

**Utilización De Biotecnología Convencional Para Atenuar El Efecto De La Roya Del
Café *Hemileia Vastatrix* En Colombia.**

Dagoberto Montenegro Rojas



Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD
Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias Y de Medio ambiente
Biotecnología Agraria
Líbano
2018

**Utilización De Biotecnología Convencional Para Atenuar El Efecto De La Roya Del
Café *Hemileia Vastatrix* En Colombia.**

Dagoberto Montenegro Rojas

**Trabajo de grado para optar al título de:
Especialista en Biotecnología Agraria**

Director:

José Camilo Torres Romero



**Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD
Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias Y de Medio ambiente
Biotecnología Agraria
Líbano -Tolima**

2018

Tabla de Contenido

Lista De Tablas	5
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Antecedentes.	3
Introducción.....	4
Delimitación Del Problema	5
Objetivos	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Especificos.....	6
Metodologia Del Trabajo	6
Capitulo 1: Generalidades De La Roya Del Cafeto	7
1.1 La Roya (<i>Hemileia Vastatrix B</i>).....	7
1.1.2 Taxonomía De La Especie.....	8
1.2 Ciclo Biológico De La Roya	9
1.2.1 Sintomatología.....	10
1.3 Razas De La Roya.....	11
1.3.1 Variabilidad De Razas De La Roya.....	12
1.4 Importancia De La Roya Del Cafeto.....	13
Capitulo 2: La Roya Del Cafeto En El Contexto Mundial.....	13
2.1. La Roya Del Cafeto En El Continente Oriental.....	13

2.2. La Roya Del Café En Latinoamérica.....	15
Capitulo 3: La Roya En Colombia.....	18
3.1 Control De La Roya En Colombia	18
3.2. Mejoramiento Genético En El Café Para Combatir La Roya En Colombia.....	20
3.2.1. Variedad Colombia	21
3.2.2. Variedad Caturra	22
3.3. Alternativas Para El Control Y Manejo De La Roya.....	23
3.3.1 Alternativas Biotecnológicas Para Combatir La Roya.....	25
3.4. Producción Mundial De Café En Los Últimos Años.....	26
3.4.1. Producción De Café En Colombia.....	27
Capitulo 4. Alternativas Biotecnológicas Para El Control De La Roya.....	28
4.1. Control Biológico.....	28
4.1.2 Control Biológico Clásico	28
4.1.3. Control Biológico Aumentativo	29
4.1.4 Control Biológico Mediante Conservación.....	29
4.2. Microbioma Del Cafeto Como Fuente De Agentes De Control Biológico.....	30
5. Conclusiones.....	31
6. Recomendaciones.....	32
lbiografía	33

Lista De Tablas

Tabla 1. Exportaciones mundiales de Café verde año cafetero 2014/ 2015- 2015/2016 millones de sacos de 60 Kg.....	26
Tabla 2 Balance Cafetero- Colombia 2012-2016 Millones de sacos de 60 Kg	27

Resumen

El cafeto (*Coffea Arábica L.*), es uno de los productos más importantes en la economía mundial. En Colombia ha sido el negocio de generación de divisas más significativo para el país. Por su actividad, los caficultores han elevado significativamente su calidad de vida y sus regiones son de las más desarrolladas en el ámbito rural colombiano (Botero, 2006). A pesar de ser un cultivo muy importante para la economía, este requiere de altas tecnologías para la producción del mismo, ya que al crecer a varios climas y condiciones también es sensible a ser colonizado por diferentes plagas y enfermedades las cuales generan pérdidas en la producción. La roya (*Hemileia Vastatrix B*) es considerada una de las enfermedades más catastróficas de la historia. Está dentro de las siete enfermedades de las plantas que ha dejado mayores pérdidas en la economía mundial. En Latinoamérica la roya es el principal problema fitosanitario de alto impacto para la caficultura. sin embargo, son muchos los vacíos para estudiar y entender por parte no solo de los campesinos sino también de las comunidades científicas. Este trabajo tiene como objetivo principal generar propuestas de mitigación de la roya en el contexto colombiano, mediante una revisión bibliográfica.

Palabras claves: café, roya, Biotecnología convencional, control.

Abstract

The coffee tree (*Coffea Arabica L.*), is one of the most important products in the world economy. In Colombia, it has been the most significant currency generation business for the country. Due to their activity, coffee farmers have significantly raised their quality of life and their regions are among the most developed in rural Colombia (Botero, 2006). Despite being a very important crop for the economy, this requires high technologies for its production, since when growing to various climates and conditions it is also sensitive to being colonized by different pests and diseases which generate losses in production. The rust (*Hemileia Vastatrix B*) is considered one of the most catastrophic diseases in history. It is among the seven plant diseases that have caused the greatest losses in the world economy. In Latin América, rust is the main phytosanitary problem of high impact for coffee production. However, there are many gaps to be studied and understood by not only the peasants but also the scientific communities. The main objective of this work is to generate proposals for mitigation of rust in the Colombian context, through a bibliographic review.

Key words: coffee, rust, conventional biotechnology, control.

Antecedentes.

La influencia de la roya del café ha alcanzado proporciones epidémicas en 2012, ha afectado a los países desde México hasta Colombia. La roya afecta a las plantas al causarles defoliación prematura y una capacidad fotosintética reducida. Los arbustos de café afectados producen menos flores de lo usual y, como resultado, menos y más pequeñas cerezas de café, por lo que la producción se reduce, causando una disminución en los niveles de productivos. La roya del café también hace a las plantas más vulnerables a otras enfermedades, reduciendo potencialmente su capacidad productiva aún más. La epidemia actual ocurrió como resultado de múltiples factores: condiciones climáticas atípicas, pobre adherencia a buenas prácticas agronómicas, y los constantes desniveles en precios de producción y en ventas, debido a los repentinos cambios en el dólar que reduce los incentivos de los dueños de plantaciones para invertir en el mantenimiento del cultivo (incluyendo fungicidas). Los pequeños productores son particularmente susceptibles debido a su falta de recursos para combatir la propagación del hongo.

Introducción

El café es uno de los productos de mayor exportación para Colombia siendo así uno de los principales productos que más le aporta al PIB; de acuerdo con estudios del banco de la república el efecto multiplicador de un incremento del 10% en el ingreso cafetero es de 43 pb sobre el PIB, aspecto fundamental pues, si lo comparamos con una situación similar en el sector minero, el efecto apenas impactaría en 4pb el PIB total. Tal es el potencial jalonador del crecimiento en el sector cafetero, que en 2014 cuando el PIB del sector agropecuario creció en 3%, solamente el café contribuyó con el 56% de esa variación (Muñoz, 2014) La caficultura también ayuda a movilizar mucho la economía interna de nuestro país ya que genera trabajo a muchos habitantes en las áreas rurales. Sin embargo, en los últimos años el sector ha sido afectado por la presencia de la roya; por ejemplo, a comienzos de los años 80 la aparición de la enfermedad hizo que la caficultura tuviera un cambio drástico a tal punto de desaparecer los cultivos que estaban por debajo de 1.000 msnm. Teniendo en cuenta que el problema ha sido tratado de diferentes maneras en el mundo surge la necesidad de realizar propuestas que en el contexto colombiano ayuden a disminuir el impacto.

En las diferentes áreas donde se cultiva el café en Colombia cada vez se dificulta más prevenir algunos ataques de la roya en los cultivos, además de esto los cultivadores no están debidamente informados y esto causa que en algunos casos se pierdan hectáreas completas del café y así afectando la economía cafetera en Colombia. Sin embargo, a través de la persistencia y el enorme esfuerzo realizado por la Federación Nacional de Cafeteros y Cenicafé, en cuanto al desarrollo de alternativas de tipo biotecnológico como es el caso de nuevas especies; se desarrolló la variedad Colombia (resistente a Roya), que junto con estrategias óptimas de manejo han permitido que la afectación al cultivo no se haya dado en proporciones inimaginables. Por estas razones es muy importante iniciar procesos de formación en los cuales los cafeteros sean informados acerca de algunas prevenciones y productos; que coadyuven al óptimo manejo y

control de tan cruel hongo. En ese sentido, surge la necesidad de realizar una revisión bibliográfica al respecto.

Delimitación del Problema

La roya del café es considerada una de las enfermedades de plantas más catastróficas de toda la historia. Está dentro de las siete plagas y/o enfermedades de las plantas que ha dejado mayores pérdidas en los últimos 100 años, desapareciendo por completo los cultivos por debajo de los 1000 msnm en los años 1970 cuando apareció la enfermedad en América Latina. El café es uno de los productos de mayor exportación para Colombia siendo así uno de los principales productos que más le aporta al PIB, por ejemplo, en 1982 este producto contribuyó con el 50% del mercado mundial cafetero. Sin embargo, debido a la roya ha sido también un problema que ha generado pérdidas económicas a los productores y por ende al país, lo cual hace necesario la búsqueda de alternativas para el control de la enfermedad, haciéndose por ende necesaria la revisión bibliográfica de las mismas que aporten alternativas para el control de la roya del café y que a su vez permita generar interés en la investigación sobre dichas alternativas.

Por tanto, el propósito de esta investigación es determinar las causas por las cuales los cultivos se pueden contagiar de la roya, debido que en Latinoamérica este es el principal problema fitosanitario de alto impacto. También es importante aplicar a ellas algunas alternativas para prevenir esta enfermedad evitando así un impacto socio económico negativo en el país ya que la producción de café en Colombia es un factor muy importante.

Mediante la realización del presente trabajo se plantea como alternativa /beneficio poder proponer recomendaciones para los campesinos dedicados a los cultivos del café en Colombia, que eviten severos ataques del hongo de la roya y en caso de que la roya ya esté causando pérdidas en sus cultivos dar tratamientos oportunos para evitar pérdidas totales en el futuro de la caficultura.

Objetivos

Objetivo General

Mediante una revisión bibliográfica analítica generar propuestas de mitigación de la roya en el contexto colombiano.

Objetivos Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica para determinar impactos de la roya en mundo y las estrategias biotecnológicas que se han utilizado para mitigar la enfermedad.
- Proponer alternativas de tipo biotecnológico para mitigar la roya en el contexto colombiano.

Metodología del Trabajo

El tipo de investigación definido para la elaboración de esta monografía fue de investigación documental, la cual esta se basa en la indagación sobre un problema de investigación propuesto por el autor utilizando fuentes documentales. Para ello se acude a la amplia revisión de literatura, selección de los planteamientos de expertos, organizaciones o instituciones que han escrito sobre el tema en cuestión, enriquecido por el análisis y reflexiones del investigador en el transcurso de la revisión del tema y en el proceso de elaboración del trabajo final.

Analizar cincuenta (50) fuentes de relevancia bibliográfica indexadas para determinar impactos y métodos de manejo de la roya.

Capítulo 1: Generalidades de la roya del cafeto

1.1 La Roya (*Hemileia Vastatrix B*)

La roya es una enfermedad del café ocasionada por el hongo científicamente llamado *Hemileia vastatrix B*, ataca principalmente las plantaciones de café de las variedades Caturra, Catuaí, Bourbon, Typica, Pache y otras susceptibles. En Guatemala, se conoce dicha enfermedad en el café desde el año 1980. Afecta hojas maduras y cuando el ataque es severo puede también infectar hojas jóvenes provocando una intensa caída de hojas y pérdidas en la producción (anacafe, 2013)

La roya del cafeto, causada por el hongo *Hemileia vastatrix B*, es la principal enfermedad que ataca al cultivo, y en Colombia puede causar pérdidas hasta del 23% en variedades susceptibles de la especie *Coffea arábica*, si no se efectúa control (Rivillas; et al, 1999)

La *Hemileia vastatrix B* es un hongo con morfología de tamaño microscópico (30 μ de largo X 20 μ de ancho) con esporas de forma reniforme, las cuales son lisas en la cara interna y rugosa en la externa, denominadas urediniosporas (reproducción asexual), que son producidas en grandes cantidades y corresponden al polvillo amarillo o naranja que se visualiza en el envés de las hojas de café y que es característico de esta enfermedad. Ver Figura 1. (Rivillas *et al.*, 2011). Las teliosporas (reproducción sexual), cuya ocurrencia es muy baja, son de forma redondeada de 20- 25 μ (González; et al, 2013).

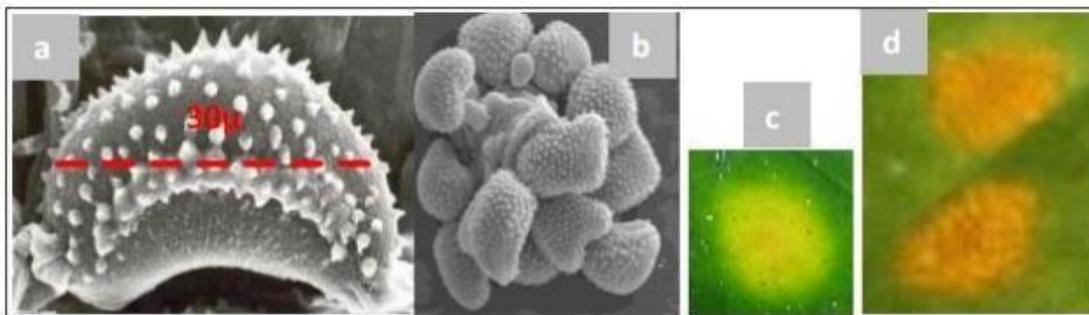


Figura 1. a-b) Fotografía en microscopio de barrido correspondiente a las urediniosporas del hongo; c-d) acercamiento de los síntomas de la roya del café (soros).

Fuente: Gonzales G.R. et al; 2013. Ficha técnica roya del café, *Hemileia Vastatrix* Berkeley & Broome.

1.1.2 Taxonomía de la especie

La roya del café es la enfermedad más destructiva del café y la de mayor importancia económica a nivel mundial, debido a que esta enfermedad provoca la caída prematura de las hojas, propiciando la reducción de la capacidad fotosintética, así como el debilitamiento de árboles enfermos y en infecciones severas puede ocasionar muerte regresiva en ramas e incluso la muerte de los árboles (Moreno. R. et-al. 2000). Este hongo tiene la siguiente clasificación taxonómica:

- Dominio: Eukaryota
- Reino: Fungi
- Phylum: Basidiomycota
- Subphylum: Pucciniomycotina
- Clase: Pucciniomycetes
- Orden: Puccionales
- Género: *Hemileia*
- Especie: *Hemileia Vastatrix*

1.2 Ciclo biológico de la roya

Eventualmente el ciclo de vida del hongo fitopatógeno puede dividirse en cuatro etapas: diseminación, germinación, colonización y esporulación (ver figura 2). A continuación, se describe cada etapa:

- **Etapa de Diseminación:** Esta etapa inicia con una fase de liberación donde la uredospora se despegas de la hoja de café en presencia de salpicaduras provocadas por la lluvia; en cambio el viento, los insectos y el hombre facilita la diseminación del hongo a cortas y largas distancias; por tanto; pueden desarrollarse nuevos focos de infección tan enormes como la disponibilidad misma de las plantas hospedantes y producen grandes cantidades de polvillo amarillo o naranja que se presentan a simple vista en el envés de las hojas de café. (Villareyna, 2014)
- **Etapa de Germinación:** La llegada de la uredospora al hospedero inicia la germinación que es el proceso infeccioso que emite de uno a cuatro tubos germinativos en un tiempo de 6 a 12 horas en condiciones favorables tales como: presencia de lluvia por lo menos seis horas con temperaturas inferiores a 28°C y superiores a 16°C poca luminosidad y en condiciones de obscuridad, consecuentemente permite crecer hasta encontrar estomas situadas en el envés de las hojas maduras, luego penetrar al interior de la hoja e inicia la infección de manera más estricta. (Villareyna, 2014)
- **Etapa de Colonización:** Una vez que se encuentra en el interior de la hoja el hongo desarrolla unas estructuras llamadas haustorios que entran en contacto con las células de la planta y extraen los nutrientes para su crecimiento. Las células de café infectadas pierden su coloración natural, apreciándose en las hojas manchas cloróticas o amarillentas que corresponden a los síntomas de la enfermedad. (Rivillas et al, 2011)
- **Etapa de Esporulación o Reproducción:** Esta etapa empieza 30 días después de la colonización, donde el hongo alcanza su maduración y forman estructuras llamadas soros,

son encargados de producir nuevas urediniosporas a razón de 1.600 milímetros cuadrado (mm²) del área de la hoja en un período de 4 a 5 meses, luego estas urediniosporas serán dispersadas para dar el nuevo inicio de su ciclo infectivo. (Rivillas et al, 2011)

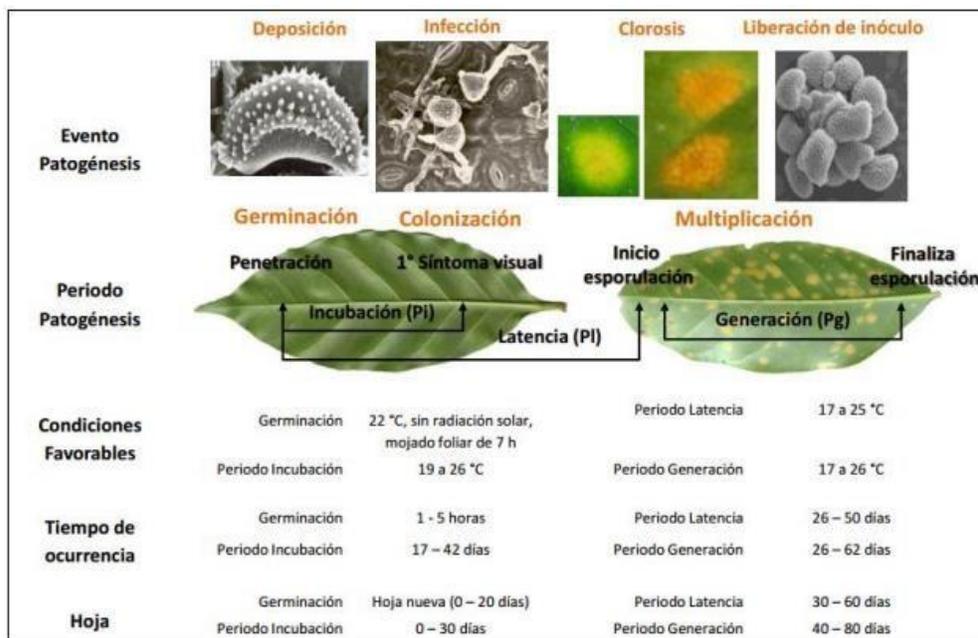


Figura 2. Ciclo biológico (patogénesis) de la roya del caféto *Hemileia Vastatrix B*
Fuente: Gonzales G.R. et al; 2013. Ficha técnica roya del caféto, *Hemileia Vastatrix*
Berkeley & Broome. Página 1-16.

1.2.1 Sintomatología

La enfermedad se presenta con pequeñas manchas redondeadas amarilla-naranja polvorientas en el envés de la hoja de café. Inicialmente el área infectada se presenta con un diámetro de 3 mm, pero gradualmente aumenta el tamaño hasta 2 cm o más, esta tiende a unirse con otras infecciones para formar grandes lesiones que pueden abarcar gran parte de la superficie foliar. (Subero, 2005) En estado muy temprano se presenta en el envés de la hoja una mancha pálida, translúcida que se nota contra la luz y se observa la apariencia de una gota de aceite, después de unos días la mancha toma una coloración anaranjada y la superficie se torna polvorienta. Estas manchas o lesiones son provocadas por el hongo

Hemileia vastatrix donde hace que la hoja del café envejezca y tome una coloración marrón oscuro y se seca (Subero, 2005).



Figura 3. Síntomas en el cafeto de la roya *Hemileia Vastatrix* B. Afección de hoja
Fuente: (autor), Finca Villa Marcela Municipio del Líbano, Tolima, Año 2009.

1.3 Razas de la roya

La evolución de la aparición de razas del patógeno ha tenido un progreso muy similar en la mayoría de países productores de café en el mundo, debido a que en todos los casos se identificó la presencia inicial de la raza II, con el posterior desarrollo de otras razas diferentes genéticamente, a partir de este inóculo inicial (Zambolim et al, 2005). Las razas del patógeno han sido estudiadas en el CIFC (Centro de Investigaciones de las Royas del Café), en Portugal, en colaboración con varios países productores, y estos estudios han demostrado la presencia de más de 30 razas del patógeno, identificadas a partir de una serie de más de 40 diferenciales de café (Cristancho et al, 2007). La raza II ha sido históricamente la raza prevalente en la mayoría de países y ataca todas las variedades cultivadas de la especie *C. arábica* que no han sido mejoradas genéticamente por resistencia al patógeno (Cristancho et al, 2007).

La presencia de múltiples razas de la roya, en cada uno de los países productores de café en el mundo, es una realidad bien establecida (Cristancho et al, 2007). Solamente en algunos países

como Venezuela, parece encontrarse muy poca variabilidad del patógeno, dado que sólo se han identificado las razas I y II (Silva et al, 1997).

1.3.1 Variabilidad de razas de la roya

Las razas del patógeno han sido estudiadas en el CIFC (Centro de Investigaciones de las Royas del Café), en Portugal, en colaboración con varios países productores, y estos estudios han demostrado la presencia de más de 30 razas del patógeno, identificadas a partir de una serie de más de 40 diferenciales de café (Cristancho et al, 2007). La raza II ha sido históricamente la raza prevalente en la mayoría de países y ataca todas las variedades cultivadas de la especie *C. arabica* que no han sido mejoradas genéticamente por resistencia al patógeno (Cristancho et al, 2007).

La presencia de múltiples razas de la roya, en cada uno de los países productores de café en el mundo, es una realidad bien establecida (Cristancho et al, 2007). Solamente en algunos países como Venezuela, parece encontrarse muy poca variabilidad del patógeno, dado que sólo se han identificado las razas I y II (Cristancho et al, 2007).

En Colombia se identificó inicialmente la raza II la llegada del patógeno al país, posteriormente se identificaron cuatro razas de genotipos complejos (4), así como la raza XXII (11), y existe evidencia de la presencia de las razas XXV, XXIII, XVII y XXX en materiales derivados del Híbrido de Timor (Alvarado y Moreno, 2005). Cabe anotar que las plantas diferenciales no han permitido la identificación de nuevas razas de la roya presentes en Colombia en materiales derivados del Híbrido de Timor (GOUVEIA et al, 2005) y se estima que deben existir más de diez razas distintas atacando estas plantas derivadas en el país (Cristancho, 2007)

En Colombia se utilizó la introducción del Híbrido de Timor 1343 para el programa de mejoramiento y para la producción de la variedad Colombia (Castillo, 1989). Derivados de cruces del Híbrido de Timor 832/1 con otros materiales de *Coffea arabica* han dado lugar a algunos

diferenciales del CIFC y la introducción original de este Híbrido es representativo del grupo A de plantas diferenciales, grupo que es resistente a todas las razas de roya conocidas.

Las plantas diferenciales para la roya en café son un grupo de plantas, aproximadamente 40, que han sido desarrolladas en el CIFC, para la identificación de razas del patógeno. Estas plantas están compuestas por variedades de café de diferentes especies, que poseen entre uno y cinco genes de resistencia al patógeno, y de acuerdo a este número de genes se clasifican en grupos fisiológicos (Rodríguez et al, 1975).

1.4 Importancia de la roya del cafeto

El impacto económico que tiene la Roya en el cultivo del café no solo se debe a la reducción de la cantidad y la calidad de la producción, sino también a la necesidad de implementar costosas medidas de control en los cultivares susceptibles (CABI, 2013).

En 1983 se tuvo el primer registro de esta enfermedad en Colombia, con pérdidas de hasta un 30% en cultivos donde no se realizaron acciones de manejo. Recientemente, en el país, durante el período de 2008 a 2011, en algunas de las variedades comerciales susceptibles de las principales zonas cafetaleras del país, se presentó un inusual incremento en la incidencia de esta enfermedad, así como una mayor severidad en hojas infectadas (> 30%) (Cristancho et al., 2012).

Capítulo 2: La roya del cafeto en el contexto mundial

2.1. La roya del cafeto en el continente oriental

La primera epidemia de la roya apareció inesperadamente en la colonia británica de Ceilán en 1869 y hasta el día de hoy no se sabe cómo el hongo llegó desde su zona nativa en África hasta la isla. Fue detectada por primera vez en una plantación en el centro de la isla y pocos años después ya se había difundido por toda la isla. Las condiciones ecológicas de Ceilán

–caliente y húmeda, bañada por dos monzones– eran ideales para la reproducción y difusión del hongo. Para principios de los años 1880, la industria cafetera de Ceilán se había derrumbado casi por completo. Los británicos enviaron un científico destacado, Harry Marshall Ward, a examinar el caso de Ceilán y aunque este logró reconstruir el ciclo de vida del hongo, no logró encontrar alguna forma viable para controlarla. Al final, la epidemia fue tan grave que el café dejó de ser una opción rentable y la mayoría de los caficultores abandonó el cultivo del café para cultivar té, producción esta última que llegó a dominar la isla (James, 2002).

Entre los años 1870 y 1970, la enfermedad se difundió por casi todas las zonas cafeteras de Asia, África, y el Pacífico. Su impacto variaba según las condiciones ecológicas de cada zona y también en función de las técnicas disponibles para combatirla. En algunos lugares, como las Indias Orientales Holandesas y las Filipinas, aparejó la destrucción casi completa de la industria cafetera. En los años 1880, se descubrió que los fungicidas de cobre ejercían un papel preventivo contra la roya, bajo ciertas condiciones ecológicas. Si se aplicaban antes de la estación lluviosa, podían prevenir o disminuir la germinación de las esporas. Fueron los fungicidas que permitieron la supervivencia de algunos enclaves de café arábigo en África, Asia y el Pacífico. Los enclaves principales que se encontraban en Java, Sumatra, India, Kenia y Tanganyika lograron sobrevivir porque la topografía y clima de aquellas regiones producía microclimas con estaciones secas bien definidas, y con temperaturas relativamente bajas. Gracias a estos microclimas, las tasas de infección de la roya fueron lo suficientemente bajas como para poder controlarlas con fungicidas y así seguir rentabilizando el cultivo.

A principios del siglo XX, se descubrieron variedades de café arábigo que mostraban cierto grado de resistencia genética contra la roya, más lamentablemente para los productores tal resistencia resultó ser transitoria. También se descubrió el café Robusta –*C. canephora* var. Robusta–, otra especie del género *Coffea*, casi completamente resistente a la roya, pero que a su vez planteaba el inconveniente de que su calidad de taza resultaba inferior al café arábigo. El café Robusta fue sembrado a gran escala en muchas partes de las Indias Orientales Holandesas,

en África oriental –Uganda– y en África occidental – sobre todo en la Costa de Marfil y Angola–. La roya fue uno de los factores principales en la caída de la industria cafetera en Asia, África y el Pacífico, y provocó por consecuencia el predominio de América Latina en la producción mundial del café Arábigo en el siglo XX (Rowe, 1963).

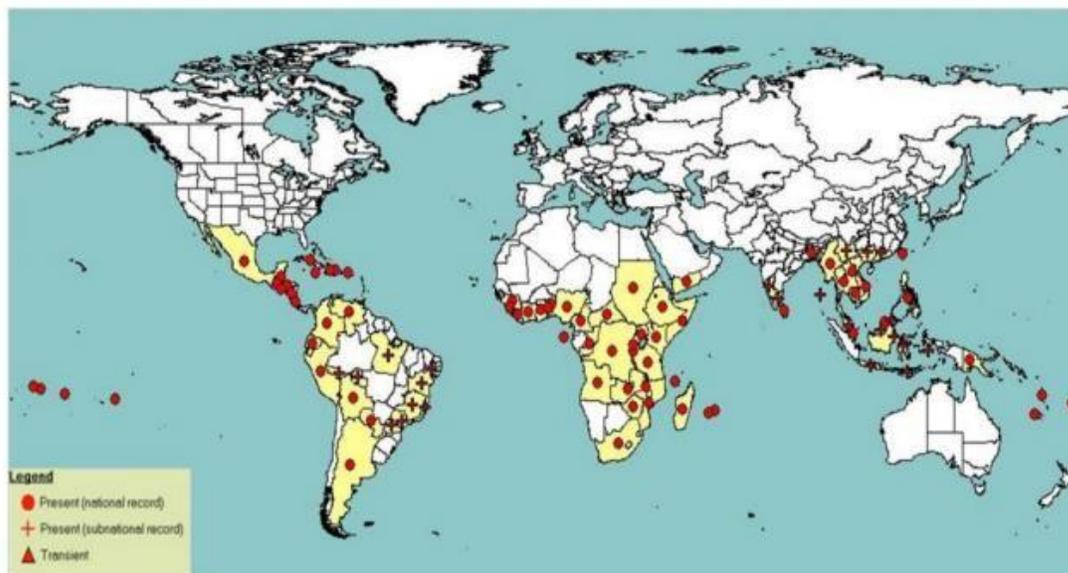


Figura 4. Distribución mundial de la roya del café
Fuente: González G.R. et al. 2013. Ficha técnica roya del café, *Hemileia Vastatrix B.*

2.2. La roya del café en Latinoamérica

La roya del café llega a Brasil en 1970. ¿Cómo ocurrió este evento?, no está plenamente establecido. En principio se dijo que por imprudencia de agricultores cacaoteros de Bahía, que visitaron África, se trajo el patógeno causante de la roya, fue ahí en donde se registró primero en pequeños cultivos de café; posteriormente se determinó que estaba al menos en otros dos Estados. Más recientemente se ha insinuado que la roya, después de llegar en el año de 1950 (Paul, 1980) al extremo de África occidental, de allí por las corrientes de vientos que se originan en el sur de ese continente y que finalmente tocan Suramérica, fue transportada hasta Brasil (Wellman, 1972). 101 años, después de su registro taxonómico, le tomó al patógeno para llegar desde el África, en su centro de origen, al hemisferio occidental y 20 años para invadirlo totalmente de sur a norte.

La llegada de la roya al Brasil desencadena una serie de eventos y acciones de inmediata ejecución, entre los cafeteros colombianos (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia), el Gobierno Nacional (Instituto Colombiano Agropecuario, ICA), la industria de agroquímicos y las distintas universidades en donde se enseña la agronomía y en particular la fitopatología. Se inicia una movilización intensa y extensa. El primer evento en pro de evitar la roya, se cristaliza con la firma de un convenio entre el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Dicho convenio estaba orientado al refuerzo de la Sanidad Vegetal por parte del ICA (Por Decreto tiene esa función) y al apoyo al Programa de Estudios para Graduados (PEG), del convenio entre la Universidad Nacional de Colombia y el ICA. Administrativamente el ICA crea la sección Roya del Cafeto dentro de su estructura burocrática; su carácter es nacional y se ubica en la División de Sanidad Vegetal. Los directivos nombrados se localizan en Bogotá. Se crea una planta de personal para este específico programa. Los fitopatólogos adscritos reciben capacitación en todos los aspectos de la roya. En CENICAFÉ se realizan estudios epidemiológicos y de predicción de la incidencia de la roya (Ecuación de Rayner; período de incubación depende de la temperatura. Efecto relacionado con la altura en Colombia), encontrándose que por debajo de los 1000 msnm la roya tendría características epidémicas incontrolables, mientras que a mayor altitud su ataque sería más benigno y factible de controlar con fungicidas cúpricos. Se inicia un reordenamiento geográfico de la caficultura colombiana. Mientras tanto, el ICA determina zonas geográficas potenciales de riesgo, para la posible llegada por medios naturales (diseminación por vientos) de la roya. Con estos dos parámetros se ubican funcionarios del ICA, en zonas estratégicas y se desarrolla una campaña para no promover y aún desestimular la siembra de cafetos por debajo de los 1000 msnm. En las zonas de mayor peligrosidad por la llegada de las corrientes de vientos originadas en el sur del continente, en el Oriente del país, en los departamentos del Putumayo, Caquetá, Meta, Casanare y Arauca, se promueve la erradicación del cafeto (especialmente en el pie de monte), estimulándose la siembra de otros cultivos como cacao y caucho. Se refuerza la acción de control

en los aeropuertos internacionales, sobre los viajeros, especialmente los internacionales; Aerocivil (Institución encargada del control del tráfico aéreo y aeropuertos) y la Policía Aduanera fueron importantes colaboradores incorporados para el objetivo trazado: evitar la llegada de la roya como consecuencia del movimiento de viajeros y con ellos de material vegetal. Mediante aspiradores se hacen muestreos en el aire de los aviones que vienen del Brasil, no se capturaron esporos de la roya del cafeto (Nieto, L. comunicación personal), se estudian substancias desinfectantes de conocida inocuidad para ser aplicadas sobre superficies, el hipoclorito de sodio mostró ser altamente efectivo sobre esporos de royas (Buriticá et al., 1977).

La roya del Cafeto llega a Colombia en el año de 1983; esto posiblemente a un descuido de unos caficultores que visitaron Brasil, pues estudios posteriores a las plantas afectadas mostraron que era la misma raza fisiológica presente en Brasil (Buriticá, 1993). A partir de ese momento se estableció que la enfermedad tendría características pandémicas y con el tiempo efectivamente la roya comenzó a invadir cada una de las regiones cafeteras y al cabo de Diez años invadió todos los cultivos sembrados por debajo de los 1600 msnm. De acuerdo a estudios realizados se evidenciaron como factores para expandir la plaga a larga distancia, en el territorio de Colombia, las corrientes migratorias de los cosecheros; y a cortas distancias, factores naturales, como el viento.

Con la llegada de la roya, en 1982 se entrega a los caficultores la variedad de cafeto denominada Colombia, esta variedad posee resistencia durable debido a la mezcla de semillas de las progenies homocigotas (F5 y F6) más sobresalientes de cruzamientos entre la planta 1343 del híbrido de Timor y Caturra (Gil, 2003). La expansión del área sembrada con la variedad Colombia crece vertiginosamente. La variedad Colombia además de tener resistencia, al sembrarse en condiciones de libre exposición a los rayos solares, crea un ambiente inhóspito para la roya, se innova la distribución espacial de los cultivos de tal manera que se facilitó las aspersiones de fungicidas, cuando fuese necesario. Las aspersiones a base de oxiclورو de cobre, fueron dirigidas a las variedades tradicionales susceptibles (especialmente Caturra). Las

aspersiones van acompañadas de recomendaciones de épocas para el control, número de aplicaciones, dosis y equipos para ser usados. (Buriticá, 2010).

Al tener roya se procede entonces a investigar otras opciones de control tales como: nuevos productos químicos fungicidas (especialmente sistémicos) y regulación microbiológica (enemigos naturales del hongo). Con los fungicidas sistémicos se hacen programas de aplicación. Protectantes y sistémicos se combinan y alternan según el plan adoptado por cada agricultor. El ICA intensificó sus campañas orientadas a diversificar el cafeto en zonas marginales, haciendo estudios de otros cultivos y variedades para esas zonas. Evento que debido a la incidencia de la roya fue rápidamente motor de cambio de la fisiografía de cultivos y de los agricultores interesados en el cafeto (Buriticá, 2010).

Luego del impacto inicial de la llegada de la roya a Colombia y demostrado por la federación de cafeteros que es posible producir café de manera rentable con la presencia de la enfermedad en el país, la misma federación inicia una fase de integración en la caficultura colombiana, en donde se integran la investigación la sanidad vegetal y la extensión; es así como en Colombia se aprende a convivir con la roya, mientras a su vez se desarrollan planes de fomento para la zona considerada optima y se desestimula en las zonas marginales. Es así como la roya ha generado, en los productores, la cultura de estar revisando los cafetales y obteniendo información para decidir sobre las aplicaciones de agroquímicos y otras prácticas culturales. La investigación avanza en el estudio de otros problemas de la caficultura y los resultados son llevados rápidamente a los productores.

Capítulo 3: La Roya en Colombia

3.1 Control de la roya en Colombia

En Colombia las variedades sembradas tradicionalmente desde años atrás son el Café Borbón, Café típica y Caturra, ya que son de excelente comportamiento agronómico pero

susceptibles al hongo causante de la roya; por eso ante la aparición de la enfermedad y aprovechando el recurso genético de la resistencia presente en el híbrido de Timor, cenicafe desarrolla una nueva variedad llamada Colombia en el año de 1982, la cual se entregó a los caficultores y el en año 2005 se fue mejorando genéticamente hasta la creación de una nueva variedad llamada Castillo. Sin embargo, en cuanto a la situación particular de la roya se establece que su incidencia es variable dependiendo de las condiciones climáticas de cada uno de los años, a mayor precipitación mayor incidencia. Aspecto notorio en los años 2007-2009, en los cuales la alta precipitación ocurrida, influyó para que la roya aumentara su incidencia en al menos 10%. (Buriticá, 2010).

Con el correr de los años los investigadores de la roya se sorprenden al ver la variabilidad que genética desarrollada por *Hemileia vastatrix B*; pues en los años últimos años se ha detectado un grupo racial bastante heterogéneo y con altos porcentajes de polimorfismo (Cristancho y Escobar, 2009), es decir la roya se adaptó y se está defendiendo de la selección de nuevos genotipos de cafeto resistentes. Por tanto, algunas líneas en la variedad Colombia han mostrado susceptibilidad a la roya, sin embargo, la dinámica del programa de mejoramiento ha permitido ir las cambiando, de tal manera, que los agricultores no tienen en riesgo su producción; es así como en el año 2005, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia mediante Resolución del Comité Directivo No. 03 de mayo del mismo año, entregó a los caficultores la variedad Castillo (Alvarado et al., 2005). La cual es una mezcla de las 39 progenies avanzadas (F5 y F6) de sobresaliente comportamiento a la roya, CBD y características agronómicas. La selección en distintas zonas productoras de cafeto de Colombia, ha permitido explotar la diversidad genética y adaptación con mayor especificidad a las regiones, la variedad Castillo se ha denominado entonces: Castillo, El Rosario (Venecia, Antioquia), Castillo Naranjal (Chinchiná, Caldas), Castillo Paraguaicito (Buenavista, Quindío), Castillo La Trinidad (Líbano, Tolima), Castillo Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar) y Castillo Santa Bárbara (Sasaima, Cundinamarca) (Alvarado et al., 2005).

3.2. Mejoramiento genético en el café para combatir la roya en Colombia

El género *Coffea* tiene como ventaja la posibilidad de obtener híbridos interespecíficos entre la mayoría de especies que lo conforman, lo cual sugiere que todas ellas comparten un mismo genoma de base, producto de un origen monofilético (Romero et al, 2010). El primer paso en la incorporación o “introgresión” de nuevos genes en la especie cultivada *Coffea Arábica*, es: Información ya que es la base para diseñar estrategias de utilización adecuadas, que permitan una introgresión exitosa de una o varias características de interés. En Colombia, se han realizado varios intentos de introgresión de genes mediante la producción de híbridos triploides, los cuales una vez logran regular su fertilidad, pueden ser incorporados en una estrategia de mejoramiento genético. Es así como a principios de 1970, la disciplina de Mejoramiento Genético de Cenicafé inició un programa de hibridación interespecífica entre las especies *Coffea Arabica* y *Coffea Canephora*, que dio como resultado un número importante de líneas, con excelentes características agronómicas y elevada resistencia a la roya. (Romero et-al 2010).

Dentro de las muchas especies diploides de interés potencial para el mejoramiento de *Coffea Arábica* están *Coffea Eugenioides* y *Coffea Liberica*. La primera posee elevada tolerancia a condiciones desfavorables de suelo y bajos contenidos de cafeína en el grano (0,2%), lo cual la hace interesante desde el punto de vista del mejoramiento de la calidad. La especie *Coffea Liberica*, por su parte, muestra un alto contenido de ácidos clorogénicos en sus granos, que juegan un papel importante en la producción de aromas en la bebida. Además de su reconocida resistencia a la roya, *Coffe Liberica* se caracteriza por poseer tolerancia a bajas temperaturas y un sistema radical vigoroso, que la hace tolerante al ataque de nematodos. Finalmente, los estudios recientes muestran que esta especie parece tener un efecto de antibiosis, en respuesta al ataque de la broca del café (*Hypothenemus Hampei Ferrari*), que se traduce en una reducción significativa en la oviposición del insecto en el grano. Dada su importancia y la potencial utilidad para el programa de mejoramiento genético del café. (Romero et-al 2010).

3.2.1. Variedad Colombia

La variedad Colombia, de la especie *Coffea Arábica*, es un cultivar compuesto por la mezcla de numerosas progenies seleccionadas por atributos agronómicos sobresalientes y buena calidad de la bebida, con amplia adaptación a las condiciones de la caficultura nacional, y además, con resistencia completa e incompleta a la roya del cafeto, *Hemileia vastatrix*. Fue entregada a los caficultores en 1980, tres años antes de la aparición de la roya en el país (castillo, 1987) Desde entonces, ha sido sembrada en cerca de 234.000 hectáreas que representan el 27% del área nacional cultivada (Federación nacional de cafeteros, 1997). La investigación relacionada con su mejoramiento ha continuado desde el momento mismo de su entrega a los caficultores, y durante ese proceso las pruebas de calidad de la bebida han jugado un papel determinante para la correcta elección de los componentes de la misma. Las progenies componentes de la variedad Colombia, junto con otros cultivares de *Coffea Arabica* de reconocida calidad en taza, como Típica, Caturra y Borbón, se han sometido a rigurosas evaluaciones por parte de paneles de catación nacionales e internacionales de reconocido prestigio (Moreno, 1997).



Figura 5. *Coffea Arábica* Variedad Colombia
Fuente: autor Finca Villa Marcela, Municipio del Líbano Tolima.

Durante los primeros años de su adopción, las objeciones sobre el comportamiento agronómico de la variedad Colombia fueron relativamente frecuentes. Para atender estos reclamos, los profesionales de la Disciplina de Mejoramiento Genético de Cenicafé y del Servicio de Extensión de la Federación de Cafeteros visitaron numerosas fincas localizadas en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca. Es así como la federación empieza a investigar los problemas tanto en campo, como en la industria cafetera para la creación de un nuevo híbrido que sea capaz de combatir la roya y que genera una mejor producción sin que se presenten problemas en campo y con los granos producidos.

Para obtener la variedad Colombia se utilizó la diversidad genética como estrategia principal para lograr un equilibrio entre hospedantes y patógenos que atenúe la magnitud de las epidemias. Las bases de esta estrategia fueron desarrolladas por Browning y sus colaboradores en el año de 1974, y han sido de particular importancia en el mejoramiento de plantas.

3.2.2. Variedad Caturra

Es una mutación originada de un gen dominante del café Borbón en el estado Minas Gerais en Brasil. Es una planta de porte bajo (1.5 a 2 m), tronco grueso y poco ramificado e inflexible. Posee entrenudos muy cortos en las ramas y en el tallo lo que lo hacen un alto productor. Sus hojas son grandes, de borde ondulado, anchas, redondeadas, gruesas y de color verde oscuro (Ver figura 6). Las hojas nuevas son de color verde claro. Es un arbusto de un aspecto general compacto y de mucho vigor. Las ramas laterales forman un ángulo bien cerrado con el tronco. Su sistema radical está bien desarrollado lo que le permite adaptarse a diferentes condiciones. Es una variedad muy precoz y de alta producción por lo que requiere un manejo adecuado. La calidad de la bebida es suave. (Monroig M.F. 2010 y Da Silva S.F; et al.2008).



Figura 6. *Coffea Arabica* Variedad Caturra
Fuente: autor Finca Villa Marcela, Municipio del Líbano Tolima.

Las condiciones ideales para el cultivo se encuentran entre los 1.200 y 1.800 metros sobre el nivel del mar. En Colombia, los cultivos del café se encuentran, en su gran mayoría, sobre las laderas de las tres cordilleras de los Andes (Oriental, Central y Occidental) y, en menor escala, en la Sierra Nevada de Santa Marta. Las zonas cafeteras colombianas están ubicadas en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Caquetá, Casanare, Cundinamarca, Guajira, Huila, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca. En estas regiones, se cuenta con el clima y las condiciones atmosféricas óptimas para el crecimiento de los cafetales. (Monroig, 2010).

3.3. Alternativas para el control y manejo de la roya.

Como se ha hablado en los capítulos anteriores a pesar de ser una buena opción el mejoramiento genético para el manejo de la enfermedad de la roya, esta no es una solución total para tal fin ya que el surgimiento de nuevas razas de la *Hemileia Vastatrix B*, ha hecho que cada vez la enfermedad tome mayor fuerza en los cultivos del café. Por tanto, se hace necesaria la implementación de otras alternativas que permitan el manejo total de la misma.

Una de las alternativas que se puede implementar en Colombia para el control de la enfermedad y que se está llevando a cabo en otros países como costa rica y Guatemala es que

se debe usar fungicidas pero teniendo en cuenta su uso en los momentos oportunos, con dosis óptimas y además haciendo la calibración correcta de los equipos de aplicación, además se puede realizar la cultura del manejo de la roya colombiana mediante podas, manejo de sombra, fertilización adecuada y oportuna y control de malezas.

Se recomienda que el manejo de la Roya del Cafeto sea integrado. Para ello se considera la protección con el uso de fungicidas sistémicos y de contacto, las prácticas culturales que se realizan en el manejo del cultivo de café, métodos biológicos y la resistencia genética. En el enfoque de la protección, el uso de fungicidas Protectantes y sistémicos los cuales ha funcionado muy bien en la agricultura guatemalteca. De los fungicidas de contacto, el cobre es recomendado y utilizado cuando la intensidad de Roya es baja (5 %) (Silva et al, 2003). Las dosis recomendadas oscilan entre 2,5 a 3,2 kg/ ha. De los fungicidas sistémicos, las estrobilurinas y triazoles han sido los más utilizados, principalmente durante las epidemias presentadas en los años 2010-2012. También, existen mezclas de fungicidas sistémicos en el mercado (Anacafe 2013). Las dosis variaron según el producto y la recomendación de la casa comercial. El número de aplicaciones, durante el brote epidémico fue variable, con agricultores que realizaron 7 o más aplicaciones durante el ciclo de cultivo. Los fungicidas sistémicos, en el programa de manejo de la Roya en época normal como 2013 y 2014, se emplearon realizando entre dos y tres aplicaciones. Se recomiendan al inicio de las lluvias en los meses de marzo y abril, aproximadamente 60 días después de la floración que coincide con el inicio de las lluvias, para reducir el inóculo primario y proteger el nuevo tejido foliar. Posteriormente, se puede realizar la aplicación de un fungicida de contacto. Una segunda aplicación de fungicida sistémico es recomendada en la segunda quincena del mes de julio o primera quincena del mes de agosto, cuando se presenta la canícula.

Es importante tener en cuenta que todas las alternativas que se puedan implementar en los cultivos se deben de hacer de manera controlada, en el momento adecuado y en las dosis

óptimas para evitar proliferación de otras enfermedades en el suelo, los microorganismos benéficos y el propio agricultor.

El autor de este documento también ha implementado una alternativa empírica pero muy eficiente en la práctica para el control de la roya en la variedad caturra en el municipio del Líbano y es la aplicación de una mezcla compuesta con Creolina, ceniza y miel de purga, la cual se aplica de manera foliar por aspersión a las plantas cuando presentan síntomas o ya hay presencia del hongo, notándose un control total del hongo ya que empieza a producir hojas, efecto brillante sobre las mismas, el cambio físico es total, además la productividad de las plantas se recupera, puesto que haber mayor follaje también hay producción de grano. Por tanto, es importante que se indaguen en este tipo de mezclas para así generar mayores posibilidades para el manejo de la enfermedad

3.3.1 Alternativas Biotecnológicas para combatir la roya

La caficultura colombiana ha estado trabajando con variedades resistentes a enfermedades, las cuales han sido desarrolladas bajo la disciplina del mejoramiento genético. Por otra parte, la biología molecular ha ido ganando importancia a nivel investigativo, con las diferentes técnicas de vanguardia donde no se deja nada al azar, en este se identifican segmentos de ADN, en el cromosoma y se rastrea la herencia del organismo; lo que permite identificar la secuencia responsable de diferente carácter o resistencia a una enfermedad en particular, generando un uso potencial en un organismo con susceptibilidad a una enfermedad determinada. (Franco J.L., 2008 citado por Álzate, 2014).

Teniendo en cuenta los programas de mejoramiento utilizados por cenicafe, es necesario implementar metodologías que atañen las diversas variabilidades de la especie, mediante la inclusión de nuevos genes y/o combinaciones de genes de resistencia en la variedad caturra diseñando líneas mejoradas con capacidad de aumentar y/o prolongar la durabilidad de la

resistencia a la roya. Por tanto, el híbrido de Timor F3 y F4 x arábicas permitirá generar nuevas variedades resistentes a la roya, mediante la implementación y utilización de la biotecnología.

3.4. Producción mundial de Café en los últimos años

De acuerdo con Cenicafe la producción mundial de café en el año cafetero 2015/16 aumentó 4% respecto al año inmediatamente anterior, alcanzando los 155,8 millones de sacos, nivel ligeramente superior al del consumo que alcanzó los 153,1 millones de sacos.

El aumento en los niveles mundiales de producción obedeció principalmente al crecimiento en la producción de café arábico soportada por la recuperación de algunos países centroamericanos como Guatemala, Nicaragua y Costa Rica que se habían afectado por la roya en 2014 y por el aumento del 23% en la producción de café arábico proveniente de Brasil. Así mismo, Colombia también registró un aumento en su producción superando los 14 millones de sacos para el periodo 2015/16 gracias a la entrada en producción de cafetales renovados con variedades resistentes y mayor densidad de siembra.

Tabla 1. Exportaciones mundiales de Café verde año cafetero 2014/ 2015- 2015/2016 millones de sacos de 60 Kg

Tipo de café	2014/15	2015/16	Participación 2015/2016	Variación % 2014/15 - 2015/16
Arábicas	68.8	71.8	62%	4%
Suaves colombianos	13.5	13.6	12%	1%
Colombia	12.3	12.3	11%	0%
Otros suaves	21.8	23.3	20%	7%
6 países ⁽¹⁾	14.0	13.9	12%	-1%
Brasil y otras arábicas	33.6	34.9	30%	4%
Brasil naturales y arábicas	28.4	29.6	25%	4%
Robustas	43.8	44.4	38%	1%
Vietnam	21.3	26.4	23%	24%
Brasil robustas	4.6	1.3	1%	-72%
Otros	17.9	16.7	14%	-7%
Total	113	116	100%	3%
Brasil total	36.5	34.6		-5%

Fuente: OIC año 2016.

Respecto al periodo 2016/17 se espera que la producción mundial de café alcance los 153,7 millones de sacos, de los cuales Brasil aportaría 53,5, Vietnam 26 y Colombia 14,5 millones de sacos. La disminución de la producción mundial se explica por una menor expectativa de producción de café robusta, afectada por sequias en la zona de Espiritu Santo en Brasil y en Vietnam.

3.4.1. Producción de café en Colombia

De acuerdo con los valores reportados por cenicafe en el 2016, la producción de café en Colombia se mantuvo sobre los 14 millones de sacos, la más alta de los últimos 20 años. Esto pese a los impactos del fenómeno del niño sobre la calidad del grano y la productividad durante el primer semestre y el represamiento causado por el paro de transportadores en el mes de julio.

Tabla 2 Balance Cafetero- Colombia 2012-2016 Millones de sacos de 60 Kg

Año	2012	2013	2014	2015	2016
1. Producción e Importaciones	8.9	11.5	12.5	14.4	14.5
Producción	7.7	10.9	12.1	14.2	14.2
Importaciones ⁽¹⁾	1.1	0.6	0.4	0.2	0.3
2. Expo y Consumo Int.	8.6	11.1	14.4	14.6	14.2
Exportaciones	7.2	9.7	12.7	12.8	12.7
Consumo interno	1.5	1.4	1.7	1.7	1.5
3. Balance	0.2	0.4	0.0	-0.1	-0.1
4. Inventario Total	0.8	1.2	1.2	1.4	1.4

Fuente: FNC y (1) DIAN - Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales

Por su parte, el valor de la cosecha cafetera en 2016 fue el más alto en los últimos 30 años en términos reales, al superar los \$7 billones, 14% más que en 2015. Esto gracias al comportamiento favorable del precio interno que este año promedió los \$830 mil/carga, como resultado de los mejores precios internacionales y sobre todo de la devaluación del peso colombiano, situación que contribuyó a compensar las pérdidas causadas por El Niño sobre la calidad del grano. Para 2017 se espera que la producción se acerque a los 14,5 millones de

sacos, cifra similar a la registrada en 2016, dadas las perspectivas de condiciones climáticas neutras y el mantenimiento del área en renovación.

Capítulo 4. Alternativas Biotecnológicas Para el control de la roya

4.1. Control Biológico.

El control biológico puede definirse como el uso de un organismo para suprimir las actividades y poblaciones de otro organismo y se ha utilizado para manejar insectos tipo plaga, patógenos y malas hierbas. Los mecanismos mediante el cual el agente de control biológico de un fitopatógeno lo afecta pueden ser directos, o indirectos. El control biológico de organismos tipo roya ha sido evaluado en muchos cultivos con buenos resultados y en el caso del cafeto se han usado microhongos y bacterias de la superficie de las hojas para el control de roya del cafeto (Ganley et al. 2008, Jackson et al. 2012, Podile y Kishore 2002, Vandermeer et al. 2009).

4.1.2 Control biológico clásico

Este tipo de control maneja el uso de un agente de control biológico que proviene del mismo sitio de origen y que ha coevolucionado con el organismo que se quiere controlar. En un principio la plaga y patógeno tienen enemigos naturales que han coevolucionado con ellos en sus sitios de origen y que los antagonizan directa o indirectamente, manteniendo las poblaciones de los mismos a un nivel controlado. Pero una vez que las plagas o patógenos se mueven o dispersan a otras regiones sin sus enemigos, estos alcanzan niveles elevados y fuera de control. La exploración de enemigos naturales de plagas y patógenos en sus sitios de origen ofrece la oportunidad de encontrar agentes de control biológico bastante específicos y relativamente seguros en otras áreas. Esta estrategia ha sido ampliamente utilizada y con bastante éxito para el control de plagas y patógenos de importancia agrícola con más de 2000 agentes de control biológico probados (Bale et al; 2008). En el caso de la roya un posible estudio de los enemigos

naturales de esta en otro continente como África podrían generar bastantes soluciones a este problema generado, introduciéndolos en las zonas cafeteras donde se quiere hacer el control.

4.1.3. Control biológico aumentativo

Este tipo de control implica la detección de enemigos naturales del organismo que se quiere controlar en lugares diferentes a su sitio de origen y al posterior aumento de los niveles del mismo en áreas seleccionadas para que los mismos supriman las actividades o población del organismo o plaga a ser controlado. En el caso del cafeto se ha evaluado esta estrategia para el control de la roya usando bacterias endofíticas y se han obtenido resultados prometedores en Brasil (Haddad et al; 2009). Por ejemplo, de la evaluación de siete aislamientos de bacterias bajo condiciones de campo y producción orgánica se identificaron una especie de *Bacillus* y otra de *pseudomonas* con potencial de reducir intensidad (% de hojas con síntomas) de roya y en el caso de *Bacillus* con resultados comparables a tratamientos con hidróxido de cobre (Haddad et al; 2009).

Otros estudios han mostrado hongos endofíticos patogénicos sobre la broca del cafeto y hongos micoparásitos con potencial de control biológico de la roya en regiones cafeteras distintas al sitio de origen de la *Hemelia vastatrix* siendo *L. lecanii* el más evaluado (Avelino y Rivas; 2013).

4.1.4 Control biológico mediante conservación

Este tipo de control es aquel que implica el manejo del ambiente para incrementar la sobrevivencia, capacidades fisiológicas y/o efectividad de unos agentes de control biológico sobre un organismo blanco en el área específico (Barbosa, 1998). En estudios recientes se ha encontrado que *L. lecanii* puede tener un efecto de control significativo sobre la roya, de una manera indirecta a través de interacciones complejas que involucran un mutualismo. De acuerdo con Jackson y sus colaboradores en el 2012 se reportó específicamente una correlación negativa entre *L. lecanii* y *H. vastatrix* con una distribución espacial de este efecto que indica más

producción de esporas de *L. lecanii* y por tanto su supresión de roya en áreas donde hay más presencia de mutualismo *A. instabilis*-*C. viridis*; con lo anterior los autores demostraron que una estrategia de control biológico por conservación del mutualismo tiene un efecto negativo sobre la roya.

4.2. Microbioma del café como fuente de agentes de control biológico

El microbioma de una planta puede ser definido como la totalidad de microorganismos que habitan en tejidos internos y externos de la misma. Estos microbiomas tienen un rol, cada vez más reconocido, en la salud y productividad de las plantas incluyendo micro- hongos y bacterias que van desde patógenos causantes de enfermedades hasta mutualistas que confieren beneficios a sus hospederos como tolerancia al estrés ambiental, captación de nutrientes y aumento de producción (Turner et al; 2013).

En el caso del café se han aislado hongos y bacterias endófitas a partir de hojas, frutos, raíces, y semillas en diferentes países de América, África y Asia, con el propósito de caracterizar su diversidad y estudiar su potencial para controlar plagas tales como la roya. En los trabajos realizados se han identificado hongos entomopatógenos, fungícolas, y nematodos patógenos, así como también del método de inoculación de los mismos (Belayneh, 2013; Gonzales, 2013). De acuerdo con lo anterior se puede decir que el microbioma del café es altamente diverso taxonómicamente, con cientos de especies de hongos y bacterias. De estos pocos han sido evaluados en su totalidad, haciéndose un buen potencial para encontrar un control total de la enfermedad.

5. Conclusiones

- En el presente trabajo se logró recopilar gran cantidad de información relacionada a la roya del café su manejo y control para una mejor producción del grano, fomentando un crecimiento agrario cafetero y por ende económico en el país.
- En Colombia la última epidemia severa causó pérdidas de hasta un 23% de la producción acumulada en 4 cosechas. El uso de fungicidas ha sido un método de control ampliamente utilizado, sin embargo, además de contaminar es una alternativa demasiado costosa teniendo en cuenta que los productores del grano son pequeños campesinos con máximo 3 hectáreas la mayoría de ellos.
- Las estrategias que se han desarrollado para mitigar la roya han sido entre muchas el mejoramiento genético y la fumigación con productos químicos los cuales son de gran importancia, pero adicional a ellos se requieren diversas alternativas, como. Podas, renovación por Zoqueo, aplicación de mezclas orgánicas e inoculación de hongos micorrizas que permitan un control total de la enfermedad.
- La estrategia del mejoramiento genético ha servido para mitigar un poco la enfermedad de la roya en el café, pero la aparición de nuevas razas ha hecho que esta sea ineficiente.

6. Recomendaciones

- En Colombia se deben implementar estrategias más eficientes a la hora de combatir la roya puesto que el uso desbordado de fungicidas y la creación de nuevas variedades de café han sido ineficientes para lograr un control total.
- Es importante tener en cuenta las alternativas que se vienen implementado en países centroamericanos como: Guatemala, México, el Salvador y Costa Rica los cuales han permitido un mayor control y una máxima productividad en el cultivo.
- Se debe considerar la alternativa que se está desarrollando en la finca del autor del documento como es la mezcla orgánica compuesta con creolina, ceniza y miel de purga; investigando más afondo como la mezcla interactúa con el hongo haciendo que este no infecte más las plantas del Café.
- Todos los programas de mejoramientos genéticos que se desarrollen en Colombia, deben apuntar a crear una variedad con la capacidad de resistencia al ataque del hongo, mediante le cruzamiento de C. canephora y C. Liberica con la condición de que se conserve las características propias como el sabor y aroma suave, las cuales identifican el café colombiano.

Bibliografía

- Alvarado, A., Moreno, R. (2005). Cambio de la virulencia de *Hemileia vastatrix* en progenies de Caturra x Híbrido de Timor. *Cenicafe* 56(2), 110- 126.
- Alvarado, G., H.e. Posada y H.A. Cortina. (2005). Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. *Avance Técnico* 337. *Cenicafé*. 8 p.
- Asociación nacional del café Anacafe. (2013). Guía sobre roya. Actualizado en febrero 28 del (2013).
- Avelino, J.; Rivas, G. (2013). La Roya anaranjada del Cafeto. Versión electrónica N1 del 03/12/13. 47p.
- Barbosa, P. (1998). *Conservation Biological Control*. 396pp. Academic Press. San Diego.
- Belayneh Mulaw.; et al. (2013). Novel endophytic *Trichoderma* spp. isolated from healthy *Coffea arabica* roots are capable of controlling coffee tracheomycosis. *Diversity*, 5: 750-66.
- Buriticá, P. (1993). Llegada a Colombia de enfermedades exóticas y movimiento a las distintas zonas productoras. *Ascolfi Informa* 19(3): 18.
- Buriticá, P. (2010). La roya del cafeto en Colombia: realizaciones de impacto nacional e internacional en el siglo xx. *Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Rev. Fac. Nac. Agron., Volumen 63, Número 1, p. 5285-5292, 2010.*
- Buriticá, P., M.I. Umaña y G. Cadena. (1977). Uso de desinfectantes para destruir esporas de royas (Uredinales). *Ascolfi Informa* 3(2): 2.
- Carvalho, A.; Eskes, A.B.; Castillo Z., J.; Sreenivasan, M.; Echeverri, J.; Fernández, C.; Fazuoli, L. Breeding programs In: Kushalappa., A.C.; Eskes., A.B. (Eds.). *Coffee rust: Epidemiology, resistance, and Managem*
- Castillo Z., J. Breeding for rust resistance in Colombia. In: Kushalappa., A.C.; Eskes., A.B. (Eds.). *Coffee rust: epidemiology, resistance and management*. Boca Raton, CRC Press, (1989). p. 307-316.
- Castillo Z., L.J.; MORENO R., L.G. (1987). La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto. Chinchiná. Centro Nacional de Investigaciones de Café. *Cenicafé*, 169p.

- Corrales D., et-al (2014). A new dataset for coffee rust detection in Colombian crops base on classifiers. Colombian crops base on classifiers. Revista S&T, 12(29), 9-23
- Cristancho A., M.; Escobar O., C.; Ocampo, J.D. (2007). Evolución de razas de *H. vastatrix* en Colombia. *Cenicafé* 58(4): 340-359
- Cristancho A., M.; Escobar O., C.; Ocampo, J.D. (2007). Evolución de razas de *H. vastatrix* en Colombia. *Cenicafé* 58(4): 340-359
- Cristancho, M. A., Rozo Y., Escobar C., Rivillas O.C.A, Gaitán BA. L, (2012). Razas de Roya, epidemias del 2008 al 2011. Pag 1-8.
- Da Silva S.F.; de Souza P.E., Pozza e.a., Miranda J.C., Carvalho E.A., Monteiro F. L.h, Alexandre P. A.a. (2008) Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do- cafeeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 43:783-791.
- Federación Nacional de Cafeteros. Sistema de Información Cafetera. Encuesta Nacional Cafetera. Informe Final. Santafé de Bogotá. Federacafé. (1997). 178 p.
- Ganley, RJ; Siezko, RA; Newcombe, G. 2008. Endophyte –mediated resistance against White pine blíster rust in *pinus monticola*. *For Ecol Manage* 255 :2751 -2760.
- Gil, L.F. (2003). Roya anaranjada *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. En: Enfermedades del cafeto en Colombia. CENICAFÉ, Chinchiná, Colombia. 224 p.
- González G.R. et-al. 2013. Ficha técnica roya del cafeto, *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome. Página 1-16.
- Gonzales, D; G.L; et al. (2013) caracterización morfológica y molecular de cepas nativas de hongos entomopatógenos. Panamá. Memoria 58 Reunión Anual de Pccmca (Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales). 139 p.
- Gouveia, M. M.; Ribeiro, A.; Várzea, V.M.P.; Rodríguez JR., C. J. (2005) Genetic Diversity in *Hemileia vastatrix* based on RAPD markers. *Mycologia* 97: 396–404.
- Gouveia, M. M.; Ribeiro, A.; Várzea, V.M.P.; Rodrigues JR., C. J. (2005) Genetic diversity in *Hemileia vastatrix* based on RAPD markers. *Mycologia* 97: 396–404.
- Haddad, F.; et al. (2013). Antifungal comounds as a mechanism to control *Hemileia vastatrix* by antagonistic bacteria. *Tropical Plant Pathology* 38(5) 398-405.
- Jackson, D.; Skillman, J.; Vandermeer, J. (2012). Indirect biological control of the colee leaf rust, *Hemileia vastatrix*, by the entomogenous fungus *Lecanicillium lecanii* in a complex colee agroecosystem. *Biol Control* 61: 89-97.
- James L. A. Webb, *Tropical pioneers: human agency and ecological change in the highlands of Sri Lanka, 1800-1900* (Athens: Ohio University Press, (2002).

- Monroig M.F. 2010 Ecos del café. Disponible en <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id4.htm>
- Moreno R., L.G.; Moreno G., E.; Cadena G., G. (1997). Características del grano y de la bebida de la variedad Colombia de, evaluada por paneles de diferentes países. *Revista Fitotecnia Colombiana* 1(1): 41-52. (1997).
- Paul, V. (1980). Biología y propagación de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br., patógeno de la roya del café. *Pflanzenschutz Nachrichten Bayer* 33(51): 97-107.
- Podile, A. R.; Kishore, G., K. (2002). Biological control of peanut diseases. In *Biological Control of Crop Diseases*. Ed. S.S. Gnanamanickam. pp131-160. Marcel Dekker, New York City
- Rayner RW, (1961). Germination and penetration studies on coffee rust *Hemileia vastatrix* B. & Br. *Annals of Applied Biology*. Pagina. 497-505
- Rivillas O., C.A.; Gil V., L.F.; Leguizamón C., J.E. (1999). Recomendaciones para el manejo de la roya del cafeto en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafe* 19:7-36. (1999).
- Rivillas, O.C., Serna, G.C. Cristancho, A.M. y Gaitán, B.A. (2011). La roya del Cafeto en Colombia (Impacto manejos y costos del control, resultados de investigación). Centro Nacional de Investigación del Café (Cenicafe) chinina, Cladas, Colombia. 53 pp.
- Rodríguez JR., C.J.; Bettencourt, A.J.; Rijo L. Races of the pathogen and resistance to coffee rust. *Annual Review Phytopathology* 14: 49–70. (1975).
- Romero J.V. et-al (2010). Caracterización citogenética y morfológica de híbridos interespecíficos entre *C. arabica* y las especies diploides *C. liberica* y *C. eugenioides*. Páginas 206-221.
- Rowe, J. (1963). *The World's Coffee: a Study of the Economics and Politics of the Coffee Industries of Certain Countries and of the International Problem* (London: H.M. Stationery Office, (1963), 12.
- Silva A., R.; Zambolim, L.; Pérez, E. (1997). Identificación de razas fisiológicas de la roya del cafeto en el estado Táchira, Venezuela. *BioAgro* 9:95-98.
- Silva A., R.; Zambolim, L.; Pérez, E. (1997). Identificación de razas fisiológicas de la roya del cafeto en el estado Táchira, Venezuela. *BioAgro* 9:95-98.
- Silva A., R.; Zambolim, L.; Pérez, E. Identificación de razas fisiológicas de la roya del cafeto en el estado Táchira, Venezuela. *BioAgro* 9:95-98. (1997).
- Silva Acuña, R.; Zambolim, L.; Alvarez Venegas, V.H. (2003). Control strategies for coffee leaf rust applying protective and systemic fungicides in Patrocínio, Minas Gerais, Brasil; Estrategias de control de la roya del cafeto con la aplicación de fungicida

- protector y sistémico en patrocínio, Minas Gerais, Brasil. *Agronomía Tropical* (Venezuela)v. 53(4) p. 457-481
- Silva Acuña, R.; Zambolim, L.; Alvarez Venegas, V.H. (2003). Control strategies for coffee leaf rust applying protective and systemic fungicides in Patrocínio, Minas Gerais, Brasil; Estrategias de control de la roya del cafeto con la aplicación de fungicida protector y sistémico en patrocínio, Minas Gerais, Brasil. *Agronomía Tropical* (Venezuela)v. 53(4) p. 457-481
- Subero, L. (2005). INFOCAFES (Información del café). La roya del cafeto. <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/136.pdf>
- Subero, L. (2005). Infocafes (Información del café). La roya del cafeto. <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/136.pdf>
- Turner, T.R.; James, E.K.; Poole, P.S. (2013). "e plant microbiome. *Genome Biology*. 14(209). doi: 10.1186/gb-2013-14-6-209.
- Vandermeer, J.; Perfecto, I.; Liere, H. (2009). Evidence for hyperparasitism of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) by the entomogenous fungus, *Lecanicillium lecanii*, through a complex ecological web. *Plant Pathology* (58), 636-641.
- Villarreyna, R. (2014). 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. Tesis de posgrado en Sistemas Agrícolas Sostenibles. Turrialba, Costa Rica.
- Villarreyna, R. (2014). 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. Tesis de posgrado en Sistemas Agrícolas Sostenibles. Turrialba, Costa Rica.
- Wellman, F.L. (1972). *Tropical American plant disease*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Scarecrow Press, Metuchen, N.J. USA. 989 p.
- Zambolim, L.; Zambolim, E.M; Várzea, V.M.P. (2005). *Durable resistance to coffee leaf rust*. Viosa, Universidade Federal de Viçosa, 450 p.