizado menos de 1 o ninguna fertilización al suelo y menos de 2 aplicaciones al follaje en 2011 y 2012. Representa además, los productores que usaron menores cantidades de K y B al suelo en Kg/ha, así mismo, menores cantidades de N, P, K, B, Ca, Zn, S, Mg, Fe, Mn, aminoácidos y polisacáridos al follaje en g/ha en 2011 y 2012 (cuadro 12). Estas cantidades fueron calculadas partiendo de la información brindada por el productor.

Cuadro 11. Descripción de las variables cuantitativas de prácticas de manejo (significativas), variables cuantitativas

Prácticas de	**Clases**		**Total**	**Valor *H***
Manejo	**Man_Alto**	**Man_Bajo**		
AFun11	2.4a	1.3b	1.8	9
AFun12	3.6a	1.6b	2.6	20.8
Errad12	3.2a	1.1b	2.2	19.4
Opsom	1.2a	0.7b	1	7.8
Epta	12a	18ab	15	2.1
N	29	29	58	

Letras diferentes en la misma fila, indican que hay diferencia estadística significativa. La letra (a), representa los valores más cercanos a lo positivo. Los datos reflejados corresponden a la media, obtenidos a través de Kruskal Wallis. El total está basado en la cantidad de datos analizados. AFun11 y AFun12=Aplicación de fungicidas en 2011 y 2012, Errad 12=Productos erradicantes o sistémicos, Opsom=Operaciones de sombra, Epta=Edad de la planta.

2.3.4.3. Tipología de aspectos socioeconómicos

En esta tipología, se formaron 3 clases: nivel socioeconómico alto (NSE_Alto), nivel socioeconómico medio (NSE_Medio) y nivel socioeconómico bajo (NES_Bajo). Los resultados la descripción de las clases de aspectos socioeconómicos se muestran en el los cuadros 13 (variables cualitativas) y 14 (variable cuantitativa). Al aplicar la prueba de la Chi^2, esta no pasó con tres clases socioeconómicas y tres de impacto, sin embargo, al bloquear una columna en las clases de impacto, la que estaba causando problema (impacto moderado) resultó significativa, es decir, 3 clases socioeconómicas y 2 de impacto solo para correr la prueba.

- **NSE_Alto:** El 100% de los productores indicó haber recibido capacitaciones sobre manejo de café y tener un nivel de escolaridad primaria completa y secundaria. Una mayor cantidad de productores indicó recibir asistencia técnica y tener acceso a créditos (cuadro 13). Así mismo, una mayor cantidad de productores señaló haber recibido capacitación en más de 4 temas diferentes sobre manejo de café, 10 visitas técnicas en promedio durante el año, ingresos ≥1500 dólares por venta de café/ha y un promedio de edad (del productor) de 47 años (Cuadro 14).

- **NSE_Medio**: El 100% de los productores mencionó haber recibido capacitaciones sobre manejo de café y tener acceso a créditos. Más del 90% de los productores recibe asistencia técnica y una mayor cantidad de productores manifestó tener un nivel de escolaridad primaria incompleta (62%), con un restante sin ningún nivel de escolaridad (cuadro 13). Así mismo, una mayor cantidad de productores mencionó haber recibido capacitación en más de 3 temas diferentes sobre manejo de café, 8 visitas técnicas en promedio durante el año, ingresos de 1360 dólares en promedio por venta de café/ha y un promedio de edad (del productor) de 48 años (Cuadro 14).

Cuadro 12. Descripción de las variables de prácticas de fertilización (significativas)

Fertilización	**Clases**		**Total**	**Valor *H***
	Fert_Alta	**Fert_Baja**		
AFS11	2.3a	1.2b	1.2	14.9
AFS12	2.6a	1.4b	2	19.9
K_S	133.7a	37.4b	85.6	23.8
B_S	9.7a	2.81b	6.3	2.1
AFF11	2.7a	0.7b	1.7	25.8
AFF12	3.2a	0.9b	2.1	33
N_F	966.0a	116.9b	541.4	21.7
P_F	594.1a	94.5b	344.3	11.9
K_F	1165.5a	185.7b	675.5	18.9
Mg_F	121.6a	3.9b	62.9	17.4
Ca_F	264.8a	13.1b	138.9	28.9
B_F	206.3a	16.0b	111.1	29.1
Cu_F	4.6a	0.5b	2.6	4.4
Zn_F	233.2a	23.5b	128.4	28
S_F	49.7a	2.1b	25.9	6.6
Pol_F	101.0a	0.0b	50.5	6.7
Fe_F	10.32a	0.99a	5.7	3.4
aaT_F	101.7a	26.6b	64.2	4.3
Mn_F	44.4a	0.5b	22.4	8.9
N	25	33	58	

Letras diferentes en la misma fila, indican que no hay diferencia estadística significativa. La letra (a), representa los valores más cercanos a lo positivo. Los datos reflejados corresponden a la media, obtenida a través de Kruskal Wallis. La columna (Total) se basa en el total de datos analizados. AFS11 yAFS12=Número de aplicaciones de fertilizante al suelo en 2011 y 2012, AFF11 y AFF12=Número de aplicaciones de fertilizante al follaje en 2011 y 2012, S=Suelo (Kg), F=Foliar (g)

- **NSE_Bajo**: más del 70% de los productores indicó no tener un nivel de escolaridad ni acceso a crédito. Más del 90% manifestó no haber recibido capacitaciones sobre manejo de café y un 56% señaló no haber recibido asistencia técnica (cuadro 13). Así mismo, una mayor cantidad de productores mencionó que ha recibido 4 visitas técnicas en promedio durante el año, ingresos ≤1021 dólares en promedio por venta de café/ha, un promedio de edad (del productor) de 55 años y un tema de capacitación como máximo, sobre manejo de café (Cuadro 14).

Cuadro 13. Descripción de las clases de aspectos socioeconómicos (significativas), variables cualitativas

Aspectos	Clases			Total	Valor Chi^2
Socioeconómicas	NSE_Alto	NSE_Medio	NSE_Bajo		
NEP	EPPCyS: 100%	NEP Ning: 38%, NEPPI: 62%	NEP Ning: 75%, EPPCyS: 25%	NEP Ning: 31%, NEPPCyS: 52%, NEPPI: 18%	77.7
ATec	Si ATec: 77%	Si ATec: 94%	No ATec: 56%	Si ATec: 72%, No Atec: 28%	10.8
Créd	Si Créd: 85%	Si Créd: 100%	Si Créd: 75%	Si Créd: 86%, No Créd: 14%	6.2
CMC	Si CMC: 100%	SiCMC:100%	No CMC: 94%	Si CMC: 74%, No CMC: 26%	58.8
N	26	16	16	58	

NEP=Nivel de educación del productor, ATec=Asistencia técnica, Créd=Crédito, CMC=Capacitaciones sobre manejo de café, NEP PCyS= Nivel de escolaridad del productor, primaria completa, Cap.=CapacitaciónNEP Ning: ningún nivel de escolaridad, NEPPCyS: nivel escolar primaria completa y secundaria, NEPPI: nivel escolar primaria incompleta. N: total de fincas.

2.3.5. Relación entre prácticas de manejo, fertilización, aspectos socioeconómicos y los impactos de roya, 2012

Cuadro 14. Descripción de las variables de aspectos socioeconómicos (significativas), variables cuantitativas

Variables		Clases		Total	Valor *H*
Socioeconómicas	NSE_Alto	NSE_Medio	NSE_Bajo		MV-G2
EP	47.8a	48.4a	55.6b	50.6	3.7
CTC	4.6a	3.9a	0.4b	2.9	27.9
NVA	10.0a	8.8a	4.3b	7.7	6.6
I/VC	1530.5a	1361.3ab	1021.3b	1304.3	6.9
N	26	16	16	58	

Letras diferentes en la misma fila indican que hay diferencia estadística significativa. (a), representa el valor que más se acerca a lo positivo que debería obtenerse, (b), indica lo contrario a lo de (a) y (ab), que no hay diferencia. Los datos reflejados corresponden a la media, obtenida a través de Kruskal Wallis. EP=Edad del productor, CTC=Cantidad de capacitaciones recibidas, NVA=Número de visitas técnicas/año, I/VC=Ingresos por venta de café/ha. N= al número de fincas.

La relación entre las prácticas de manejo, fertilización y aspectos socioeconómicos, con clases de impacto de roya 2012 pueden visualizarse a través del análisis de correspondencia realizado, lo que se muestra en la figura 9. Así mismo en el cuadro 15, se hace una breve descripción de la relación, con base en el valor *Chi*^{2} y el valor *P*.

El impacto leve de roya en 2012 (Imp_Leve) se ve más relacionado con un manejo alto (Man_Alto) una fertilización alta (Fert_Alta) y un nivel socioeconómico alto (NSE_Alto). Mientras el impacto Fuerte de roya en 2012 se aprecia más relacionado con un manejo bajo (Man_Bajo), una fertilización baja (Fert_Baja) y un nivel socioeconómico bajo (NSE_Bajo. El impacto moderado (Imp_Mod) se muestra más parecido al impacto fuerte, pero con un nivel socioeconómico distinto, ubicándose entre el NSE_Bajo y NSE_Medio, aunque el NSE_Medio, no muestra una clara ubicación, visualizado con un tercer eje.

En la figura (a) se observa la relación del impacto con el manejo de manera independiente, en relación con lo explicado en el párrafo anterior. De igual manera en la figura (b), se observa la relación entre el impacto de roya y las prácticas de fertilización y en la figura (c) se muestra la relación del impacto de roya y aspectos socioeconómicos de manera independiente.

Cuadro 15. Relación entre impacto de roya del café y las clases de manejo, fertilización y aspectos socioeconómicos

Tipología	Valor Chi^2	g.l.	*P*
Prácticas de manejo del cultivo	9.5	2	0.0088
Prácticas de fertilización del cultivo	29.4	2	0.0001
Aspecto Socioeconómico	14.0	4	0.0073

Las relaciones son indicadas por una prueba Chi^2, a través de una tabla de contingencia de la forma (Tipologías x clases de impacto de roya).

2.3.6. Determinación de las variables que más explican el impacto de roya, según orden de importancia

En la Figura 10, se muestran las variables que resultaron más importantes, es decir, las que más explican el impacto de roya. Se reflejan 18 variables más importantes, determinadas a través de árboles de clasificación y el coeficiente de Gini. Las variables que no aparecen no significan que no sean importantes dentro del manejo, si no, que explican el impacto en menor proporción. En la figuran, se muestra solamente el orden de importancia, luego para mayores explicaciones hay que ver la descripción de cada tipología explicada en párrafos anteriores.

2.4. Discusión

2.4.1. Relación entre prácticas de manejo, fertilización, aspectos socioeconómicos y clases de impacto de roya 2012

Con los resultados obtenidos se pone en evidencia que existe una relación entre el manejo y el nivel de roya del 2012. Hay gente que logró manejar la enfermedad, cuando otros no, lo que indica que existen formas de manejar la roya, sin prácticas excesivas, incluso cuando se trata de epidemias severas, como la del 2012. Esta relación encontrada señala que la roya es el resultado de una combinación de clima y manejo, lo que ya se ha venido observando en estudios anteriormente realizados (Avelino *et al.* 2004; Avelino *et al.* 2006; Avelino y Rivas 2013).

Según Zadoks y Schein (1979), una epidemia es el resultado de interacciones entre hospedero, patógeno, ambiente y manejo (influencia del ser humano), es decir, una población de unidades infectivas del patógeno, sobre una población de plantas susceptibles, con un ambiente favorable y un manejo deficiente. Por lo tanto, se destaca el papel fundamental del manejo dentro del tetraedro de la enfermedad, lo que se ha puesto de manifiesto en esta epidemia de roya de 2012.

Sharma y Duveiller (2004), también hacen mención de los efectos conjuntos de los factores de manejo del cultivo sobre la severidad de enfermedades, en el caso de *Helminthosporium leaf blight* en el trigo.

Es de resaltar que la altitud no salió como variable significativa, a pesar de que se sabe que a mayor altitud hay menor ataque (Avelino *et al.* 1988). Por las condiciones de este estudio, la altitud no podía salir como una variable significativa, debido al criterio de selección que obligó a tomar dos parcelas con impactos de roya muy diferentes, en una misma altitud.

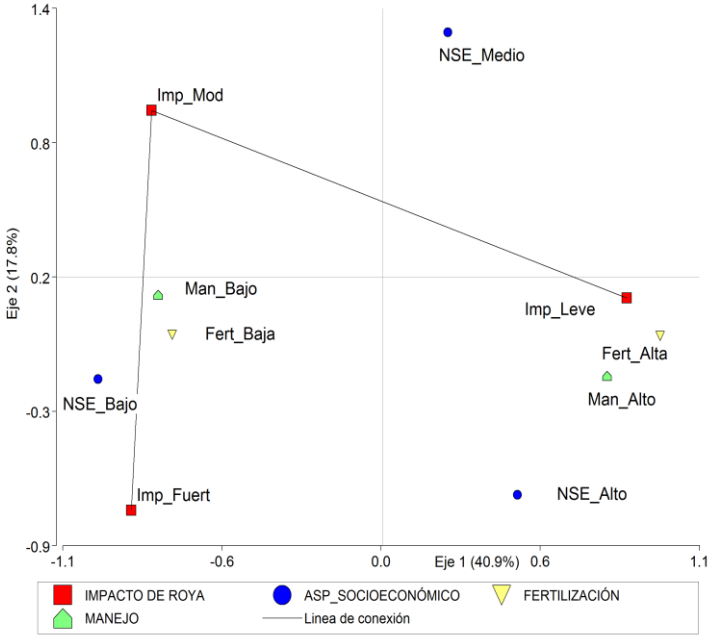
Las relaciones encontradas en este estudio coinciden con las opiniones generales de los productores afectados, quienes manifiestan, "*Fui más afectado porque no he hecho un buen manejo en mi cafetal, mientras que mi vecino fue menos afectado porque ha venido haciendo un mejor manejo''* (doña Francisca). "*No hice un manejo adecuado del café por falta de recursos económicos*" (don Isidro). Así mismo, los que fueron menos afectados mencionan "*he sido menos afectado, porque he venido haciendo un buen cultivo en mi cafetal, mientras que los vecinos fueron más afectados, porque hacen poco cultivo, aplican pocos fungicidas y a veces malos productos y no abonan bien*" (don Etanislao). "*Tratamos la enfermedad a tiempo con productos preventivos y curativos, preparamos la planta con fertilizantes al suelo y al follaje, mientras que los vecinos no aplican nutrientes foliares*" (don Ricardo).

Las razones por las diferencias en la intensidad de manejo pueden ser diversas, pero una de ellas podría obedecer a aspectos socioeconómicos propios de cada familia. En este estudio, se puede apreciar también, una relación entre manejo y aspectos socioeconómicos. Un manejo alto se asocia con mejores condiciones socioeconómicos, mientras un manejo bajo se relaciona con aspectos socioeconómicos bajos. Esta correspondencia encontrada brinda una idea de la influencia de ciertos aspectos socioeconómicos en el manejo y, a la vez, en las diferencias de impacto de roya.

2.4.2. Manejo y fertilización

El impacto de roya leve en 2012 se relaciona con un manejo alto y una fertilización alta. Este

(9.1)



(9.2)

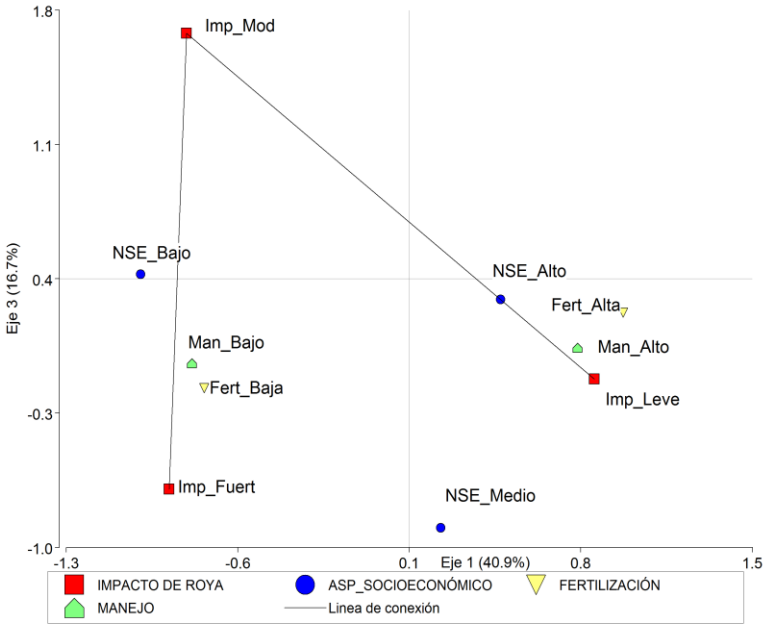
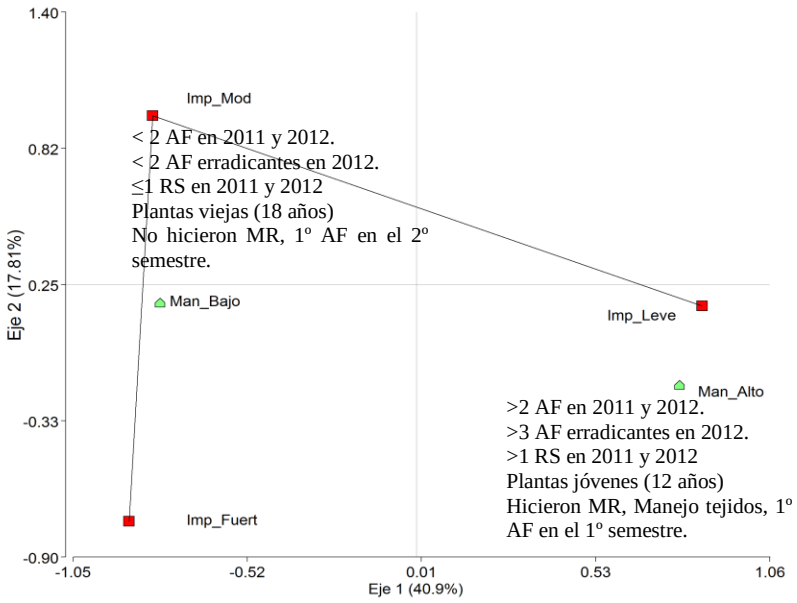


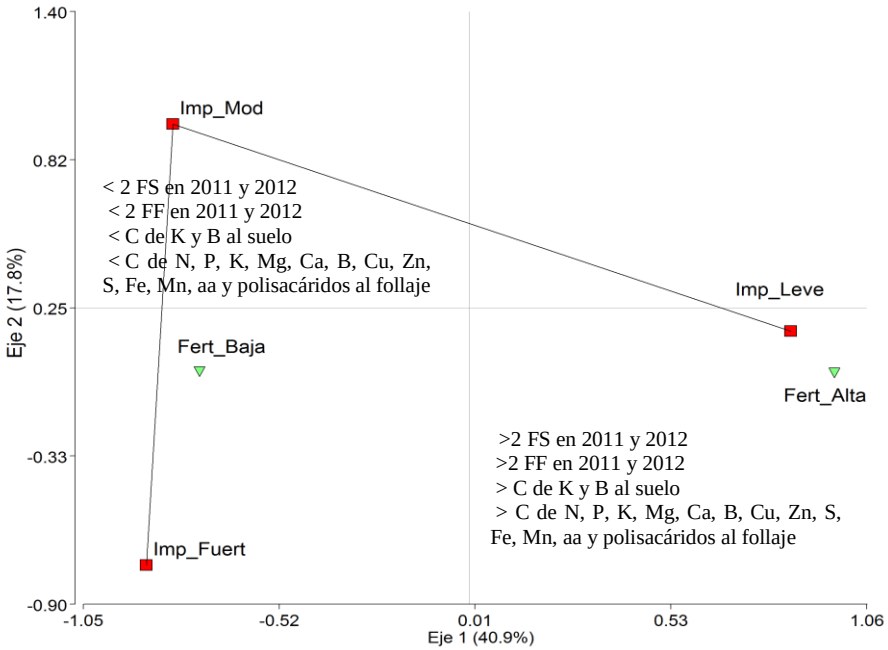
Figura 9. Representación gráfica de las asociaciones significativas, a través de un análisis de correspondencia. La figura (9.1), muestra el resultado con dos ejes (1 y 2) y la figura (9.2) muestra el resultado con tres ejes (1 y 3)

(a)



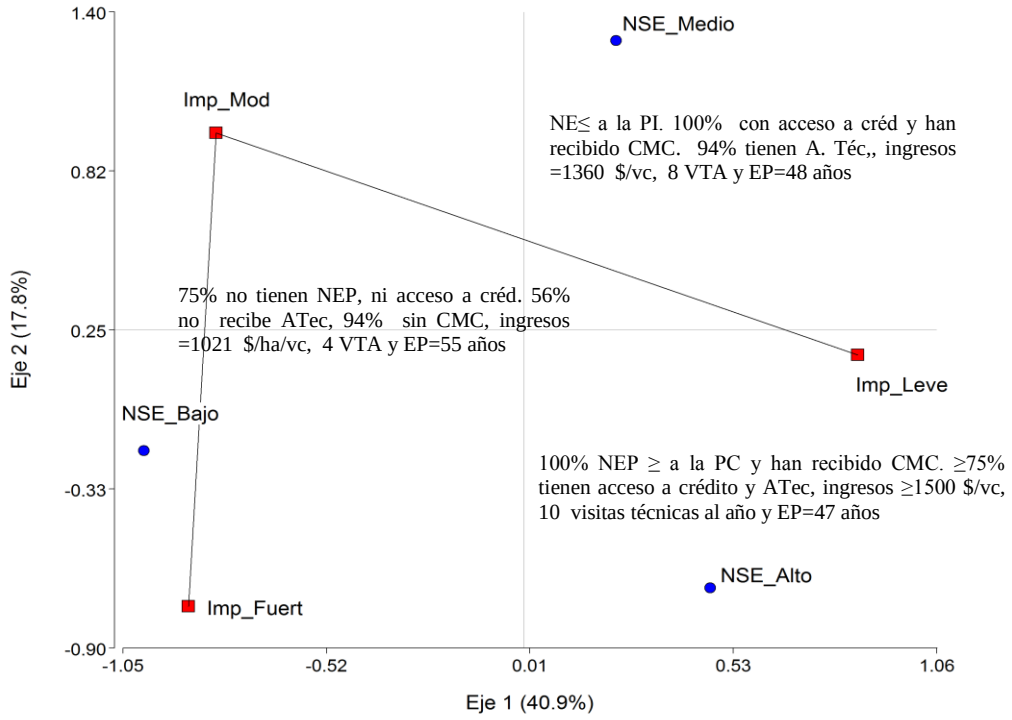
Continuación Figura 9. AF=Aplicación de fungicidas, RS=Regulaciones de sombra, MR=Muestreos de roya, 1º AF=Primera aplicación de fungicida, 1º=Primero, 2º=Segundo.

(b)



Continuación Figura 9. FS=Fertilización al suelo, FF=Fertilización al follaje, C=cantidad.

(c)



Continuación Figura 9. NEP=Nivel de escolaridad del productor, Créd=Créditos, ATec=Asistencia técnica, EP=Edad del productor, vc= venta de café.

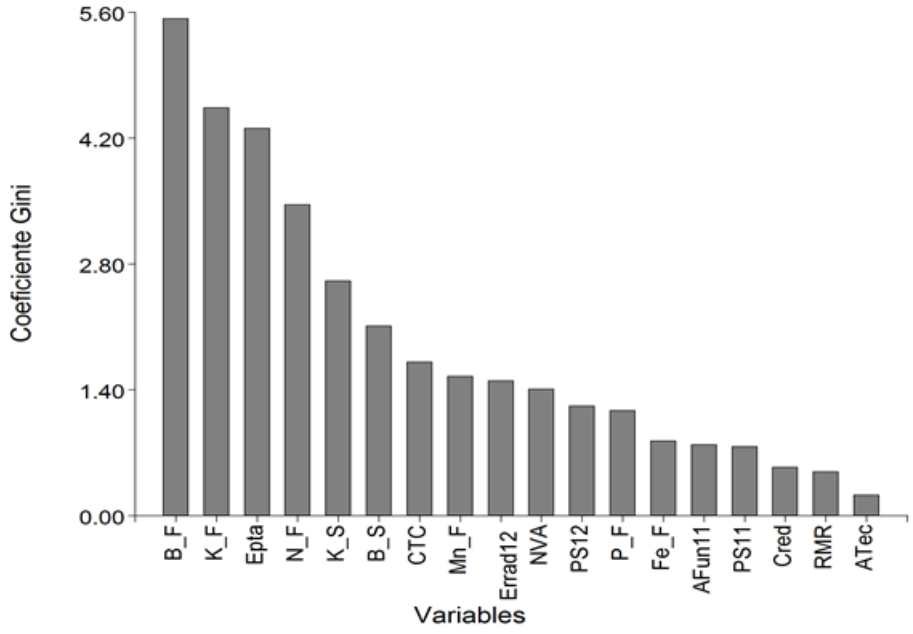


Figura 10. Variables que más explican el impacto de roya, según el coeficiente de Gini. La explicación de cada variable se muestra en la descripción correspondiente a cada tipología.

manejo alto (incluyendo la fertilización) hace referencia a productores que han venido realizando un manejo más eficiente desde el 2011 y posiblemente desde antes. Mientras que los que tuvieron impacto fuerte están más relacionados con un manejo bajo y una fertilización baja, lo cual se traduce en un manejo menos eficiente, desde el año 2011 y quizá desde años anteriores.

La suma del error cuadrático medio (Coeficiente de Gini), obtenido a través del análisis de árboles de clasificación, permitió conocer las prácticas que más explicaron el impacto. Estas prácticas de manejo hacen referencia a macro y micro nutrientes aplicados a través de la fertilización foliar; macro nutrientes aplicados en la fertilización al suelo y otras prácticas de manejo: como la edad de las plantaciones, la aplicación de fungicidas, manejo de sombra y monitoreo de roya. Dordas (2007), con base en varios estudios realizados, manifiesta que la aplicación de fertilizantes ha disminuido la incidencia de enfermedades en los cultivos, lo cual puede atribuirse a que los nutrientes están involucrados en los mecanismos de tolerancia o resistencia de la planta.

La fertilización foliar fue una de las prácticas que contribuyó a marcar la diferencia de impacto de roya. Según opinión de varios productores entre ellos, don Antonio y don Domingo, una de las razones por las que fueron menos afectados que otros productores, se atribuye al uso de fertilizantes foliares, acompañados de la fertilización edáfica. Según Santos y Aguilar (2000), la fertilización foliar permite la incorporación inmediata de los elementos esenciales de los metabolitos que se generan en el proceso de la fotosíntesis y uno de sus propósitos es corregir requerimientos nutricionales que no se logran cubrir con la fertilización al suelo.

A continuación, se describe cada elemento utilizado en la fertilización y resto de prácticas de manejo según orden de importancia del coeficiente de Gini:

- **Boro aplicado al suelo y al follaje:** el B tiene efecto en la formación de nuevas raíces y en la longitud de las mismas (Shams *et al* 2012). En este estudio, la aplicación de mayores cantidades de boro, tanto al suelo como al follaje se relacionó con un impacto leve de roya. Lo anterior podría explicarse también, por la función directa del boro en la estabilidad y estructura de la pared celular, con un efecto beneficioso en la reducción de la gravedad de una enfermedad (Dordas 2008). Esto podría ser especialmente importante en el caso de *H. vastatrix*, el cual es un hongo biotrófico con una progresión dentro de la hoja que es intercelular (McCain y Hennen 1984)

- **K aplicado al suelo y al follaje:** mayor cantidad de K aplicado, tanto al suelo, como al follaje se relacionó con un impacto de roya leve. Según Walters y Bingham (2007), las plantas con deficiencias en potasio tienden a ser más susceptibles a las infecciones, en comparación con las plantas que reciben un suministro adecuado de potasio. Lo anterior se relaciona a la vez con las funciones metabólicas del K en la fisiología vegetal (Dordas 2008), lo que ayuda a explicar la contribución de este macronutriente a las diferencias de impacto de roya encontradas.

- **N aplicado al follaje:** se evidenció una relación entre mayores cantidades de N, en dos o más aplicaciones en el año y un menor impacto de roya. El N es considerado el nutriente más importante para el crecimiento de las plantas por su efecto en el desarrollo foliar y la actividad fotosintética (Dordas 2008; Duicela 2011). Sin embargo en su relación con las enfermedades, hay estudios que demuestran que entre mayores cantidades de N, se incrementa la enfermedad (Walters y Bingham 2007), principalmente para patógenos biotróficos (Jensen y Munk 1997; Hoffland *et al.* 2000; Dordas 2008). Olesen *et al.* (2003), por ejemplo, encontraron una mejoría de la severidad del mildiú polvoso *(Blomeria graminis)* y mancha foliar *(Septoria tritici)* en trigo, al aumentar la tasa de fertilización nitrogenada. En este caso, la relación negativa entre aplicaciones de N y el menor impacto podría explicarse por otro mecanismo, a través del incremento de la capacidad de la planta para reponer las hojas enfermas (Avelino y Rivas 2013)**.** A mayor crecimiento de la rama, menor posibilidad de que esta se deje invadir por la roya, y menor posibilidad de que se defolie totalmente. Si la rama se mantiene viva, las pérdidas serán menores (Avelino y Rivas 2013). Es importante mencionar que en este estudio se habla de nitrógeno aplicado al follaje, junto con otros macro y micronutrientes.

- **Mn al follaje:** se evidenció una relación entre la aplicación de mayores cantidades de Mn con un impacto leve de roya. Un suministro adecuado de Mn, acompañado de otros micronutrientes es importante en la mayoría de los mecanismos de defensa de las plantas. Funciona como parte del sistema enzimático y activa importantes reacciones metabólicas (Huber y Haneklaus 2007). Así mismo Huber y Graham (1999) y Heckman et al. (2003), hacen mención a la importancia de este micronutriente en el desarrollo de resistencia de las plantas ante enfermedades, tanto de la raíz, como del follaje.

- **P aplicado al follaje:** se evidenció una relación entre la aplicación de mayores cantidades de P y menor impacto de roya. El P forma parte de muchas moléculas orgánicas de la célula (ADN, ARN, ATP y fosfolípidos) y se involucra en varios procesos metabólicos de la planta y del patógeno (Dordas 2007). Su beneficio se ha puesto de manifiesto en la defensa de plantas en semillero frente a enfermedades fungosas (Huber y Graham 1999). Así mismo, en un estudio realizado por Reuveni *et al.* (1998), se demostró el desempeño del fosforo aplicado al follaje, en el control de enfermedades, puesto a prueba con el oídio en diferentes cultivos, una enfermedad causado por diferentes hongos biotróficos, lo que puede ayudar incluso a reducir el número de aplicaciones de fungicidas.

- **Fe aplicado al follaje:** se evidenció una relación entre productores que hicieron aplicaciones de Fe y un menor impacto de roya. El Fe favorece la formación de la clorofila en la hoja y el funcionamiento de enzimas que contienen hierro (Miller *et al.* 1984). Su papel sobre la resistencia a enfermedades en las plantas aún no ha sido bien estudiado, pero se prevé que puede tener un efecto positivo o negativo sobre el huésped (Dordas 2007).

Los micronutrientes Ca, Mg, S, Cu y Zn, no sobresalieron entre las 18 variables de mayor importancia, según coeficiente de Gini, pero sí fueron significativas en relación con las clases de impacto. La aplicación de mayores cantidades de estos micronutrientes en más de 3 aplicaciones

en el año, fue asociado con un menor impacto de roya en 2012. El Ca interviene en el crecimiento de las plantas y en su habilidad de adaptarse a las condiciones adversas del ambiente (Aristizabal 1988). Desempeña, además, un importante papel en el mecanismo regulador de la apertura y cierre estomático (Monge *et al.* 1994) y puede afectar la susceptibilidad a las enfermedades en las plantas (Dordas 2007). El Mg por su parte es componente de la molécula de clorofila, con influencia por lo tanto en el desarrollo foliar (Ross 2004) y puede a la vez reducir la susceptibilidad a enzimas producidas por patógenos (Csinos y Bell, 1989), Así mismo, el Zn puede reducir la gravedad de las enfermedades, lo que puede atribuirse al efecto tóxico de este sobre el patógeno, más que por el metabolismo de la planta (Graham y Webb 1991, citado por Dordas 2007). El azufre contribuye a la formación de las proteínas, como constituyente de aminoácidos (cistina, cisteína y metionina) (Aristizabal 1988). Sus efectos como controlador de algunas enfermedades son más conocidos en comparación con otros nutrientes. Su eficacia se ha puesto de manifiesto controlando Oidiosis (*Leveillula taurica*), en cultivo de alcachofa (Mauricio y Leal 2011).

- **Edad de las plantas:** se evidenció una asociación entre plantas más jóvenes (12 años en promedio), con un menor impacto de roya, mientras que plantas con un promedio de edad de 18 años, fue asociado con un impacto más fuerte de roya. Según Santos y Aguilar (2000), la edad de la planta puede afectar la efectividad de los nutrimentos, principalmente los aplicados de manera foliar. Las plantas jóvenes son por lo general, las que tienen mayor capacidad de absorber los nutrimentos via aplicación foliar. Lo anteriormente mencionado podría ayudar a explicar la mayor susceptibilidad de las plantas más viejas a las afectaciones de roya. Las plantas más viejas también tienen un menor crecimiento que las plantas jóvenes. Las plantas viejas tienen, por lo tanto, menor capacidad de reponer las hojas perdidas por la enfermedad que las plantas jóvenes (Avelino y Rivas 2013).

- **Aplicación de fungicidas:** se evidenció una relación entre productores que hicieron más de dos aplicaciones de fungicidas sistémicos en el 2011 y 2012, con un impacto de roya leve, mientras que los que hicieron menos de dos aplicaciones se observan más relacionados con un impacto fuerte de roya. Los productos sistémicos utilizados por los productores corresponden a la familia de los Triazoles, Benzimidazoles, Ftalamida y Estrobilurinas. Se evidenció además una asociación entre productores que hicieron su primera aplicación en el primer semestre durante el 2011 y 2012 (productos sistémicos), con un impacto de roya leve, mientras que los más afectados estaban más asociados con una primera aplicación en el segundo semestre. La relación encontrada coincide con el calendario de aplicación que muestran Rivillas et al. (1999); Rivillas *et al.* (2011) y un estudio realizado por Campos-Almengor et al. (2014), donde recomiendan una primera aplicación de productos sistémicos, en la primera semana de mayo y una última entre agosto y septiembre, con 3-4 aplicaciones en el año, basado en calendario fijo de aplicaciones. Así mismo, Avelino y Rivas (2013), recomiendan que la que la primera aplicación debe hacerse cuando las incidencias son bajas, a inicio de las lluvias.

- **Monitoreos de roya:** se evidenció que la clase de impacto de roya leve agrupa una mayor cantidad de productores que realizaron monitoreos de roya (62 %), en comparación con un 80% que no realizaron muestreos de roya dentro de la clase de impacto fuerte (ver cuadro 4). Según Rivilla *et al.* (2011), conocer los niveles de infección de roya constituye uno de los criterios para determinar el momento de iniciar el control químico. Este nivel de infección puede conocerse a través de los monitoreos de roya, lo que permite a la vez hacer un uso racional de los fungicidas sistémicos.

- **Manejo de la sombra:** la clase de impacto leve de roya agrupa más del 85% de productores que realizarón regulaciones de sombra en 2011 y 2012, mientras que el impacto fuerte agrupa más del 50% de productores que no hicieron regulaciones de sombra (cuadro 4). Según Guharay *et al.* (2000), es fundamental manejar la sombra en terminos óptimos ante las enfermedades. Un exceso de sombra puede ser propicio para más roya y una ausencia puede ser propicio para otras enfermedades como, mancha de hierro (Duicela y Sotomayor 1993, citado por Duicela 2011; Guharay *et al.* 2000). Aunque don Jairo tuvo la experiencia de observar mayor severidad de roya con el café a pleno sol, durante la epidemia de 2012 "*Pensamos que la afectación fuerte de roya era debido a la mucha sombra, entonces decidí quitar la sombra totalmente en 3 de las 5 manzanas cultivadas, en el 2012 y ya para el 2013, las 3 manzanas que quedaron sin sombra fueron totalmente desvastadas por la roya en un 100%, mientra que las que quedaron con la sombra solo fueron afectadas como en un 20%*". Esto fue apreciado también por otros productores afectados como don Leonidas y don Luis, quienes coinciden en que "*los espacios donde no había nada de sombra fue totalmente afectado por roya y donde había algo de sombra, la afectación fue menor y creo que por eso fui más afectado que mi vecino, por que él tiene una sombra más uniforme en todo el plantillo*". Para reducir los efectos de las diferentes enfermedades en el café, Sotomayor y Duicela (1995) y Duicela (2011) mencionan que se debe mantener un punto de sombra que oscile entre 30 y 40%.

Tomando en cuenta que en Nicaragua más del 95% de los cafetales se cultiva bajo sombra (Bolaños 2001; Solórzano y Cáceres 2012), lo observado por los productores es muy interesante, desde el punto de vista agroforestal y ante las variaciones climáticas. En este estudio, la estructura vertical de la parcela (nº de especies, nº estratos de sombra, nº de árboles por cada estrato de sombra), no se encontró relacionada con las diferencias de impacto de roya. Esto que indíca que las fincas, tanto afectadas como poco afectradas, estaban en condiciones similares en cuanto a estructura, en el momento que se hizo el estudio. Sin embargo, el manejo que el productor hace de la sombra (regulaciones de sombra) es diferente en las fincas con diferencias de impacto. No haber encontrado diferencias en la estructura de la parcela, pone de manifiesto que la roya sí puede ser controlada en los sistemas agroforestales, en dependencia del manejo que cada productor realice.

El manejo de tejidos y el comportamiento de la producción año con año no se reflejan entre las variables más importantes, sin embargo, sí fueron significativas al relacionarlas con el impacto de roya de 2012. En la clase de impacto leve (Imp_Leve), el 100% de los productores realizaron

manejo de tejidos, mientras que en la clase de impacto fuerte un 26% de los productores no lo hizo en 2012. Esto parece concordar con lo mencionado por Esteves (1995), quien manifiesta que esta práctica puede ayudar a reducir las incidencias de roya hasta en un 35%. Así mismo, en la clase de impacto leve, el 62% de los productores tiene un comportamiento de producción estable, mientras en la clase de impacto fuerte, el 80% de los productores tiene un comportamiento de la producción bienal, lo que está directamente relacionado con el tipo de manejo realizado. Según Chaves (2013), el comportamiento bienal en la producción se explica por la demanda de nutrientes requeridos en la formación del fruto y, por lo tanto, podría relacionarse con una nutrición deficiente. Puede que el año 2012 haya sido para estos productores un año de alta producción esperada, lo cual volvió las plantas a la roya. Se sabe, en efecto, que existe una relación positiva entre carga fructífera y ataque de roya (López Bravo et al., 2012).

2.4.3. Aspectos socioeconómicos

La calidad del manejo depende de los aspectos socioeconómicos de las familias (Fernández y Muschler 1999). En este estudio, los productores con manejo bajo tenían un nivel socioeconómico bajo, mientras que los productores con manejo alto, tenían un nivel socioeconómico alto. En el municipio de Jinotega y el Tuma-La Dalia, la mayoría de los productores de café, pequeños y medianos, se dedican únicamente al cultivo del café y por tanto dependen únicamente de este rubro para sus ingresos. Los ingresos sirven para comprar alimentos e insumos, inversión en infraestructura y otras necesidades del hogar, en especial la educación de los hijos. En condiciones de bajos precios, los productores prefieren reservar sus ingresos para los gastos del hogar, descuidando así la finca (Solórzano y Cáceres 2012). Don Isidro menciona por ejemplo "*No hice un manejo adecuado del café por falta de recursos económicos*". Por otro lado, los niveles socioeconómicos más bajos están asociados con pocas capacitaciones recibidas y poca asistencia técnica. Estas condiciones resaltan la importancia por un lado de los créditos oportunos y de la capacitación técnica, lo que coincide con las recomendaciones de Solórzano y Cáceres (2012) en su publicación sobre el mejoramiento productivo de la caficultura para pequeños y medianos productores. Así mismo, se asocia también con niveles de ingreso más bajos por venta de café por hectárea, lo que está influenciado por el poco manejo, lo cual es acorde con la explicación que hacen al respecto Fernández y Muschler (1999). Estos bajos ingresos además, no permiten hacer una buena inversión en el cafetal (Fernández y Muschler 1999). Aunque por otra parte si el productor mejorara el manejo de su cafetal provocaría un incremento en la productividad y también podría tener mejores ingresos para invertir en su cafetal, en dependencia de los precios del mercado (Fernández y Muschler 1999; Solórzano Cáceres 2012).

2.4.4. Cómo lograr manejar la roya

Durante el estudio realizado, se lograron determinar las prácticas que ayudaron a marcar la diferencia de impacto entre fincas ubicadas dentro de una misma zona fuertemente afectada. Las variables que no fueron significativas indican que existen prácticas que han sido implementadas en igual forma, tanto por productores afectados, como poco afectados durante el 2012. Sin embargo, se puede apreciar que hay prácticas de manejo que aún no están siendo implementadas por algunos productores, cuando otros sí lo hacen.

El manejo de la roya debería, por lo tanto, involucrar todo el paquete de prácticas de manejo, donde cada práctica de manera independiente debe realizarse eficientemente. Los productores que fueron agrupados en la clase de manejo alto (Man_Alto) realizan la mayoría de las prácticas que involucraría un paquete de manejo, las que se mencionan a continuación y que además se resumen en la figura 11 y 12:

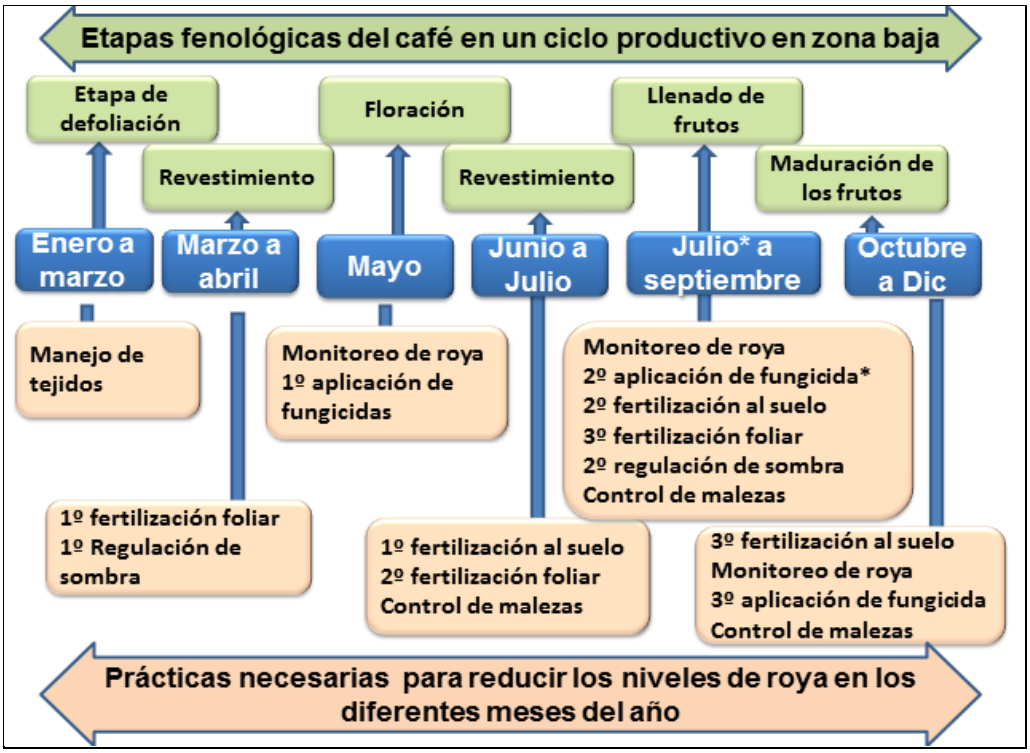


Figura 11. Esquema de las prácticas de manejo que ayudan a reducir la roya del café (cuadros color rosa). En los cuadros en azul, se muestran los meses recomendables para realizar cada práctica y en los cuadros en verde se muestran las etapas fenológicas del café en los diferentes meses del año en una zona baja, según Guharay *et al.* (2000).

- Fertilización eficiente, tanto al suelo como al follaje, con al menos 2 aplicaciones en el año, con las dosis recomendadas.
- Muestreos de roya de manera constante.
- Aplicación de fungicidas eficientes con al menos 3 aplicaciones en el año, con una primera aplicación en el primer semestre, con calendario fijo de aplicaciones.

- Manejo de la sombra con 2 o al menos 1 regulación de sombra durante el año, manteniendo el porcentaje óptimo recomendado en estudios realizados.
- Manejo de tejidos.
- Manejo de las plagas, en el caso de broca, implementar el uso de trampas.
- Eficiente control de las malezas.

- Renovación de cafetales que sobrepasan los 20 años de edad.

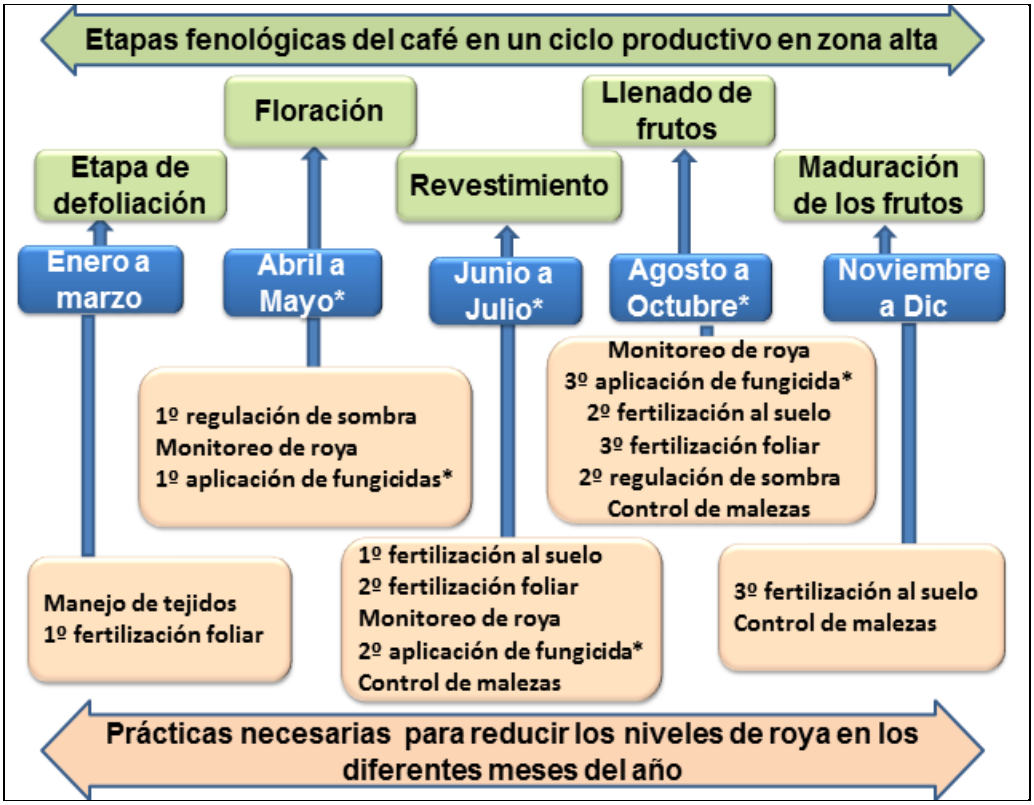


Figura 12. Esquema de las prácticas de manejo que ayudan a reducir la roya del café (cuadros color rosa). En los cuadros en azul, se muestran los meses recomendables para realizar cada práctica y en los cuadros en verde se muestran las etapas fenológicas del café en los diferentes meses del año en una zona alta, según Guharay *et al.* (2000).

Rivillas *et al.* (2011), mencionan la importancia de realizar estas prácticas en el momento oportuno para atenuar los efectos de la roya. Sin embargo, el que todos los productores las pongan en práctica, puede depender de otros factores, como la influencia de aspectos socioeconómicos, entre ellos los ingresos por venta de café, afectados a su vez por la inestabilidad del precio del café en el mercado (Avelino y Rivas 2013).

El hecho de que este estudio haya sido realizado, en su gran mayoría, con pequeños y medianos productores, permite pensar que un manejo eficiente puede estar al alcance de todos los productores incluyendo los pequeños. En este sentido, es necesario un acompañamiento más directo, principalmente al pequeño productor, por parte de las organizaciones, tanto gubernamental como no gubernamental que inciden en cada zona. Un mejoramiento en la calidad

de la asistencia técnica podría, por ejemplo, ayudar a que el productor invierta eficientemente los financiamientos que le son otorgados para mantenimiento del cafetal, los cuales por razones propias de cada productor muchas veces son utilizados para otros fines, descuidando su cafetal. Un mejoramiento en el manejo se traducirá a la vez en mejores rendimientos, lo que daría la posibilidad al productor de mejorar sus ingresos por venta de café e invertir más en su café.

Para pequeños productores con limitaciones económicas que no alcanzan a comprar insumos, se deben buscar alternativas que permitan compensar las necesidades, tanto nutricionales, como sanitarias de la planta. Para el caso de la nutrición, una alternativa podría ser la siembra de árboles de servicio en los cafetales, como *Erythrina poeppigiana* u otras especies de este mismo género. En cuanto a los fungicidas, si el pequeño productor no puede hacer las 3 aplicaciones recomendadas por este estudio, sería importante que al menos realice dos en los tiempos más críticos, acompañado de todas las demás prácticas recomendadas.

Partiendo de la experiencia de este estudio, en seguimiento a lo encontrado, sería interesante que las organizaciones involucradas promovieran un programa de intercambio de experiencias, a través de días de campo. Los productores más afectados deben aprender del éxito que han logrado algunos productores en el manejo de la roya, dentro de su misma zona, durante la epidemia del 2012.

2.5. Conclusión

Hubo diferencias de impacto de roya en fincas dentro de una misma zona fuertemente afectada. Se encontraron fincas con nivel de impacto leve, moderado y fuerte.

Los menos afectados tuvieron pérdidas estimadas de 1.5 qq/ha en los dos ciclos de cosecha 2012-2013 y 2013-2014, mientras los más afectados tuvieron pérdidas de 14 qq/ha en los mismos ciclos, para una diferencia de 12.5 qq/ha, lo que significa económicamente una pérdida de $ 1400, tomando en cuenta el precio del café para esos ciclos en Nicaragua.

Existen prácticas de manejo como fertilización, aplicación de fungicidas, manejo de sombra, entre otras, que han marcado las diferencias de impacto de roya en el 2012, en fincas ubicadas dentro de una misma zona y que valdría la pena que fueran consideradas por los productores más afectados de cara a futuras amenazas de roya.

Las variables de estructura de parcela y ambiente no fueron significativas al relacionarse con el impacto, lo que indica que cuando se encuentra frente a un ataque severo de roya, el manejo que realiza el productor es importante.

Los productores de mayor aspecto socioeconómico como ingresos, asistencia técnica, capacitaciones y acceso a créditos han sido menos afectados por roya en el 2012.

2.6. Recomendaciones

Es necesario que se hagan investigaciones en condiciones controladas, que ayuden a entender mejor el efecto y mecanismo de acción de cada elemento dentro la fertilización, tanto al suelo como al follaje sobre la roya del café. Existen investigaciones sobre el efecto de estos elementos en muchas enfermedades, pero poco se ha hecho con respecto a la roya del café.

Es importante analizar económicamente las pérdidas ocasionadas por la roya, principalmente a largo plazo.

Las organizaciones tanto gubernamentales como no gubernamentales que inciden en cada zona, deben bridar un acompañamiento más directo al productor, principalmente al pequeño productor, en el manejo de sus fincas. Si el productor logra mejorar su manejo podrá incrementar su producción y a la vez estar preparado ante eventos extremos, como la epidemia de roya del 2012.

De cara a la sostenibilidad de la caficultura en Nicaragua, es necesario hacer estudios a largo plazo que permitan conocer prácticas agroecológicas que puedan suplir los requerimientos nutricionales del café, partiendo de la importancia de la nutrición tanto para aumentar los rendimientos como para ayudar a la planta en su estado sanitario.

Los actores que intervienen en el desarrollo local de cada zona deberían considerar políticas para fortalecer los aspectos socioeconómicos (asistencia técnica, capacitación, mejora de ingresos) de las familias de escasos recursos, por el impacto positivo que puede tener en el manejo del cafetal y en la calidad de vida de las personas.

Que se implementen como una prioridad en todos los países, los Sistemas de Alerta Temprana (SAT), para que tanto el gobierno como productores e instituciones especializadas sean comunicados oportunamente sobre el riesgo potencial de una amenaza de roya y de las acciones de intervención.

2.7. Referencias bibliográficas

Agrios, G.N. 1998. Fitopatología 2 ed. México, Editorial Limusa, S.A. de C.V. 11-12 p. (Fisiología de las enfermedades de las plantas).

Arcila Pulgarín, J. Capítulo 7. 2007. Renovación y administración de los cafetales para estabilizar la producción de la finca. *In* Arcila pulgarín, J.; Farfán, F.; Moreno, A.B.; Salazar, L.F.; Hincapié, E.; CENICAFE. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Colombia. p. 145-159.

Avelino, J.; Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del cafeto http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036, 47 p.

Avelino, J.; Romero-Gurdián, A.; Cruz-Cuellar, H.F.; Declerck, F.A. 2012. Landscape context and scale differentially impact coffee leaf rust, coffee berry borer, and coffee root-knot nematodes. Ecological Applications 22(2): 584-596.

Avelino, J.; Willocquet, L.; Savary, S. 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics Plant pathology 53(5): 541-547.

Avelino, J.; Zelaya, H.; Merlo, A.; Pineda, A.; Ordoñez, M.; Savary, S. 2006. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. Ecological modelling 197(3): 431-447.

Bolaños Ortega, M. 2001. El café y su impacto ambiental en Nicaragua Agroforestería en las Américas 8: 46-47.

CAFENICA (Asociación de pequeños productores de Nicaragua). 2013. Impacto de la roya y crisis de la caficultura en las familias de pequeños/as productores/as de café en Nicaragua: panorámica de la situación de las familias productoras y sus cafetales. Matagalpa, Nic. 35 p.

Chaves, V. 2013. Relación de la carga fructífera y la nutrición en la susceptibilidad del café al ataque de la Roya. Revista Informativa Icafe. 7(1):8-10.

Cristancho, M.A., Rozo, Y., Escobar, C., Rivillas, C.A., y Gaitán, A.L., 2012. Outbreak of coffee leaf rust *(Hemileia vastatrix) in* Colombia. New Disease Reports **25**:19.

Csinos, A.S.; Bell, D.K. 1989. Pathology and nutrition in the peanut pod rot complex. *In*: Engelhard, A.W (ed). Soilborne plant pathogens : management of diseases with macro- and microelements. St Paul, Minn : APS Press, p. 124-136.

Dordas, C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. EDP Sciences 28:33-46.

Duicela, G.L.A. 2011. Manejo sostenible de fincas cafetaleras: Buenas prácticas en la producción de café arábico y gestión de la calidad en las organizaciones de productores. Porto Viejo, Ecuador, Imprenta CGRAF, Manta. COFENAC (Consejo Cafetalero Nacional). 309 p

England, S.R.; O'Brien, J.J.; Clark, D.B. 2000. Evaluation of digital and film hemispherical photography and spherical densiometry for measuring forest light environments Canadian Journal of Forest Research 30(12):1999-2005.

Estévez V, F.G. 1995. Evaluación del comportamiento de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) sin aplicación de agroquímicos. *In* simposio sobre caficultura latinoamericana (16, 25-29 Oct. 1993, Managua, Nicaragua). 1995. Memoria. IICA (Guatemala), PROMECAFE, Comisión Nacional del Café, Nic. Tegucigalpa, Honduras. V. 1, p. 12.

Fernández, C.; Muschler, R.G. 1999. Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América central. *In* Bertrand, B.; Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultura de Centroamérica. San José, Costa Rica. p. 69-96.

FIDEG (Fundación Internacional para el Desafío Económico Global) 2012. Caracterización de 15 municipios pobres de Nicaragua: informe final. Managua, Nicaragua. 155 p.

FUNICA (Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario y Forestal de Nicaragua). 2009. Propuesta de intervención de FUNICA para la zona norte. Managua, Nicaragua. 51 p.

Graham, D.R.; Webb, M.J. 1991. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants, in: Mortvedt, J.J.; Cox, F.R.; Shuman, L.M.; Welch, R.M. (Eds.), Micronutrients in Agriculture, 2nd ed., Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA, pp. 329–370.

Guharay, F.; Monterrey, J.; Monterroso, D.; Staver, Ch. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Managua, Nicaragua, CATIE. 265 p. (Serie Técnica. Manual Técnico Nº 44).

Heckman, J.R.; Clarke, B.B.; Murphy, J.A. 2003. Optimizing manganese fertilization for the suppression of take-all patch disease on creeping bentgrass. Crop Sci 43:1395–1398.

Hoffland, E.; Jeger, M.J.; Van Beusichem, M.L. 2000. Effect of nitrogen supply rate on disease resistance in tomato depends on the pathogen. Plant and Soil 218:239–247.

Huber, D.M.; Graham, R.D. 1999. The role of nutrition in crop resistance and tolerance to disease. *in*: Rengel Z. (Ed.). Mineral nutrition of crops fundamental mechanisms and implications, Food Product Press, New York, p. 205–226.

Huber, D.M.; Haneklaus, S. 2007. Managing Nutrition to Control Plant Disease. Landbauforschung Völkenrode 57:313-322.

INIDE (Instituto Nacional de Información de Desarrollo); MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal). 2013. IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO). Managua, Nicaragua. 80 p.

Jaramillo-Robledo, A.; Arcila-Pulgarín, J. 2009. Variabilidad climática en la zona cafetera Colombiana asociada al evento de la niña y su efecto en la caficultura. Cenicafé 389:1-8

Jensen B., Munk L. 1997. Nitrogen induced changes in colony density and spore production of Erysiphe graminis f.sp. hordei on seedlings of six spring barley cultivars. Plant Pathology 46:191–202.

López, A.; Orozco, L.; Somarriba, E.; Bonilla, G. 2003. Tipologías y manejo de fincas cafetaleras en los municipios de San Ramón y Matagalpa, Nicaragua. Agroforestería en las Américas (Costa Rica) 10(37-38):74-79.

López-Bravo, D.F.; Virginio-Filho, E.d.M.; 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.

Mauricio, L.; Leal, J. 2011. Efecto de la aplicación de azufre para el control de oidiosis" *leveillula taurica*" en el cultivo de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) var. imperial star Scientia Agropecuaria 2(3): 169-176.

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.

McCook, S. 2009. La Roya del café en Costa Rica: Epidemias, innovación y medio ambiente, 1950-1995. Revista de Historia (59-60): 99-117.

McCain, J. W.; & Hennen, J. F. 1984. Development of the uredinal thallus and sorus in the orange coffee rust fungus, Hemileia vastatrix. *Phytopathology*, *74*(6), 714-721.

Miller, G.W.; Pushnik, J.C.; Welkie, G.W. 1984. Iron chlorosis, a world wide problem, the relation of chlorophyll biosynthesis to iron Journal of Plant Nutrition 7(1-5): 1-22.

Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales Turrialba, Costa Rica. CATIE. 139 p.

OIC (Organización Internacional del Café). 2013. Report on the outbreak of coffee leaf rust in Central America and action plan to combat the pest (en línea). Centro América. Consultado 24 Ago. 2013. Disponible en: http://dev.ico.org/documents/cy2012-13/ed-2157e-report-clr.pdf

Olesen, J.E.; Jorgensen, L.N.; Petersen, J.; Mortensen, J.V. 2003. Effects of rate and timing of nitrogen fertilizer on disease control by fungicides in winter wheat. 1. Grain yield and foliar disease control. Journal of Agricultural Science 140:1–13.

Paiva, B.R.T.L.; de Souza, P.E.; Scalco, M.S.; Santos, L.A. 2011. Progresso da ferrugem do cafeeiro irrigado em diferentes densidades de plantio pós-poda Ciência e Agrotecnologia 35: 137-143.

Reuveni, M.; Oppenheim, D.; Reuveni, R. 1998. Integrated control of powdery mildew on apple trees by foliar sprays of mono-potassium phosphate fertilizer and sterol inhibiting fungicides. Crop protection 17(7): 563-568.

Rivillas Osorio, C.A.; Leguizamón Caycedo, J.E.; Gil Vallejo, L.F. 1999. Recomendaciones para el manejo de la roya en Colombia. Boletín Técnico, Cenicafé no. 19:1-36.

Rivillas Osorio, C.A.; Serna Giraldo, C.A.; Cristancho Ardila, M.A.; y Gaitan Bustamante, A.L. 2011. La roya del cafeto en Colombia - Impacto, manejo y costos del control. Caldas, Co: Cenicafé. 51 p.

Romero Gurdián, A. 2010. Efecto de los sistemas agroforestales del café y del contexto del paisaje sobre la roya, (*Hemileia vastatrix*), broca (*Hypothenemus hampei*)(Ferrari) y los nematodos (*Meloidogyne spp*.), con diferentes certificaciones en la provincia de Cartago, Costa Rica. Tesis MagSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 75 p.

Ross, M. 2004. Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. Revista Palmas 25(2): 98-104.

Santacreo, R.; Polanco, E.; Oseguera, S. 1983. Período de incubación y generación de *Hemileia vastatrix* Berk et Br. en tres zonas cafetaleras de Honduras, Centro América. Memoria. *In* XI Simposio Latinoamericano sobre Caficultura. (XI., 1983, Panamá, Panamá). San José, Costa Rica, IICA. p. 109-127.

Santos, A.T.; Aguilar Manjarrez, D. 2000. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. Terra 17(3):247-255.

Savary, S.; Madden, L.V.; Zadoks, J.C.; Klein-Gebbinck, H.W. 1995. Use of categorical information and correspondence analysis in plant disease epidemiology, Advances in Botanical Research, Vol 21. Academic Press Ltd, London, pp. 213-240.

Shams, M.; Etemadi, N.; Baninasab, B.; Ramin, A.A.; Khoshgoftarmanesh, A.H. 2012. Effect of boron and calcium on growth and quality of 'easy lover' cut rose. Journal of Plant Nutrition 35:1303–1313.

Sharma, R.C.; Duveiller, E. 2004**.** Effect of *helminthosporium leaf blight* on performance of timely and late-seeded wheat under optimal and stressed levels of soil fertility and moisture. SEVIER 89:205-2018.

Shiomi, H.F.; Silva, H.S.A.; De Melo, I.S.; Nunes, F.V.; Bettiol, W. 2006. Bioprospecting endophytic bacteria for biological control of coffee leaf rust Scientia Agricola 63(1): 32-39.

Silva-Acuña, R.; Laércio Zambolim, L.; Víctor H. Álvarez Venegas, V.H. 2002. Estrategias de control de la roya del cafeto con la aplicación de fungicida protector y sistémico en viçosa, minas gerais, Brasil. Bioagro 14(2): 85-97.

Solórzano Lanzas, J.; Cáceres Trujillo, F. 2012. Programa de mejoramiento productivo de la caficultura para pequeños y medianos productores. Tijerino, A.C. ed. Nicaragua, FUNIDES. 67 p. (Serie de estudios especiales).

Somarriba, E. 2004. ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales? Agroforestería en las Américas (41-42): 120-128.

Sotomayor Herrera, I.; Duicela Guambi, L. 1995. Control integrado de las principales enfermedades foliares del café en el Ecuador, EC, Estación Experimental Tropical Pichilingue. 78 p.

Walters, D.R.; Bingham, I.J. 2007. Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control. Annals of Aplied Biology 51:307-324.

Zambolim, L.; Chaves, G.; Do Vale, F.; Pereira, A. 1994. Manejo integrado das doencas do cafeeiro em cultivo adensado. *In* Simposio Internacional sobre café adensado. Londrina, Brasil. ANAIS. p. 151-182.

Zúñiga, C.; Somarriba, E.; Sánchez, V. 2004. Tipologías cafetaleras de la Reserva Natural Miraflor-Moropotente, Estelí, Nicaragua. Agroforestería en las Américas (41-42): 105-111.

2.8. Anexos

2.8.1. Frases de los productores menos afectados por roya en respuesta a la pregunta ¿Por qué cree usted que su cafetal fue menos afectado que otros cafetales vecinos?

1. Tratamos la enfermedad en tiempo y forma.

2. Fui menos afectado por la roya por la aplicación de fungicidas y por la fertilización. Los vecinos siembran el café y no lo cultivan, solo esperan la cosecha.

3. Hice aplicaciones de fungicidas preventivos y curativos de forma anticipada. Ayudó la nutrición de las plantas, manejo del pH, encalado, los foleos[1] son de manera permanente.

4. Por el mantenimiento, el foleo que se le hizo, por la sombra (donde tenía más sombra la afectación fue menos).

5. He sido menos afectado porque he venido haciendo un buen cultivo en mi cafetal, mientras que los vecinos fueron más afectados, porque hacen poco cultivo, aplican pocos fungicidas y a veces malos productos y no abonan bien. La planta necesita de 2-3 aplicaciones de fungicida para control de roya.

6. Tengo café joven de 4 años. Los cafetales con plantas viejas fueron más afectados. También por la nutrición del café que hago todos los años. La diferencia con mi vecina, yo lo atribuyo más a la edad del café.

7. Por el control que se realizó con los foleos, por la fertilización, la sombra del cafetal (no desombramos en el verano, pero si al iniciar el invierno). Los vecinos dan poco manejo del café y no desombran para la entrada del invierno.

8. Me ayudó la variedad, porque yo trabajo con catuaí y el manejo que le doy al café. Algunos vecinos tienen pocos fondos para invertir en el café y tienen además cafetales viejos.

9. El manejo de los foleos (no se dejó de foliar en todo el año), se hicieron tres foleos en todo el año. Manejo de tejidos y todos los años se hace resiembra, eliminando las plantas más agotadas. Los vecinos hacen mal manejo de las plantaciones, plantas viejas, no hacen buena nutrición, no podan. Muchos se confiaron, incluso yo me confié y por eso me afectó un poco.

10.Por el manejo que brindé al café, fertilización suficiente, nutrientes foliares, foleos para el control de enfermedades. Los más afectados no dieron suficiente manejo. Una fertilización y un foleo no son suficientes para el café. Yo tengo plantas viejas, pero las manejo bien.

[1] Muchos productores entrevistados utilizan el término "foleo" para referirse a las fumigaciones al follaje principalmente con fungicidas, aunque en algunos casos involucran también nutrientes foliares y algunos insecticidas.

11. Pienso que tiene que ver con la sombra, en el 2012 no hice desombra, pero en el 2013, donde quité más sombra tuve más afectación. Donde golpeaba más fuerte el sol tuve más roya y creo que mi vecino fue más afectado por la mala distribución de la sombra, hay partes que no tiene nada de sombra.

12. La aplicación de los foleos y la fertilización ayudó en gran manera a combatir la roya. Algunos productores se descuidaron con el mantenimiento, no fertilizaron y no foliaron.

13. Yo aplico productos fungicidas preventivos y curativos cada año, mientras los vecinos aplicaron hasta el año que llegó la enfermedad en el 2012. La regulación de la sombra influye también en gran manera y también la nutrición, muchas plantas estaban débiles y además viejas al entrar la enfermedad.

14. Pienso que mi menor afectación puede deberse a los foleos y a la fertilización. Creo que el vecino se descuidó con los foleos y no fertilizó. También puede deberse a la variedad, porque el mío es catuaí y el de él es maracaturra.

15. Creo que fui menos afectado por la asistencia que le brindo al café sobre todo los foleos y los abonos. Los vecinos dan poco manejo, no abonan y no folean. En mi caso también hago regulación de sombra y creo que eso también ha ayudado.

16. En mi caso foleo basado en un plan cada año, haya o no haya roya y así mismo con la fertilización. Algunos vecinos fueron más afectados por falta de fertilización, falta de foleos y no regulan la sombra. Yo manejo la sombra en un 40-50%.

17. Creo que se debe más al sistema de manejo, es posible que los más afectados hayan hecho las mismas aplicaciones de productos, pero quizá no hicieron una buena cobertura y no hicieron los foleos en el en el tiempo adecuado.

18. La aplicación de fertilizantes foliares ayuda mucho ante la roya, porque mantiene la planta bien nutrida y hay muchos productores que no hacen esta práctica y en mi caso esta práctica también ayudó a tener menos roya.

19. En mi caso, hago mucha inversión en el café y es la razón de la poca afectación. Muchos productores no se preocupan por el buen manejo de su café. No invierten sus ganancias de buenas cosechas en la finca, sino más bien en otras actividades (infraestructura, vehículo, entre otras). Sacan financiamiento y no lo invierten el café si no que lo usan para otras necesidades…Yo en mi caso uso productos curativos, pero los aplico de manera preventiva, aunque no haya roya y lo hago igual cada año, acompañado de una buena nutrición de la planta y trabajo con análisis de suelo.

20. Tratamos la enfermedad a tiempo con productos preventivos y curativos, preparamos la planta con fertilizantes al suelo y al follaje, mientras que los vecinos no aplican nutrientes foliares… Hacemos muestreos de roya y usamos productos preventivos y curativos iniciando con una aplicación al finalizar la cosecha acompañada de nutrientes foliares (Boro y Zinc). Hacemos

manejo de tejidos y todas las prácticas necesarias en el café. Algo importante es que fumigamos durante la cosecha, cuando casi nadie lo hace.

21. Descubrimos a tiempo el avance de la roya y se hicieron aplicaciones con el fungicida correcto (Amistar y Alto 10), no aplicamos el mismo fungicida cada año. Hacemos 3 abonadas al suelo al año, acompañado con nutrientes foliares, cuando algunos productores solo hacen 1 y mantenemos la sombra en un 20-25%. De manera general la afectación de roya se debe al mal manejo. Si se aplica menos nutriente es necesario tener más sombra.

22. Para mí, tiene que ver con la forma de aplicación de los productos e incluso con el tipo de equipo que se utiliza. Algunos productores mezclan algunos productos y tal vez no son compatibles. La afectación de roya está relacionada con el manejo, la asistencia técnica y un poco con la edad de las plantas. La asistencia técnica que se está brindando no es muy eficiente.

23. Pienso que si la plantación no tiene suficiente nutriente y se le quita la sombra, la roya afecta mucho más. Ayuda también el momento en que se aplican los productos, muchos no aplican fungicidas en abril, sino hasta junio y yo aplico un preventivo en abril.

24. En mi caso la poca afectación fue por la sombra que hay en mi cafetal, porque yo no hice grandes aplicaciones de foleos, es más, mi vecino que fue más afectado hace más foleos que yo. Abono dos veces en el año y aplico algunos fertilizantes foliares.

25. Fui menos afectado porque antes que iniciara el impacto de la roya había usado productos preventivos (Promec-Cobre), acompañado por el manejo nutricional que he venido haciendo. Los vecinos hicieron menos cuido del café o quizá no aplicaron los productos a tiempo. Algunos no tenían recurso para comprar insumos y aplicarlos en el momento.

26. Creo que fui un poco menos afectado porque trato de darle un buen cuido a mi café. Los más afectados no hacen un manejo debido. En mi caso tuve cierta afectación porque mi organización me restringe el uso de algunos productos como Alto 10 y Amistar Extra.

27. No tengo mucha explicación, para la poca afectación, porque no apliqué mucho producto, solo cobre, ya que la cooperativa no nos permite usar sistémicos y tampoco he aplicado abono. Creo que tiene que ver con la sombra, porque en mi café tengo abundante sombra y mi vecino tiene muy poca sombra.

28. Fui menos afectado, porque foliamos 4 veces en el año y también abonamos 4 veces. Hubo una mejor nutrición de la planta en comparación con los vecinos. Yo lo relaciono más con la nutrición y la aplicación de fungicidas. Los vecinos no acostumbran a abonar los cafetales.

29. La afectación de un 20% del área, en el 2012 fue debido a la cantidad de área (430 mz)[2], ya que solo contábamos con una maquinaria estacionaria, para hacer las aplicaciones de fungicidas. Creo que el ciclo de la roya nos estaba ganando, porque al último lote llegamos después de 30

[2] Esta es la única finca grande considerada dentro de la muestra de fincas poco afectadas por roya en el 2012.

días. Para el 2013 nos equipamos mejor, compramos otra estacionaria y varias motobombas y en 15 días podíamos fumigar todo el plantillo y logramos mantener la roya por debajo del 5%.

2.8.2. Frases de los productores más afectados por roya en respuesta a la pregunta ¿Por qué cree usted que su cafetal fue más afectado que otros cafetales vecinos?

1. La roya me afecto más, por el tipo de café que ya es viejo, poco mantenimiento, poca inversión en insumos. No se le dio todo el cultivo adecuado a cómo debía ser. Mi vecino tiene cafetal más joven, hace foleos y le da mejor atención al café.

2. Falta de asistencia técnica. Primero nos dijeron que desombráramos y vino un clima fuerte muy caliente que favoreció la enfermedad. Falta de fertilización, solo damos una abonada, mientras el vecino aplica más abono. Aplicamos pocos foleos y de mala calidad.

3. No hice un manejo adecuado del café por falta de recursos económicos. Tampoco se han renovado los cafetales por la misma situación económica.

4. Mi cafetal está muy viejo. Son cafetales que se han comprado y no fueron bien manejados por sus dueños anteriores. El vecino tiene cafetal más nuevo y además utiliza productos fungicidas y foliares más caros y más eficientes que no están al alcance para un productor pequeño.

5. El café es muy viejo y además estamos en zona muy baja.

6. Por el tipo de café que es bourbon y caturra, no hago regulación de sombra y en el 2012 no fertilicé ni aplique foleos.

7. Falta de foleos. El vecino hizo más aplicaciones de foleos.

8. Mi café es muy viejo. Algunos fueron menos afectados porque el café es más nuevo.

9. Creo que fui más afectado por la sombra. En mi café hay menos sombra en comparación con el vecino y la poca sombra que hay, está mal distribuida.

10. Una de las razones fue porque no había mucha sombra, quité casi toda la sombra en el 2011 (Otra parcela que tengo con más sombra fue menos afectada). Apliqué fungicidas de los más baratos (silvacur) y mi vecina aplicó de los más caros y mejores (Amistar extra). Los que fueron menos afectados folean con frecuencia.

11. No apliqué producto en el tiempo oportuno, lo hice cuando el brote estaba fuerte y la nutrición que le brindo a mi café también es poca, mi vecino hace más fertilizaciones.

12. Mi cafetal es más viejo. Mi vecino tiene más recurso para darle un mejor manejo al café. En el 2012, yo no pude abonar por falta de recurso.

13. Fui más afectado porque no he hecho un buen manejo en mi cafetal, mientras que mi vecino fue menos afectado porque ha venido haciendo un mejor manejo

14. En mi caso, el manejo que he dado a mi café ha sido muy poco, el vecino da mejor cultivo porque tiene más facilidad para comprar productos.

15. Falta de tecnificación del café, falta de financiamiento, por lo que uno no tienen para dar todo el mantenimiento al café. El vecino tiene más recursos que le permiten comprar insumos para hacer foleos.

16. Mi vecino hace más foleos de manera preventiva y curativa, mientras que yo solo aplico curativos, cuando la enfermedad ya está establecida.

17. Mi vecino no tiene restricción para la aplicación de productos, mientras que yo sí, porque trabajo con una organización que restringe el uso de algunos productos.

18. Por falta de recurso económico para comprar insumos. Todos los productos son caros y no están al alcance de la bolsa del pobre.

19. Fui más afectado que mi vecino por descuido en la aplicación de los productos, no los aplique a tiempo y además aplique poco abono. También mis plantaciones son viejas con una edad de 35 años, mientras las del vecino son mucho más jóvenes.

20. Algunos vecinos fueron menos afectados, porque aplican buenos productos y abonan mejor el suelo. Nosotros abonamos menos y aplicamos menos productos para el control y poca fertilización al follaje.

21. Creo que fui afectado por la poca fertilización que hago en el café, hago solo una abonada con completo. La sombra también tiene que ver, porque donde el café está a lo raso la afectación fue mayor. El mal manejo es debido a la poca asistencia técnica

22. Para mí, tiene que ver mucho con la sombra; tuve la experiencia de ver más afectación donde no hay sombra. Pensamos que la afectación fuerte de roya era debido a la mucha sombra, entonces decidí quitar la sombra totalmente en 3 de las 5 manzanas cultivadas, en el 2012 y ya para el 2013, las 3 manzanas que quedaron sin sombra fueron totalmente desvastadas por la roya en un 100%, mientra que las que quedaron con la sombra solo fueron afectadas como en un 20%.

23. Por el manejo, falta de nutrición a las plantas, he aplicado poco abono y pocos nutrientes foliares, creo que los fungicidas fueron mal aplicados y no se hizo en el tiempo indicado. Mi edad (60 años) ya no me permite hacer el manejo que antes hacía en mis 40 manzanas que tengo. Necesito de ahora en adelante cultivar un área menor para darle un mejor manejo…Me afectó por la cantidad de área que tengo, habían áreas donde el fumigador llegaba demasiado tarde, cuando la roya estaba muy avanzada. También por falta de asistencia técnica, en mi caso me falta conocimiento en el manejo sanitario. Mi vecino como el área es menos (4 manzanas), hace un mejor manejo.

24. Pienso que fuimos más afectados por la mucha sombra y por la poca aplicación de productos. El vecino fue menos afectado porque aplica productos (abono y foleos), mientras que nosotros no, porque no teníamos recurso para comprar los insumos.

25. En mi caso tuve cierta afectación porque mi organización me restringe el uso de algunos productos como Alto 10 y Amistar Extra. Mientras que mi vecino, creo que usa productos más eficientes y además hace un buen manejo nutricional del café.

26. Puede estar relacionado con el tipo de producto que se usó, en mi caso aplique solo cobre y mi vecino seguro usó otros productos, pero no sé realmente. Nosotros los pobres usamos los productos más baratos, no ajustamos para comprar los productos caros que quizá son los más eficientes.

27. Fui más afectado, porque no tengo facilidades para comprar productos fungicidas y para abonar bien el café. Si tuviéramos más recursos económicos, podríamos hacerle frente a la roya con un mejor manejo del café.

28. Creo que tiene que ver más con el tipo de producto fungicida que se usó. En mi caso solo apliqué carbendazim, mientras que mi vecino aplicó más Alto 10 y Amistar Extra. El vecino también aplica más nutrientes, ellos abonan dos veces al año y aplican nutrientes foliares y yo solo abono una vez y no aplico nutriente foliar. Aplico menos producto, porque los préstamos no nos vienen a tiempo. Los préstamos de la cooperativa son hasta en agosto y hasta entonces empezamos a aplicar algunos productos.

29. Realmente no se está haciendo un buen manejo en la finca debido a los cambios administrativos de los últimos años. Los productos no se están aplicando debidamente, no se está usando la cantidad de agua debida, por tanto no se está haciendo una buena cobertura con el producto. También la densidad de siembra a influido, porque en los lotes donde más afectados, el café fue sembrado bastante cerca y una de nuestras metas es mejorar la distancia de siembra[3].

[3] Esta es la única finca grande (125 mz) considerada dentro de la muestra de fincas muy afectadas por roya en el 2012.