

**EFICIENCIA DE CONTROL DE LA ROYA DEL CAFETO
(*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) CON TRIAZOLES Y
ESTROBILURINAS EN EL ROSARIO DE NARAJÓ
COSTA RICA**

GEOVANNY CORDERO MÉNDEZ

Proyecto presentado a la Escuela de Agronomía
como requisito parcial para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS**

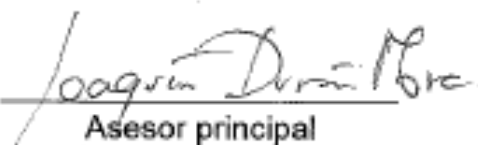
2017

**EFICIENCIA DE CONTROL DE LA ROYA DEL CAFETO
(*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) CON TRIAZOLES Y
ESTROBILURINAS EN EL ROSARIO DE NARANJO
COSTA RICA**

GEOVANNY CORDERO MÉNDEZ

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

Ing. Agr. Joaquín Durán Mora, M. Sc.


Asesor principal

Ing. Agr. Sergio Torres Portuguez, M. Sc.


Jurado

Ing. Agr. Carlos Muñoz Ruiz, Ph.D.


Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA.


Coordinador
Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Luis Alberto Camero Rey, M. Sc.


Director
Escuela de Agronomía

2017

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo General	3
1.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Generalidades del cultivo del café	4
2.1.1. Origen e historia del cultivo de café	4
2.1.2. Taxonomía y morfología del café.....	4
2.1.3. Emergencia del año 2013 del café ante la Roya	5
2.2. Roya del café (<i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Br.)	6
2.2.1. Organismo causal.....	6
2.2.2. Historia de la Roya del cafeto	7
2.2.3. Síntomas.....	7
2.2.4. Proceso de infección.....	7
2.2.5. Epidemiología	8
2.3. Manejo Integrado de la Roya	8
2.3.1. Control Agronómico y Cultural	8
2.3.2. Control químico.....	9
2.3.2.1. Fungicidas por modo de acción	12
2.3.2.2. Fungicidas por su acción	13
2.3.2.3. Grupos de fungicidas	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Ubicación del estudio	¡Error! Marcador no definido.
3.2. Periodo de estudio	16
3.3. Descripción de la unidad de estudio	17
3.4. Tratamientos	17
PC= Producto Comercial.....	18
3.5. Procedimiento de aplicación	18
3.6. Número de repeticiones y grados de libertad del error	18
3.7. Distribución del diseño de tratamientos	18
3.8. Tipo de investigación y diseño	19

3.9. Variables de respuesta	19
3.9.1. Incidencia de Roya (<i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Br.).....	19
3.9.2. Costos.....	20
3.9.3. Rendimiento de producción	21
3.9.4. Determinación del mejor tratamiento	21
3.10. Plan de análisis de datos	21
3.10.1. Plan de análisis exploratorio y pruebas de supuestos	21
3.10.2. Pruebas a priori y a posteriori	21
3.10.3. Nivel de confianza deseado	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. Incidencia de Roya.....	22
4.2. Rendimiento de producción	25
4.3. Análisis Costo-Beneficio de los tratamientos	26
5. CONCLUSIONES.....	29
6. RECOMENDACIONES	31
7. BIBLIOGRAFÍA	32
8. ANEXOS	35

TABLA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Taxonomía del café.	5
2	Taxonomía de la Roya del cafeto	6
3	Descripción de los tratamientos aplicados en el estudio sobre el control de Roya del café en Naranjo, Alajuela. Costa Rica. 2016.	18
4	Grados de libertad del error en el estudio sobre el control de Roya del café en Naranjo, Alajuela. Costa Rica. 2016.	18
5	Rendimiento promedio de producción a los 110 días después de aplicación de los tratamiento en comparación con el porcentaje de incidencia de Roya (%IR). Naranjo, Costa Rica. 2016.	25
6	Costos por tratamiento para control de Roya en Café por aplicación y anual. Naranjo, Alajuela. Costa Rica. 2016.	27

TABLA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Figura 1. Resultado de estudios realizados en 2013 donde se incluyen fungicidas cuyo ingrediente activo son mezclas.	11
2	Estructura química de A) Epoxiconazol y B) Ciproconazol (University of Hertfordshire, S.F.).	14
3	Estructura química de A) Azoxystrobina, B) Pyraclostrobina y C) Trifloxystrobina (University of Hertfordshire, S.F.).	15
4	Promedios mensuales de temperatura y precipitación en el cantón de Naranjo, Alajuela, Costa Rica.	16
5	Croquis del área experimental en Diseño Bloques Completos al Azar en el estudio sobre el control de Roya del café en Naranjo, Alajuela. Costa Rica. 2016.	19
6	Curvas de Porcentaje de Incidencia de Roya por tratamientos con respecto a cada muestreo. Naranjo, Alajuela. Costa Rica. 2016.	22

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el uso de las mezclas de triazoles con estrobilurinas para el control de la Roya del Cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) se realizó un estudio en la localidad del Rosario de Naranjo, en la provincia de Alajuela, Costa Rica. En agosto del 2016 se estableció un tratamiento Testigo absoluto sin aplicación y se realizó una única aplicación con tres tratamientos correspondientes a productos comerciales (PC) fungicidas, los cuales fueron PC A (trifloxistrobina+ciproconazol a 600 ml/ha), PC B (piraclostrobina+epoxiconazol a 800 ml/ha) y una mezcla de PC C (triadimenol a 500 ml/ha) + PC D (trifloxistrobina+tebuconazol a 100 g/ha). Se realizaron ocho evaluaciones con un intervalo de quince días midiendo el porcentaje de incidencia de Roya y se determinó el tiempo en que los tratamientos se mantuvieron por debajo del umbral del 15% de incidencia de la enfermedad, donde el PC B presentó una eficacia biológica de 75 días antes de sobrepasar el umbral, mientras que el PC A sobrepasó este umbral a los 60 días y en el caso del PC C+ PC D la duración fue de 45 días. En cuanto a los costos por aplicación el tratamiento más barato fue el PC C+ PC D con 26.026 colones/ha, mientras que los tratamientos correspondientes a PC A y PC B presentaron costos por aplicación de 31.676 y 34.476 colones/ha respectivamente. Sin embargo, al tomar en cuenta el número de días de efectividad y el costo diario por tratamiento, el tratamiento del PC B es el de mayor eficiencia con un costo de 459,68 colones/ha/día, mientras que el costo en el PC B fue de 527,93 colones/ha/día y la mezcla del PC C+ PC D fue de 578,36 colones/ha/día. En cuanto a producción el tratamiento del PC C+ PC D fue el que obtuvo mayor peso con 3,54 kg/planta, siendo este un 12, 4% superior que el peso del tratamiento con el PC B (3,15 kg/planta), un 30,4% mayor que el tratamiento del PC A (2,94 kg/planta) y un 71% en comparación con el tratamiento Testigo sin aplicación (2,07 kg/planta).

ABSTRACT

A study was carried out in the town of Rosario de Naranjo, in the province of Alajuela, Costa Rica, in order to evaluate the use of the mixtures of triazoles with strobilurins for the control of the Roya del Cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). In August 2016, an absolute control treatment with no application was established and a single application with three treatments corresponding to commercial fungicidal products (PC), PC A (trifloxystrobin+cyproconazole at 600 ml/ha), PC B (pyraclostrobin+Epoxiconazole at 800 ml/ha) and a mixture of PC C (triadimenol at 500 ml/ha) + PC D (trifloxystrobin+tebuconazole at 100 g/ha). Eight evaluations were performed with a 15-day interval measuring the percentage of Roya incidence and the time at which the treatments were kept below the threshold of 15% of disease incidence, where PC B showed a biological efficacy of 75 days before exceeding the threshold, while PC A exceeded this threshold at 60 days and in the case of PC C +PC D the duration was 45 days. Regarding the costs per application, the cheapest treatment was PC C + PC D with 26.026 colones/ha, while treatments corresponding to PC A and PC B presented costs per application of 31.676 and 34.476 colones/ha respectively.

However, when taking into account the number of days of effectiveness and the daily cost per treatment, the treatment of PC B is the most efficient with a cost of 459,68 colones/ha/day, while the cost in the PC B was 527,93 colones/ha/day and the PC C +PC D mixture was 578,36 colones/ha/day. In terms of production, the treatment of PC C +PC D was the one that obtained the highest weight with 3,54 kg/plant, being this one 12,4% higher than the weight of the treatment with PC B (3,15 kg/plant), 30,4% higher than PC A treatment (2,94 kg/plant) and 71% compared to the control treatment without application (2,07 kg/plant).

1. INTRODUCCIÓN

La enfermedad de la Roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), es un hongo basidiomycete del orden de los Uredinales y familia Puccinaceae que se encuentra presente prácticamente en todos los países productores de este grano a nivel mundial (Alvarado y Rojas 2011). Esta enfermedad fue detectada en Costa Rica en diciembre del año 1983, desde entonces los porcentajes de incidencia a nivel nacional se habían podido mantener bajo un control aceptable, sin embargo, a partir de las condiciones climáticas que se presentaron en el invierno del año 2012 se provocó un incremento anormal de la incidencia de la misma a nivel nacional (ICAFE, MAG, SFE 2013).

Condiciones climáticas donde se mezclaban días de lluvias con días de calor, altas producciones, una deficiente fertilización o poco aprovechada por el cultivo a falta de humedad en el suelo, sistemas deficientes de poda, excesos de sombra, cafetales muy viejos, deficiencia en los tiempos y metodologías de aplicación de los controles químicos, así como la utilización de productos no eficaces, son algunos de los motivos que explican el crecimiento excesivo en la incidencia de la Roya del café (Rivillas *et al.* 2011).

En 2013, según datos aportados por el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE) para los meses de enero y febrero, un total de 60.441 hectáreas se encontraban afectadas de Roya, de las cuales 15.903 hectáreas fueron afectadas de un modo severo. Considerando que en total el país presenta 93.774 hectáreas destinadas al cultivo del café, se puede concluir que alrededor de un 65% del territorio nacional presentaba algún tipo de afectación por este hongo¹. Para el caso de la zona del Valle Occidental, se expresa que un 100% de los cafetales que se encuentran en la misma, presentan algún tipo de afectación (ICAFE, MAG, SFE 2013).

Existen variedades que son resistentes a la enfermedad de la Roya del café, algunas de estas son híbridos como por ejemplo los Catimores, Sarchimores, Cavimores, CR-95, etc., mientras que variedades como el Caturra y el catuaí son susceptibles a la Roya del café (Sotomayor y Duicela 1995).

¹La Nación. 2013. Artículo publicado el martes 26 de marzo del 2013. Roya tiene en vilo a cafetaleros, pese a promesas de ayuda. Página 22A.

En el Valle Occidental, por características de calidad y propias del cultivo, la mayoría de las plantaciones presentes corresponden a variedades Caturra y Catuaí Rojo y Amarillo, siendo más predominante entre los Catuaí, el rojo (ICAFE, MAG, SFE 2013).

Para el control de esta enfermedad es necesario integrar manejo tanto cultural y agronómico, como químico. En este último tipo de manejo se han utilizado varios grupos de fungicidas a lo largo de la historia. En un inicio se utilizaron los fungicidas a base de cobre, los cuales eran únicamente protectores y no penetraban al interior de la hoja. Con mejoras en la tecnología del control de esta enfermedad, se introdujeron los fungicidas con acción sistémica, los cuales pueden penetrar al interior de la hoja y tienen la capacidad curativa del hongo en ciertas fases de su desarrollo (Arauz 1998).

Uno de los grupos de fungicidas que representaron una nueva opción para el control de enfermedades en la producción agrícola, han sido las estrobilurinas, un producto aislado a partir del hongo *Strobilurus tenecellus*, que posee propiedades preventivas, curativas y de contacto (Fernández e Hidalgo 2000). Estos son fungicidas con acción mesostémica (acción traslaminar, pero con poco o nulo movimiento en el sistema vascular de la planta) y tienen efecto sobre la esporulación de la Roya, por lo que se consideran erradicantes (Rivillas *et al.* 2011).

A raíz de la situación presentada en el año 2013 y cimentados en diversos estudios y las experiencias de los productores con los fungicidas a base de mezclas de estrobilurinas con trazoles, se formó un gran auge comercial de estos productos, siendo en el Valle Occidental de Costa Rica los más utilizados el Esfera® 26,75 EC (ciproconazole y trifloxistrobina), Opera® 18,3 SE (epoxiconazole y pyraclostrobina) y la mezcla de los fungicidas Caporal® 25 DC (triadimenol) con Nativo® 75 WG (tebuconazole y trifloxistrobina).

Comercialmente estas tres opciones presentan diferencias en los costos, y actualmente se debe profundizar más en la información de las diferencias que estos tres controles puedan presentar en su eficiencia, principalmente en el tiempo de acción de control de cada una de ellas en el cultivo.

En el presente trabajo se plantearon objetivos que contribuyeron a la determinación de la mejor opción de control de esta enfermedad.

1.1. Objetivo General

- Determinar la eficiencia biológica del uso de fungicidas del grupo de los triazoles con estrobilurinas sobre el control de la Roya del caféto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en la variedad Catuaí Rojo en Naranjo, en el Valle Occidental de Costa Rica.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar la eficacia biológica de control de fungicidas con ingrediente activo de estrobilurinas mezcladas con triazoles sobre la Roya del caféto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en la variedad Catuaí Rojo.
- Determinar el Intervalo de aplicaciones mediante una curva de la incidencia de la Roya del caféto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) por tratamiento en la variedad Catuaí Rojo.
- Determinar la relación costo beneficio por tratamiento para el control de la Roya del caféto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en la variedad Catuaí Rojo.

1.3. Hipótesis

Productos que contienen estrobilurinas combinadas con triazoles controlan de manera similar la enfermedad de la Roya del caféto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del cultivo del café

2.1.1. Origen e historia del cultivo de café

El café arábico se originó en las tierras altas de Etiopía y Sudán, en África. Entre los años 575 y 890, los persas y árabes se encargaron de llevarlo a Arabia y Yemen, mientras que nativos africanos lo llevaron a países como Mozambique y Madagascar. De ahí los holandeses y portugueses lo distribuyeron por varias regiones de Asia y África entre los años 1600 y 1700. Alrededor del año 1727 fue trasladado a América, entrando primeramente a Brasil y luego extendiéndose a gran cantidad de países en territorio americano (Alvarado y Rojas 2011).

A Costa Rica se cree que ingresó entre los años 1796 y 1798, sin embargo, las primeras evidencias de plantaciones de café en este país se remontan al año 1816, cuando en el testamento del presbítero Félix Valverde, se declara entre sus bienes un sembrado de café. En 1820 se realiza la primera exportación de este grano hacia Panamá, la cual fue únicamente de 46 kg. En el año 1832, se empezó a exportar a Chile donde se reembarcaban a Londres cantidades entre 500 y 1.000 sacos de 69 kg anuales. De ese momento en adelante fue un cultivo que fue tomando mayor auge e importancia en la economía y desarrollo del país (Alvarado y Rojas 2011).

2.1.2. Taxonomía y morfología del café

La descripción taxonómica de la planta de café de la variedad Catuaí Rojo, se detalla en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Taxonomía del café.

Clasificación taxonómica	
Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Clase	Dycitiledoneae
Subclase	Asteridae
Orden	Rubiales
Familia	Rubiaceae
Género	Coffea
Especie	<i>Arabica</i>
Nombre científico	<i>C. arabica</i> var. <i>Catuaí rojo</i>

Fuente: Alvarado y Rojas 2011.

El café es una planta de tipo arbusto o árbol, es también hermafrodita. Presenta hojas opuestas o verticiladas, a veces con domacios (estructuras que albergan otros organismos), estípulas interpeciolares, triangulares, generalmente persistentes. Flores en glomérulos o fascículos axilares y sésiles, bracteadas. Fruto drupáceo, elipsoide, carnoso, normalmente rojo, amarillo o morado (IICA 2004).

La planta de café en todas sus variedades presenta un solo eje en cuyo extremo hay una zona de crecimiento activo, donde se van formando las ramas plagiotrópicas, nudos y entrenudos. En las ramas ortotrópicas o eje vertical, solo se producen yemas vegetativas. Las ramas laterales o plagiotrópicas (bandolas) son ramas primarias que desarrollan a su vez ramas secundarias, en estas (primarias y secundarias) es donde se concentra la producción de los frutos. Las axilas florales solo producen una vez, por esta razón la producción se concentra en las ramas inferiores y las ramas nuevas del ápice. Así, la producción anual se incrementa en los primeros tres o cinco años, tendiendo luego a disminuir, por lo que es de suma importancia la práctica de poda (IICA 2004).

2.1.3. Emergencia del año 2013 del café ante la Roya

En el segundo semestre del año 2012 se observó un aumento inusual de la incidencia y severidad de la Roya del cafeto en todas las zonas cafetaleras de Costa Rica, al igual que ocurrió en otras zonas cafetaleras de la región Centroamericana, el Caribe, México y Perú. En gran parte este fenómeno se

atribuyó a la variación climática que ha favoreció el desarrollo acelerado del patógeno en el ámbito regional (ICAFE, MAG, SFE 2013).

Además de los efectos de la Roya en los cafetales, el sector cafetalero costarricense debió lidiar con la caída de los precios internacionales del producto durante el 2012. En la Bolsa Mercantil de Nueva York, el principal mercado de referencia, las cotizaciones bajaron un 43%, en síntesis, pasaron de un punto máximo de \$234,90 por quintal (46kg), el 11 de enero del 2012, a un mínimo de \$133,50 por la misma unidad (quintal) el 18 de diciembre del mismo año².

A nivel centroamericano, la epidemia de Roya provocó pérdidas por alrededor de 550 millones de dólares para la cosecha 2012-2013, según un informe de la Organización Internacional de Café (OIC). Se calcula también, que el hongo provocó un daño para la cosecha 2012-2013 de alrededor de un 20% del total de la producción de café en Centroamérica³.

2.2. Roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.)

2.2.1. Organismo causal

El organismo causal de la Roya es el hongo *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. Este hongo pertenece a la familia de los uredinales, la cual es una familia especializada en parasitar células vegetales vivas, siendo éste un parásito obligado, que no puede sobrevivir en el suelo ni en material inerte (Rivillas *et al.* 2011). La descripción taxonómica del organismo causal de la Roya del café, se detalla en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Taxonomía de la Roya del cafeto

Clasificación Taxonómica	
Reino	Fungi
División	Eumycota
Subdivisión	Basidiomycotina
Clase	Teliomycetes
Orden	Uredinales
Familia	Pucciniaceae
Género	Hemileia
Especie	<i>vastatrix</i>
Nombre científico	<i>H. vastatrix</i> Berk. & Br.

Fuente: Bertrand y Rapidel 1999.

El micelio del hongo se encuentra totalmente dentro del mesófilo de la hoja y consiste en hifas hialinas en abundancia, las cuales crecen entre las células del mesófilo y penetran en ellas mediante ramificaciones cortas y filiformes, que constituyen los haustorios. En las variedades más susceptibles de café, el micelio tiende a atravesar el tejido de empalizada, y hasta puede enviar haustorios a las células de la epidermis superior, mientras que en variedades resistentes, el micelio queda confinado al parénquima esponjoso de la hoja (IICA 1977).

2.2.2. Historia de la Roya del cafeto

La Roya del cafeto se observó por primera vez en café silvestre cerca del Lago Victoria en África Oriental. Posteriormente se encontró en Sri Lanka en 1869 donde causó graves pérdidas de cultivo, y en enero de 1970, causó gran consternación al haber sido encontrado en Brasil (Thurston 1989).

En América Central, la Roya del café apareció por primera vez en Nicaragua en el año 1976, y para el año 1983 ya se había extendido por todo Centroamérica e incluso hasta México (Hilje y Saunders 2008). En este mismo año fue cuando se reportó oficialmente su presencia en Costa Rica (McCook 2009).

2.2.3. Síntomas

En los momentos que el hongo se desarrolla en la plantación, aparecen una gran cantidad de pústulas en la cara inferior de las hojas, con manchas de color amarillo pálido, que posteriormente forman un polvo anaranjado correspondiente a las uredósporas del hongo. La infección provoca una alta defoliación de la planta, que en ocasiones puede comprender la totalidad de las hojas de la planta, debilitándola y reduciendo la producción en forma considerable y a veces completamente (Alvarado y Rojas 2011).

2.2.4. Proceso de infección

Las esporas de la Roya se forman en uno o más tubos germinativos, estos crecen y se ramifican en la superficie de las hojas hasta encontrar un estoma por donde ingresar al interior de las mismas, ya que son incapaces de penetrar directamente a través de la epidermis. En ese momento el hongo forma un apresorio y la hifa penetra dentro de la cámara subestomática, colonizando

intercelularmente el tejido esponjoso de la hoja. Posteriormente crece un esterigma (hifa recta) donde las esporas nacen y en la superficie se incrusta una masa de esporas, formando una pústula característica de color anaranjado brillante (Pinochet 1987).

2.2.5. Epidemiología

Las esporas de Roya requieren la presencia de agua para poder germinar, si esta está presente, la germinación se puede dar en un tiempo de cinco horas desde que la espora llegó a la superficie de la hoja. Además del agua, se requieren temperaturas entre los 18 °C y los 25 °C. Una exposición directa a la luz del sol inhibe la germinación de las esporas. La lluvia es un factor esencial para el progreso de la epidemia de Roya, debido a la necesidad del agua para la germinación de las esporas, lo que nos indica también que en condiciones de sequía no ocurren nuevas infecciones. La diseminación va a depender de factores como el viento, insectos, material vegetativo y el hombre (Pinochet 1987).

2.3. Manejo Integrado de la Roya

2.3.1. Control Agronómico y Cultural

Al realizar un control cultural, se pretende evitar que las condiciones para el desarrollo del hongo se vean favorecidas. Según la Guía Técnica para el Cultivo de Café (ICAFE 2011), para lograr este fin se recomienda:

- Establecer distancias de siembras adecuadas según la variedad y región cafetalera.
- Podar las plantas agotadas o enfermas.
- Deshijar dos veces al año, dejando dos ejes por punto de siembra.
- Hacer un control eficiente de malezas.
- Hacer uno o dos arreglos de sombra por año, manteniendo alrededor de 40% de sombrío.
- Realizar una buena fertilización de acuerdo con los resultados de análisis de suelos.

Es de gran importancia comprender que el manejo eficiente de cualquier enfermedad no debe estar restringido únicamente al uso de plaguicidas, sino que también, va a ser el resultado de las acciones que se hayan dado desde el aspecto agronómico y cultural, haciendo que los plaguicidas sean tan solo, un complemento de un manejo eficiente en el control.

2.3.2. Control químico

El control químico se ha hecho indispensable para el manejo de la Roya del café, existiendo un sinnúmero de productos comerciales en el mercado que ofrecen al productor diferentes alternativas para el combate de esta enfermedad. En Costa Rica antes del 2013, el control químico se había estado dando con dos tipos de fungicidas principalmente. El primero consistía en fungicidas a base de cobre, los cuales poseen una acción protectora y de contacto ante la enfermedad. En segundo plano, predominaba la utilización y recomendación de algunos fungicidas con ingredientes activos del grupo de los Triazoles, entre los principales se mencionan el Atemi® 10 SL (Cyproconazole), Duett® 25 SC (Epoiconazole+Carbendazim) y Caporal® 25 DC (Triadimenol) (ICAFE 2011).

Sin embargo, se ha evidenciado que el uso de los fungicidas cúpricos en algunos casos no es efectivo para el control de la enfermedad, principalmente cuando hay una infección inicial alta o cuando ya la enfermedad ha entrado al interior de las hojas. Un ejemplo de esto lo menciona el Anacafe (2013), que en estudios realizados en Guatemala, demostró que los fungicidas preventivos oxiclورو de cobre y Caldo Bordelés no controlan la Roya, y que al final del tiempo de evaluaciones, el comportamiento de la enfermedad con estos controles, fue similar al tratamiento testigo sin aplicación.

Por otra parte, los fungicidas sistémicos del grupo de los Triazoles, han demostrado un importante efecto sobre la Roya del cafeto y consecuentemente sobre la producción cuando se aplican sobre el follaje, con su acción preventiva y curativa. Estos fungicidas controlan al hongo en la etapa de germinación y también cuando este ha colonizado las hojas pero aún no ha iniciado su esporulación, por lo que la aplicación de estos fungicidas en etapas más avanzadas del proceso infectivo (después de la esporulación) no ejercen ningún

tipo de control. Anteriormente era el grupo de fungicidas más utilizados para el control de Roya del cafeto en el mundo (Rivillas *et al.* 2011).

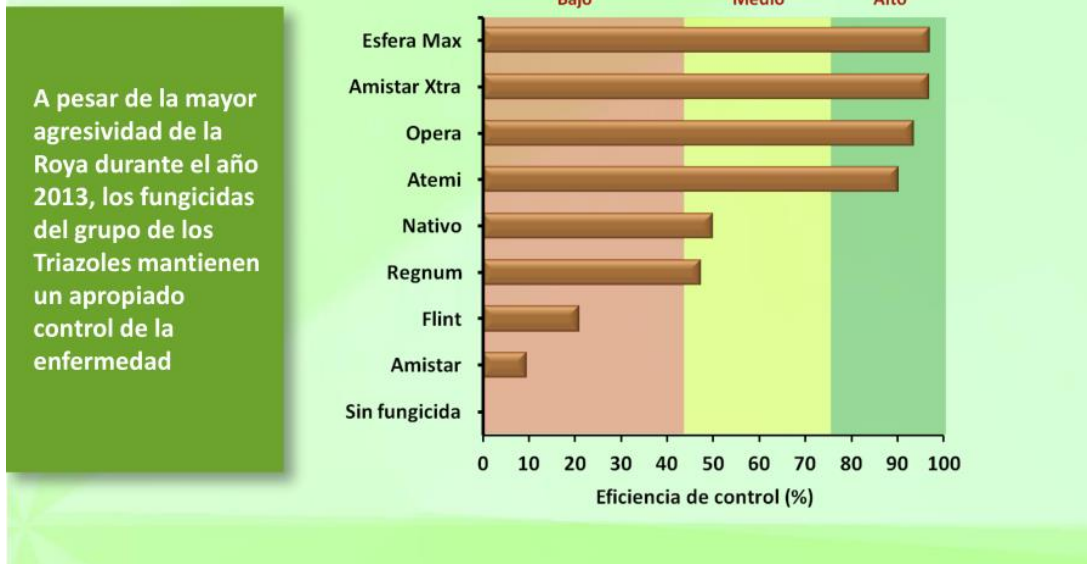
Con las innovaciones en las formulaciones y productos fungicidas, así como en sus ingredientes activos, se han logrado buenos resultados con unas sustancias fungicidas encontradas originalmente en el hongo *Strobilurus tenacellus*, conocidas como Estrobilurinas, las cuales presentan efecto sobre la germinación, penetración y esporulación del patógeno. También se han desarrollado productos en mezcla entre Triazoles y Estrobilurinas permitiendo tener un amplio manejo sobre todas las etapas de desarrollo del patógeno (Croplife 2011).

Se han realizado estudios con Estrobilurinas para el control de enfermedades en otros cultivos, como por ejemplo la enfermedad conocida como Roya de la soya, ocasionada por el hongo *Phakopsora pachyrhizi*, el cual, al igual que la Roya del cafeto, pertenece al orden de los uredinales. En estos estudios el control más efectivo se dio en la mezcla de Triazol con Estrobilurina al ser comparadas con un Triazol utilizado sólo (Garcés y Forcelini 2011).

En Costa Rica, el Instituto del Café (ICAFFE) es el ente encargado del desarrollo del sector cafetalero. Esta institución a raíz de estudios realizados en el invierno de 2013 (Figura 1), empieza a conocer y comprobar en campo las buenas características de las mezclas de triazoles con estrobilurinas, y a partir del 2014 se comienza a recomendar estas mezclas en los boletines de dicha institución.

EFICACIA BIOLÓGICA DE FUNGICIDAS

Evaluaciones bajo condiciones de campo



Fuente: Barquero 2014

Figura 1. Resultado de estudios realizados en 2013 donde se incluyen fungicidas cuyo ingrediente activo son mezclas.

En la Figura 1 se observa como productos como el Esfera Max, Opera[®] y Amistar Xtra que son mezclas de triazol con estrobilurinas tienen un control superior al Atemi[®], el cual es un triazol, que para ese momento era el más utilizado por los productores de la región.

Con publicaciones como la mostrada anteriormente y la insistencia por parte de los técnicos de distintas instituciones tanto del estado como privadas, se empezaron a utilizar los productos que representaban una mezcla de triazol con estrobilurina, siendo los más comunes los productos Esfera[®] 26,75 EC (ciproconazole y trifloxistrobina), Opera[®] 18,3 SE (epoxiconazole y pyraclostrobina) y más recientemente, la mezcla de los fungicidas Caporal[®] 25 DC (triadimenol) con Nativo[®] 75 WG (tebuconazole y trifloxistrobina).

En consultas directas realizadas a los productores, se cree que estos controles a pesar de ser mezclas muy similares, difieren en los modos de acción

y principalmente en el tiempo que perduran en la planta realizando su función, pero no se han realizado pruebas específicas para determinar qué tan ciertas son estas afirmaciones, más que todo en el Valle Occidental de Costa Rica.

2.3.2.1. Fungicidas por modo de acción

Fungicidas de contacto

Afectan las estructuras del patógeno en la superficie de la planta actuando en sus fases de germinación y penetración. Es de gran importancia mantener una capa apropiada del fungicida en follaje, tanto en el haz como en el envés de las hojas. Su acción será efectiva mientras persistan en la hoja y mientras no sean lavados por la lluvia, lo que obliga a su uso en aplicaciones frecuentes (International Potato Center 2003).

Fungicidas sistémicos

Estos fueron introducidos en la década de los 70's a las producciones agropecuarias. Tienen la capacidad de entrar a la planta y moverse translaminariamente del haz al envés o viceversa, y luego, del punto donde cayeron, hacia la parte superior de la planta, o sea, con un movimiento acropétalo. Esta característica les permite combatir las estructuras fungosas que se encuentran en el interior de los tejidos de la planta y que van formando la infección. En comparación con los fungicidas de contacto, estos no requieren una aplicación constante y uniforme (ALAP 1999).

Los fungicidas sistémicos pueden ser más benéficos que los protectores, sobre todo cuando se estima erróneamente el tiempo de acción en la planta o no se realiza adecuadamente el programa de protección química (Eyal *et al.* 1987).

Fungicidas mesostémicos

Este tipo de fungicidas presenta una gran afinidad con la superficie vegetal, por lo que las capas cerosas de las plantas pueden absorberlo. Posee una característica de redistribución sobre los tejidos cuticulares gracias al movimiento superficial de la fase gaseosa, y su posterior redeposición. Penetra en el interior de los tejidos vegetales, tiene acción translaminar, pero tiene poco o nulo movimiento dentro del sistema vascular de la planta (Bayer s. f.).

2.3.2.2. Fungicidas por su acción

Fungicidas protectores

Es necesario que los fungicidas de contacto se encuentren presentes en las áreas vulnerables a la infección antes de que llegue el patógeno, ya que su función es inhibir la germinación de las esporas, evitando la formación del tubo germinativo e impidiendo así la penetración del patógeno a la hoja. Si una espora logra germinar y penetrar a la planta, la infección se puede desarrollar, aunque posteriormente sea aplicado un fungicida protector, ya que este tiene una acción estrictamente superficial (INIAP 1993).

Fungicidas curativos o terapéuticos

Los fungicidas curativos penetran en los tejidos vegetales, atacan la infección e impiden el desarrollo de los micelios del hongo dentro de los mismos (Fernández e Hidalgo 2000). Este tipo de fungicida se utiliza cuando ya hay una enfermedad establecida en los tejidos vegetales.

Para que un fungicida sea curativo, debe necesariamente ser sistémico. Es de ahí donde nace el utilizar los términos sistémico y curativo como sinónimos, aunque se refieran a fenómenos diferentes (Arauz 1998).

Fungicidas erradicantes

Son fungicidas que pueden no eliminar el patógeno presente dentro del tejido, pero tienen la capacidad de destruir las estructuras presentes en la superficie de la planta. Sin embargo, no es una acción excluyente, ya que un fungicida erradicante también puede actuar en forma curativa o protectora (Arauz 1998).

2.3.2.3. Grupos de fungicidas

Triazoles

Los Triazoles inhiben la síntesis de ergosterol sobre la enzima Citocromo P-450 mono-oxigenasa, que actúa en el grupo metil del lanosterol, afectando la síntesis de la membrana celular y el crecimiento del hongo (Viera 2002). Los triazoles inhiben la síntesis de ergosterol mediante un proceso llamado desmetilación, por ello, los fungicidas triazoles se conocen como inhibidores de desmetilación (Rivillas *et al.* 2011).

Este grupo de fungicidas tiene capacidad curativa y protectora, además de ser sistémicos. Se aplican mediante aspersiones foliares y para el tratamiento de semillas y suelos (Viera 2002). Dentro de este grupo está el Ciproconazol, Triadimefón, Hexaconazol, Propiconazol, Epoxiconazol, entre otros. Tienen la ventaja de que no son removidos por las lluvias y son mejores controladores de la enfermedad según el nivel inicial de ésta (Rivillas *et al.* 2011).

Las diferencias que se encuentran entre las distintas moléculas pertenecientes a los triazoles, son principalmente en su composición y estructura química, estando siempre presente como base el anillo triazol característico de este grupo. Por citar ejemplos, la diferencia entre las moléculas de Epoxiconazol y Ciproconazol se da en su estructura química (Figura 2) lo que influye directamente en su masa molecular, en donde el Epoxiconazol tiene una masa molecular de 329,76g/mol, mientras que el Ciproconazol tiene una masa molecular de 291,78g/mol haciéndolo una molécula más pequeña (University of Hertfordshire, s. f.)

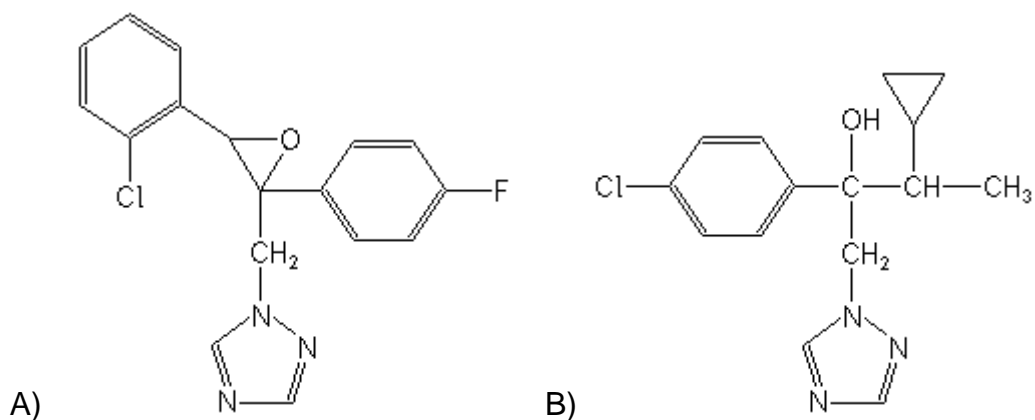


Figura 2. Estructura química de A) Epoxiconazol y B) Ciproconazol (University of Hertfordshire, S.F.).

Esta diferencia de peso influye en las cantidades de ingrediente activo que son necesarias para poder combatir alguna enfermedad en específico, además que también relaciona la velocidad con que la molécula entra a la planta. Sin embargo, se menciona que estas diferencias se dan de forma más importante a nivel de laboratorio y que a nivel de campo, utilizando las dosis recomendadas

de cada producto no se encuentran diferencias significativas en su eficiencia biológica, ya que el modo de acción entre los diferentes triazoles es el mismo.

Estrobilurinas

Son sustancias relativamente nuevas en el mercado, encontradas inicialmente en el hongo *Strobilurus tenacellus*. Este grupo tiene un movimiento mesostémico en la hoja, actuando en la región del mesófilo foliar. Se puede decir que tienen acción de profundidad o movimiento traslaminar. Desarrolla su acción en las mitocondrias, donde inhibe el transporte de electrones de la cadena respiratoria, concretamente en la posición de complejo citocromo bc-1. Entre los fungicidas de este grupo se tiene el azoxystrobin, el pyraclostrobin y la trifloxystrobina, teniendo las tres el mismo modo de acción (Rivillas *et al.* 2011)

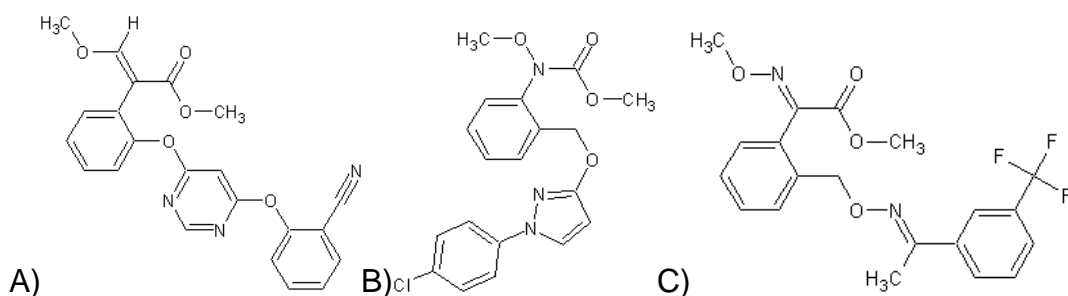


Figura 3. Estructura química de A) Azoxystrobin, B) Pyraclostrobin y C) Trifloxystrobin (University of Hertfordshire, S.F.).

Al igual que en el caso de los triazoles, las diferencias que se encuentran entre las diferentes estrobilurinas son principalmente a nivel molecular. En estas moléculas se mencionan masas moleculares de 403,4g/mol para la azoxistrobina, 387g/mol para la piraclostrobin y 408,37g/mol para la trifloxistrobina (University of Hertfordshire, s. f.).

Estas diferencias pueden afectar en la velocidad de ingreso de las sustancias a la planta, la residualidad, etc. En el caso de las moléculas pertenecientes a este grupo, según antiguas experiencias se ha encontrado que la piraclostrobin es la que tiene un efecto más residual en la planta.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en la finca La Espiga, ubicada en el Valle Occidental de Costa Rica, específicamente en el distrito de El Rosario de Naranjo, Alajuela. La finca se dedica a la producción cafetalera, y comprende alrededor de 170 hectáreas dedicadas a dicha actividad. El ensayo estuvo ubicado a una altura de 835 msnm, con una temperatura promedio de 22 °C. Se eligió esta finca ya que se encuentra en una zona que cuenta con condiciones muy propicias para el desarrollo de la enfermedad. Esto se puede observar más detalladamente en la Figura 4.

month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
mm	7	3	6	45	287	308	239	340	397	410	163	40
°C	21.1	21.5	22.2	22.7	22.4	22.0	22.0	21.8	21.6	21.4	21.2	21.0
°C (min)	15.8	15.9	16.4	17.2	17.4	17.4	17.6	17.1	16.9	16.8	16.7	16.0
°C (max)	26.4	27.2	28.1	28.3	27.5	26.6	26.5	26.6	26.4	26.0	25.7	26.0
°F	70.0	70.7	72.0	72.9	72.3	71.6	71.6	71.2	70.9	70.5	70.2	69.8
°F (min)	60.4	60.6	61.5	63.0	63.3	63.3	63.7	62.8	62.4	62.2	62.1	60.8
°F (max)	79.5	81.0	82.6	82.9	81.5	79.9	79.7	79.9	79.5	78.8	78.3	78.8

Fuente: climate-data.org

Figura 4. Promedios mensuales de temperatura y precipitación en el cantón de Naranjo, Alajuela, Costa Rica.

Con temperatura en abril promedio de 22,7 ° C como el mes más cálido y como el mes más frío del año con un promedio de 21.0 °C diciembre. Hay una diferencia de 407 mm de precipitación entre los meses más secos y los más húmedos. Las temperaturas medias varían durante el año en un 1.7 °C.

3.2. Periodo de estudio

El estudio se llevó a cabo entre los meses de agosto a diciembre del 2016. Durante este lapso, se realizó la labor de campo con una aplicación de los tratamientos y se recolectaron los datos en el área experimental asignada cada 15 días.

3.3. Descripción de la unidad de estudio

Las parcelas fueron ubicadas en el lote denominado “7 Manzanas” de la finca La Espiga. Este lote posee una sombra que es suministrada por árboles de Eucalipto (*Eucalyptus* spp.). La plantación de café se encuentra establecida en distancias de 0,9 m entre plantas y 1,9 m entre calles. El rendimiento promedio de producción de la finca es de 40 fanegas por hectárea. La topografía del área de estudio es plana con gradiente en un solo sentido norte-sur y el tipo de suelo presente es Andisol.

Se utilizaron parcelas que comprendían tres calles (hilera de plantas de café) de ancho con nueve plantas de longitud, esto tomando en cuenta las calles y plantas que funcionaron como bordes. El tamaño de la parcela fue de 46m², para una parcela efectiva de 10m² al quitar los bordes, ya que sólo se tomó en cuenta la calle que está en el centro de cada parcela para hacer los muestreos. Los bordes no se muestrearon debido a que el producto se aplica por atomización, y puede haber una cierta deriva de los mismos, por lo que se toman las previsiones del caso al eliminarlos.

Las plantas sobre las que se realizó el estudio, son plantas que no presentan resistencia alguna ante la Roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). Estas plantas corresponden a la variedad Catuaí Rojo, las cuales se encontraban en el cuarto año después de poda.

3.4. Tratamientos

Se estableció un tratamiento testigo (sin aplicación), y tres tratamientos comerciales en los cuales se utilizaron fungicidas sintéticos con las dosis comerciales utilizadas en la finca.

Se utilizaron productos formulados comercialmente, dos que contienen estrobilurinas en combinaciones con algunos triazoles, y una mezcla de un producto que contiene triazol con uno que posee una mezcla de estrobilurina y triazol. Todos los productos comerciales se aplicaron el 7 de agosto del 2016, momento en el que se realizó el primer muestreo. El detalle de los tratamientos y su descripción se puede apreciar en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos aplicados en el estudio sobre el control de Roya del café en Naranjo, Alajuela. Costa Rica. 2016.

Tratamiento	Descripción	Ingredientes Activos	Dosis
1	Testigo	-	-
2	PC A	Trifloxistrobin+ Cyproconazol	600ml/ha
3	PC B	Pyraclostrobin+ Epoconazol	800ml/ha
4	PC C+ PC D	Triadimenol+ Tebuconazol+ Trifloxistrobin	500ml/ha+ 100g/ha

PC= Producto Comercial

3.5. Procedimiento de aplicación

La aplicación de los productos se realizó por aspersion con una bomba de espalda de motor Maruyama A230, con una boquilla de cono hueco. La aplicación se realizó de las seis a las ocho de la mañana y no hubo precipitación presente durante la misma.

3.6. Número de repeticiones y grados de libertad del error

Cada uno de los tratamientos contó con cinco repeticiones, una por cada bloque. Los grados de libertad del error se detallan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Grados de libertad del error en el estudio sobre el control de Roya del café en Naranjo, Alajuela. Costa Rica. 2016.

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	19
Fungicida	3
Bloque	4
Error Experimental	12

3.7. Distribución del diseño de tratamientos

Las parcelas fueron distribuidas mediante un diseño de Bloques Completos al Azar, con cinco repeticiones. Se eligió este diseño debido a que las condiciones de la plantación son muy uniformes en cuanto a edad, sombra y estado general de la misma. Sin embargo, el terreno presentaba una gradiente de un 10% que podía influir en el material experimental.

La distribución de los tratamientos en el área experimental se detalla en la Figura 5.

	P 1	P2	P3	P4	
Bloque 5	T1	T4	T2	T3	N ↑
Bloque 4	T4	T3	T2	T1	
Bloque 3	T1	T4	T3	T2	
Bloque 2	T3	T2	T1	T4	
Bloque 1	T2	T3	T4	T1	

Figura 5. Croquis del área experimental en Diseño Bloques Completos al Azar en el estudio sobre el control de Roya del café en Naranjo, Alajuela. Costa Rica. 2016.

3.8. Tipo de investigación y diseño

La investigación es de tipo experimental y paramétrica.

El diseño que se utilizó fue el de Bloques Completos al Azar, dado que en el terreno había una pendiente en una sola dirección que podía provocar algunas diferencias en el tipo de suelo principalmente.

Este diseño posee el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, 2, 3, \dots, t_j = 1, 2, 3, \dots, r$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento i.

β_j = Efecto del bloque j.

ε_{ij} = Error aleatorio, donde $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

i = tratamiento 1, 2, 3, ...

tj = bloque 1, 2, 3, ..., r

3.9. Variables de respuesta

3.9.1. Incidencia de Roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.)

El procedimiento aplicado fue el indicado por el Instituto del Café de Costa Rica actualmente para el muestreo de incidencia de Roya.

Se seleccionaron diez puntos al azar por parcela, se tomó una bandola del estrato medio en cada punto y se contó el total de hojas (HT) que esta poseía, posteriormente se contaron las hojas que presentan roya (HR) en etapa de esporulación. Por último, con los totales por parcela, se hizo la siguiente operación matemática que sirvió para calcular la incidencia:

$$(HR/HT) \times 100 = \% \text{ de incidencia}$$

Esta evaluación se hizo de forma visual y se contó como hoja con roya (HR) a la hoja que presentara la enfermedad en la etapa de esporulación. Desde el primer muestreo, se marcaron las bandolas muestreadas, ya que sobre estas se dio el seguimiento a lo largo de los próximos muestreos.

Las evaluaciones iniciaron con el primer muestreo que coincidió con la aplicación de los tratamientos, y posteriormente, cada 15 días después de la aplicación.

En total se realizaron ocho de las diez observaciones planteadas, ya que no se realizaron las últimas dos debido a que por error de los aplicadores de la finca, se hizo una aplicación de fungicida en el área de estudio después del octavo muestreo, por lo que si se tomaban datos ya no serían fidedignos a la hora de analizar en el presente trabajo.

El número de hojas muestreadas dependió del desarrollo vegetativo de la planta. La evaluación se llevó a cabo en la zona de nuevo crecimiento de las bandolas, esta zona de la bandola fue identificada desde la primera evaluación y se contaron las hojas que se encontraban desde este punto, hasta los extremos de la misma.

3.9.2. Costos

Para el estudio de esta variable, se utilizaron los datos de los costos que implicó la aplicación de cada tratamiento. Para este rubro se tomó en cuenta en cada tratamiento, los productos fungicidas, la mano de obra correspondiente a la aplicación, el uso y mantenimiento del equipo de aplicación y algún otro insumo que fue necesario para la aplicación.

3.9.3. Rendimiento de producción

Se cosecharon cinco plantas de cada parcela para calcular el rendimiento por planta. Para este rubro se tomó en cuenta una única cosecha en la cual se cosechó la totalidad de grano presente en la planta.

3.9.4. Determinación del mejor tratamiento

Al haber obtenido los costos por hectárea de los tratamientos y su eficacia biológica se procedió a realizar un análisis de relación costo beneficio de los tratamientos para determinar cuál es el más rentable.

3.10. Plan de análisis de datos

3.10.1. Plan de análisis exploratorio y pruebas de supuestos

Los datos obtenidos se analizaron mediante el programa estadístico Infostat, además, se construyeron gráficos. Se utilizó la técnica de Modelos Lineales Generales y Mixtos (MLMix), con corrección de heterocedasticidad en caso de ser necesario, con el objetivo de buscar si existían diferencias significativas entre tratamientos.

3.10.2. Pruebas a priori y a posteriori

Al encontrarse diferencias se utilizó la Prueba de Bonferroni para determinar las diferencias entre tratamientos. Esta prueba se aplicó a las variables de incidencia de Roya y rendimiento de producción.

3.10.3. Nivel de confianza deseado

Se trabajó con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Incidencia de Roya

Previo a la aplicación, en el primer muestreo, sin haber efecto del fungicida, las diferencias fueron no significativas estadísticamente (p -valor: $<0,0001$) (Anexo 1) en cuanto al porcentaje de incidencia de Roya (% IR), por lo que se contó con condiciones similares iniciales de las parcelas en estudio. Según la condición presentada por las plantas al momento de la aplicación de los tratamientos, la incidencia presente fue valorada por encima de un 20 % IR; según indicaciones del Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE 2011) cuando el porcentaje de incidencia de la enfermedad ha sobrepasado un 15% es necesario realizar una aplicación con fungicidas sistémicos.

En la Figura 6 se muestra el desarrollo de la enfermedad a lo largo del tiempo para cada uno de los tratamientos.

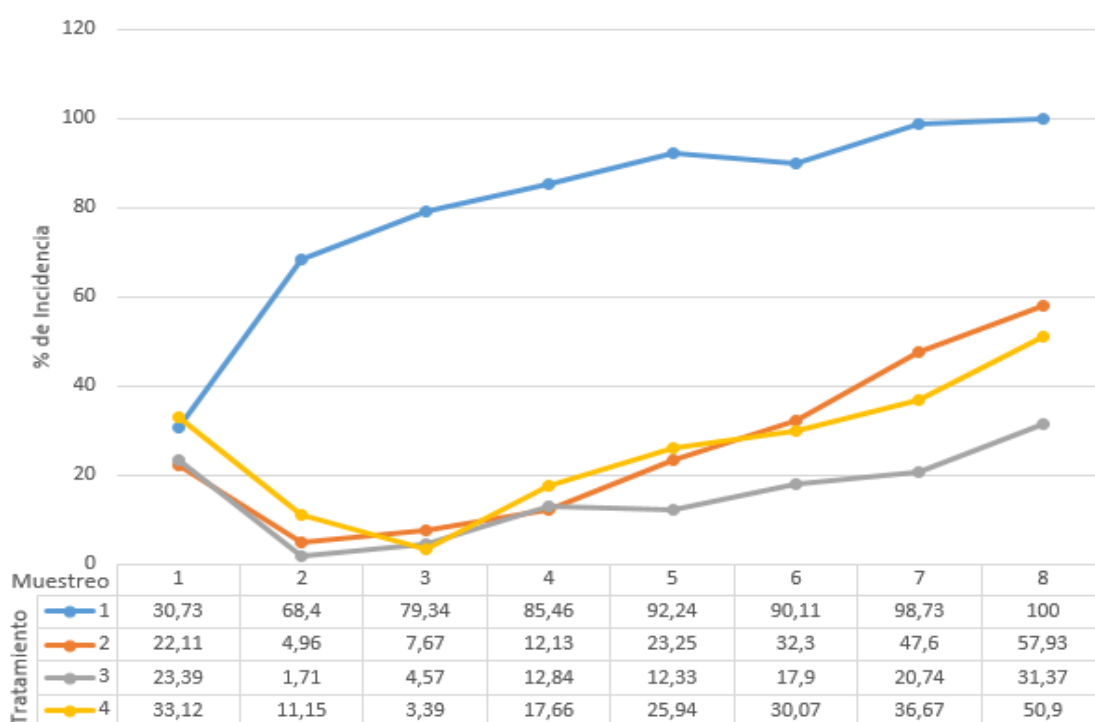


Figura 6. Curvas de Porcentaje de Incidencia de Roya por tratamientos con respecto a cada muestreo. Naranjo, Alajuela. Costa Rica. 2016.

Utilizando como umbral el 15% IR, se consideró una presencia importante de la enfermedad y lo necesaria que era la aplicación de un control químico sistémico en el área de estudio en ese momento. Quince días después de la aplicación (dda) de los tratamientos en las parcelas, se observó un efecto positivo con las mezclas de triazoles y estrobilurinas, en el caso de la trifloxistrobina+ cyproconazol (aportada por el Producto Comercial A a 600 ml/ha (T2)) y la piraclostrobina+ epoxiconazol (Producto Comercial B a 800 ml/ha (T3)) existió una reducción del %IR a menos de un 5%, y con un resultado de alrededor de un 11%IR se mantuvo la mezcla de triadimenol+ tebuconazol+ trifloxistrobina (mezcla de Producto Comercial C 500 ml/ha+Producto Comercial D a 100 g/ha (T4)).

Fernández e Hidalgo (2000) indican que este efecto positivo demuestra una acción curativa de los productos utilizados, ya que ejercieron un control en un cultivo donde ya la enfermedad se encontraba establecida, atacando las estructuras de los micelios del hongo dentro de los tejidos vegetales. Según Bayer (S.F.), Rivillas *et al.* (2011) y Viera (2002), existe una acción sistémica de los triazoles en conjunto con la mesostémica de las estrobilurinas, lo cual contribuyó para que la aplicación mostrara efectos positivos, ya que a pesar de que realizar aplicaciones en época lluviosa, la planta puede absorber estos compuestos con la ventaja de que no son removidos por la lluvia, tal como indica ALAP (1999).

El control de Roya con los fungicidas utilizados en este estudio, se da por la acción conjunta del triazol y las estrobilurinas; según Viera (2002) el triazol actúa provocando la inhibición de la síntesis de ergosterol sobre la enzima Citocromo P-450 mono-oxigenasa, en el grupo metil del lanosterol, afectando la síntesis de la membrana celular y el crecimiento del hongo; y por otro lado Rivillas *et al.* (2011) menciona que las estrobilurinas, afectan la respiración celular del hongo, al desarrollar su acción en las mitocondrias, donde inhiben el transporte de electrones de la cadena respiratoria, concretamente en la posición de complejo citocromo bc-1.

En las plantas correspondientes al Testigo sin aplicación de fungicida (T1) transcurridos 15 dda se muestra un incremento de un 30,73% a un 68,4% en la

incidencia de la enfermedad, demostrando así lo acelerado que puede ser el crecimiento de la enfermedad en las condiciones presentes en este estudio. Pinochet (1987) explica que al haber presencia de la enfermedad y mezclarse con condiciones propicias de humedad alta por condiciones propias del invierno (muestreos del mes de agosto) y temperaturas entre 18 °C y 25 °C (promedio en la finca de 22 °C), se da un ambiente idóneo para la germinación de esporas, las cuales en periodos de cinco horas pueden estar germinando bajo estas condiciones.

En el tercer muestreo (30 dda), se observa que se presentó poca variación en el % IR en los tratamientos, estadísticamente no hay diferencias significativas entre los que mostraron un efecto positivo en el control entre los muestreos realizados entre los 15 dda y 30 dda (p-valor: <0,0001) (Anexo 1); sin embargo mediante el uso de la mezcla de triadimenol+ tebuconazol+ trifloxistrobin hubo una disminución de la incidencia de Roya (a 3.39% IR).

A los 45 dda se da un repunte de la enfermedad en las plantas de los tratamientos que habían mostrado un efecto positivo ante el porcentaje de incidencia de Roya. Esto sucede ya que a pesar de que se cuenta con fungicidas erradicantes, los cuales Arauz (1998) define como fungicidas con capacidad de destruir las estructuras del hongo presentes en la superficie de la planta eliminando la esporulación, más estos pueden no controlar el patógeno presente dentro del tejido, y aunque sean curativos si las condiciones son propicias para el desarrollo de la enfermedad se puede presentar una reactivación de la misma.

En este muestreo se determinó que el tratamiento con la mezcla de triadimenol+ tebuconazol+ trifloxistrobin (T4) tuvo una efectividad en el tiempo de control de 45 días, ya que en ese periodo se sobrepasó el umbral del 15%IR indicado para realizar una aplicación de fungicida sistémico, mientras que los tratamientos con trifloxistrobina+cyproconazol (T2) y piraclostrobina+epoxiconazol (T3) se consideran con más efectividad en el tiempo de control ya que todavía se encontraban por debajo de ese umbral.

Sin embargo a los 60 dda (muestreo 5) en el área tratada con trifloxistrobina+cyproconazol (T2) se observó que la incidencia de Roya sobrepasó el 15%, por lo que se dedujo que la efectividad en el tiempo de control

de este tratamiento es de 60 días. Después de este tiempo es necesaria la aplicación de un fungicida sistémico para el control del % IR.

Tomando en cuenta el tratamiento Testigo (T1) se forma una curva de crecimiento de la enfermedad casi constante, llegando a los 60 dda (muestreo 5) por encima del 90% IR. Este efecto se debe a que si no se hacen controles efectivos con fungicidas, Alvarado y Rojas (2011) advierten que puede existir una pérdida casi total del follaje y por tanto un daño severo a la plantación, debilitándola y reduciendo la producción considerablemente.

El tratamiento con piraclostrobina+epoxiconazol (T3) fue el que demostró poseer un mayor periodo de control de la incidencia de la Roya, con 75 días de efectividad, superando hasta por 30 días al tratamiento de triadimenol+tebuconazo+trifloxistrobina (T4) y 15 días al tratamiento que poseía trifloxistrobina+cyproconazol (T2). Aparte se observa que el crecimiento de la incidencia de Roya en este tratamiento es mucho más lento que en los otros dos tratamientos con aplicación de fungicida que se muestran en el presente trabajo.

Lo comentado en el párrafo anterior se puede apreciar de una mejor forma a los 90 y 105 dda, donde el porcentaje de incidencia de Roya llega a sobrepasar un 50% de hojas con presencia de esporulación a los 105 dda en casi todos los tratamientos, a excepción del tratamiento con piraclostrobina+epoxiconazol (T3) que para entonces mostró un 31,37% IR.

4.2. Rendimiento de producción

Es interesante detallar como entre mayor es el % IR del muestreo número ocho de incidencia, es menor el rendimiento de producción (Cuadro 5).

Cuadro 5. Rendimiento promedio de producción a los 110 días después de aplicación de los tratamiento en comparación con el porcentaje de incidencia de Roya (%IR) presente a los 105 días después de aplicación. Naranjo, Alajuela. Costa Rica. 2016.

Tratamiento	%IR 105 dda	Rendimiento (Kg/planta)
1	100 A	2,07 C
2	57,93 B	2,94 B
3	31,37 C	3,15 A
4	50,9 C	3,54 A

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

En el cuadro número 5 se muestra el resultado del análisis de peso de las muestras recolectadas a los 110 dda, este resultado señala al tratamiento Testigo (T1) como el de menor producción (2,07 kg/planta), siendo significativamente diferente a los tratamientos con aplicación de fungicida (p-valor: >0,05) (Anexo 2). El tratamiento que presentó los mejores rendimientos fue triadimenol+ tebuconazol+ trifloxistrobin (T4), con 3,54 kg/planta. Este tratamiento presentó un incremento en la producción de 71%, 20,4% y 12,4% al compararlo con los tratamientos Testigo, T2 y T3, respectivamente.

Estadísticamente no hay diferencias significativas entre los rendimientos de las parcelas tratadas con piraclostrobina+epoxiconzol (T3) y triadimenol+ tebuconazol+ trifloxistrobin (T4) (Anexo 2), y en cuanto a incidencia no hay diferencias significativas entre estos mismos tratamientos al momento del muestreo a los 105 dda (Anexo 1). En el caso del tratamiento con piraclostrobina+epoxiconazol (T2), presentó estadísticamente diferencias significativas respecto a los otros dos tratamientos con fungicida, con una producción menor, pero en comparación con el tratamiento Testigo (T1) presentó mayor producción con diferencias significativas (Anexo 2).

Lo anteriormente descrito, Sinha (2004) lo explica atribuyendo a que la producción de azúcares se da por medio de la fotosíntesis en las partes verdes de la planta, principalmente en las hojas, y al existir una enfermedad que afecte su correcto funcionamiento, o peor aún, una defoliación en la planta, se ve afectado el rendimiento de la producción, ya que el llenado de los frutos se realiza pobremente y sin la cantidad de nutrientes necesarios.

4.3. Análisis Costo-Beneficio de los tratamientos

En el cuadro 6 se observa el costo de cada uno de los tratamientos para el control del porcentaje de incidencia de Roya, tomando en cuenta los productos químicos, la mano de obra y el uso de los equipos para cada caso.

Cuadro 6. Costos por tratamiento para control de Roya en Café por aplicación y anual. Naranjo, Alajuela. Costa Rica. 2016.

Tratamiento	Costo por hectárea (¢)				Cantidad de días de eficacia	Costo diario/ha
	Producto	Mano de obra	Equipos (Uso y mantenimiento)	Total por aplicación		
1 Testigo sin aplicación	-	-	-	-	-	-
2 PC A	20.400	9.500	1.776	31.676	60	527,93
3 PC B	23.200	9.500	1.776	34.476	75	459,68
4 PC C+ PC D	14.750	9.500	1.776	26.026	45	578,36

PC=Producto Comercial

El Cuadro 6 es de gran relevancia al presentar un panorama de las aplicaciones tomando en cuenta el número de días que va a ser controlada la enfermedad en cada tratamiento, ya que si se toma el costo por aplicación en un determinado momento del año, se optaría por el tratamiento 4 ya que es el que presenta menor costo, dejando de segunda opción el tratamiento 2 y por último el tratamiento 3. Sin embargo, al analizar el número de días de control de la enfermedad que aporta cada tratamiento, se puede determinar que el tratamiento 3 es el más eficiente en cuanto a mantener el porcentaje de incidencia de Roya por debajo del 15%, ya que el costo diario sería de 459,68 colones/ha, mientras que en los tratamientos 2 y 4, serían de 527,93 y 578,36 colones/ha/día respectivamente, dejando al tratamiento 4 como el menos eficiente.

A pesar de que el costo de los insumos es menor en el tratamiento 4, se debe tomar en cuenta de que uno de los rubros más significativos en las producciones agrícolas es la mano de obra, y que el hecho de poder aumentar el número de días de control y reducir el número de aplicaciones lleva a beneficios como una menor cantidad de trabajadores necesarios para realizar las labores de la finca, así como un mejor aprovechamiento del tiempo en otras actividades de la explotación cafetalera.

Otro aspecto a valorar son las diferencias que se presentaron en cuanto a producción entre los tratamientos, ya que el aumento en producción en el tratamiento 4 es superior en un 12,4% en comparación con el tratamiento 3, y 20,4% en comparación con el tratamiento 2. Si se valora el aporte económico que este aumento significa para la finca el tratamiento 4 sería el más eficiente en el aspecto económico aunque presente menos días en cuanto a control de la enfermedad.

5. CONCLUSIONES

En cuanto al control sobre la Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en la variedad Catuaí Rojo bajo las condiciones expresadas en el presente trabajo, se pueden detallar las siguientes conclusiones:

- El uso de estrobilurinas mezcladas con triazoles, demostraron un efecto positivo de eficacia biológica en el control de Roya del cafeto.
- La mezcla de piraclostrobina+epoxiconazol aportada por el Producto Comercial B a 800ml/ha presentó la mayor eficacia biológica, con 75 días antes de ser necesaria una nueva aplicación con fungicida sistémico. El tratamiento con trifloxistrobina+ciproconazol incorporados con el Producto Comercial A a 600 ml/ha mantuvo una eficacia biológica de 60 días. En el caso de tebuconazol+trifloxistrobina+triadimenol aplicado en la mezcla del Producto Comercial C a 500 ml/ha+ Producto Comercial D a 100g/ha mostró una eficacia biológica de 45 días después de aplicación.
- El área Testigo presentó más de un 90% de incidencia de Roya transcurridos 60 días después de aplicación donde se presentó una alta defoliación en comparación con las áreas tratadas, donde el porcentaje de incidencia de Roya se mantuvo por debajo de un 26% a dicha cantidad de días.
- El tratamiento con la mezcla del Producto Comercial C a 500 ml/ha+ Producto Comercial D a 100g/ha fue el de menor costo por aplicación puntual, siendo este de 26.026 colones/ hectárea. Seguido en costo por aplicación puntual se determinó que el Producto Comercial A a 600 ml/ha presentó un costo de 31.676 colones/ ha. La aplicación con el Producto Comercial B a 800 ml/ha fue la más costosa por aplicación, con un costo de 34.476 colones/ha.
- El tratamiento que presentó una mejor relación de costo/beneficio tomando en cuenta la cantidad de días de control de la Roya del Cafeto y su respectivo costo, fue el Producto Comercial B a una dosis de 800 ml/ha, correspondiente a 459,68 colones/ha/día, seguido por el Producto Comercial A a 600 ml/ha con un costo diario de 527,93 colones/ha. El tratamiento más costoso en cuanto al control de Roya

es la mezcla del Producto Comercial C a 500 ml/ha+ Producto Comercial C a 100 g/ha con un costo diario de 578,36 colones/ha.

- El tratamiento que mostró una mejor relación costo/beneficio en cuanto a producción fue el de la mezcla del Producto Comercial C a 500 ml/ha+ Producto Comercial C a 100 g/ha, siendo superior en la producción en un 71% comparado con el tratamiento Testigo, un 20,4% superior al tratamiento del Producto Comercial A a 600 ml/ha y 12,4% al compararlo con el tratamiento correspondiente al producto comercial B a 800 ml/ha.

6. RECOMENDACIONES

Con base en las experiencias obtenidas en el presente trabajo, así como en los resultados de mismo, se expresan las siguientes recomendaciones:

- Establecer en las fincas cafetaleras programas de muestreo de incidencia de Roya para determinar los métodos más adecuados de control, tanto en los productos a utilizar, como en el tiempo más propicio para realizar las aplicaciones.
- Promover en las plantaciones una rotación de productos para evitar el desarrollo de resistencia a los diferentes ingredientes activos utilizados para el control de la Roya del Cafeto.
- Determinar el método de control de Roya conforme a los costos que representan no solo por aplicación, sino que tomando en cuenta el tiempo de control que se va a obtener en cada caso, ya que es una mejor manera de visualizar a largo plazo el aprovechamiento de los recursos.
- Realizar en la medida de lo posible los controles de Roya desde una perspectiva preventiva de la enfermedad, no esperando así a tener altos porcentajes de incidencia para iniciar los controles.
- Analizar si las condiciones climatológicas son propicias para el desarrollo de la enfermedad, para así estar más alertas en las épocas críticas o determinar eventualmente un cese de las aplicaciones en caso de que no haya peligro en ciertos momentos de un desarrollo de la enfermedad.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, M.; Rojas, G. 2011. Cultivo y beneficiado del café. Tercera reimpresión de la primera edición. EUNED. San José, Costa Rica. 184 p.

ALAP (Asociación Latinoamericana de la Papa). 1999. Revista Latinoamericana de la papa. Volumen 11. No.1. 1998/1999. [en línea] Consultado el 11 de julio de 2016. Disponible en: http://books.google.co.cr/books?id=p1U6_NZMRIMC&pg=PA7&dq=fungicidas+sist%C3%A9micos&hl=es&sa=X&ei=uQpnUfC3NfSi4AOry4CoCw&ved=0CD8Q6AEwAw#v=onepage&q=fungicidas%20sist%C3%A9micos&f=false

Anacafe (Asociación Nacional del Café, GU). 2013. Análisis sobre eficiencia de fungicidas contra la Roya del cafeto. Revista El cafetal. Cedicafé-Anacafé. [en línea] Consultado el 18 de julio de 2016. Disponible en: <http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=16TEC:Eficiencia-fungicidas-roya>

Arauz, L. 1998. Fitopatología: un enfoque agroecológico. 1er edición. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 471 p.

Barquero, M. 2014. Avances de la Investigación para el combate de la Roya del Cafeto. Presentación ICAFE.[en línea] Consultado el 18 de julio de 2016. Disponible en: <http://www.icafe.cr/cicafe/investigaciones/la-roya-del-cafe/recomendaciones-tecnicas/presentaciones-de-las-charlas-roya-del-cafe/>

Bayer. S.F. Glosario. Modo de acción mesostémico. [en línea] Consultado el 11 de julio de 2016. Disponible en: <http://www.baydir.cl/infotecnica/manual/glosario.php>

Bertrand, B.; Rapidel, B. 1999. Desafíos de la caficultura en Centroamerica. IICA. PROMECAFE: CIRAD: IRD: CCCR. FRANCIA. San José, Costa Rica. 496 p.

CropLife. 2011. Control químico de la roya asiática de la soya en el planalto medio, rs., Brasil. Agronomía Mesoamericana vol.22 No.2 San Pedro dic. 2011. [en línea] Consultado el 18 de julio de 2016. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212011000200015&script=sci_arttext

Eyal, Z; Scharen, L; Prescott, M. 1987. Enfermedades del trigo causadas por Septoria conceptos y métodos relacionados con el manejo de estas enfermedades. CIMMYT. México DF, México. 46 p.

Fernández, L.; Hidalgo, J. 2000. Ingeniería y mecanización Vitícola. Editorial Mundi-prensa. Madrid, España. 721 p.

Garcés, F.; Forcelini, F. 2011. Relación entre Incidencia y Severidad de la Roya Asiática de la Soya Causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow. Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín [en línea] Consultado el: 24 de julio de 2016] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179922664007>

Hilje, J.; Saunders, J. 2008. Manejo Integrado de Plagas en Mesoamérica: aportes conceptuales. Editorial Tecnológica Costa Rica. 1ra ed. Cartago, Costa Rica. 714 p.

ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2011. Guía Técnica para el Cultivo de Café. 1ª ed. ICAFFE-CICAFFE. Heredia, Costa Rica. 72 p.

ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica), MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR), SFE (Servicio Fitosanitario del Estado, CR). 2013. Proyecto para la atención de emergencia fitosanitaria por epifitía de la roya del cafeto. Plan de acción. Parte 1. Control químico. San José, Costa Rica. 16 p.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). 1977. Contribuciones del IICA al conocimiento de la roya del cafeto. IICA. San José, Costa Rica. 70 p.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). 2004. Cadena Agroindustrial. Café. Nicaragua. 77 p.

INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, EC). 1993. Manual del Cultivo de café. Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo, Ecuador. 224 p.

International Potato Center. 2003. Complementando la resistencia al Tizón (*Phytophthora infestans*) en los Andes. GILB, Taller Latinoamérica 1. 195 p.

McCook, S. 2009. La roya del Café en Costa Rica: epidemias, innovación y medio ambiente, 1950-1955. Revista Historia. No. 59-60. pp 97-117. [en línea] Consultado el 25 de julio de 2016. Disponible en: http://www.academia.edu/1097584/La_roya_del_cafe_en_Costa_Rica_epidemi as_innovacion_y_medio_ambiente_1950-1995

Pinochet, J. 1987. Plagas y enfermedades de cultivos frutales de carácter epidémico en cultivos frutales de la región centroamericana. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 59 p.

Rivillas, C.; Serna, C.; Cristancho, M.; Gaitán, A. 2011. La roya del cafeto en Colombia. Impacto, manejo y costos de control. Cenicafé. Chinchiná, caldas, Colombia. 52 p.

Sinha, R. 2004. Modern Plant Physiology. Alpha Science International Ltd. Pangbourne, UK. 620 p.

Sotomayor, I.; Duicela, L. 1995. Control Integrado de las principales enfermedades foliares del cafeto en el Ecuador. Estación Experimental Tropical Pichilingue. INIAP. Quevedo, Ecuador. 81 p.

Thurston, H. 1989. Enfermedades de cultivos en el trópico. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 236 p.

University of Hertfordshire. PPDB: Pesticide Properties DataBase. [en línea] Consultado el 23 de julio de 2016. Disponible en: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/index.htm>

Viera, W. 2002. Evaluación de fungicidas in vitro y pruebas de resistencia de cinco variedades de tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav.*) para antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides*). Tesis Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 112 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Comparación de medias según Bonferroni para porcentaje de incidencia de Roya según tratamiento y muestreo.

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.014_Por.Inci_REML<-  
lme(Por.Inci~1+Tratamiento+Muestreo+Tratamiento:Muestreo  
,random=list(Bloque=pdIdent(~1))  
,method="REML"  
,control=lmeControl(niterEM=150  
,msMaxIter=200)  
,na.action=na.omit  
,data=R.data11  
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: modelo.014_Por.Inci_REML

Variable dependiente: Por.Inci

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
160	1163,75	1260,72	-547,88	14,00	0,84	0,86

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	124	288,06	<0,0001
Tratamiento	3	124	176,95	<0,0001
Muestreo	7	124	18,83	<0,0001
Tratamiento:Muestreo	21	124	3,92	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	124	288,06	<0,0001
Tratamiento	3	124	176,95	<0,0001
Muestreo	7	124	18,83	<0,0001
Tratamiento:Muestreo	21	124	3,92	<0,0001

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 Tratamiento	3	124	176,95	<0,0001
2 Muestreo	7	124	18,83	<0,0001
3 Tratamiento:Muestreo	21	124	3,92	<0,0001

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: *pdIdent*

Formula: *~1|Bloque*

Desvíos estándares relativos al residual y correlaciones

	(const)
(const)	0,30

Por.Inci - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Tratamiento	Medias	E.E.	
1	80,62	2,91	A
4	26,11	2,91	B
2	26,00	2,91	B
3	15,61	2,91	C

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

Por.Inci - Medias ajustadas y errores estándares para Muestreo

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Muestreo	Medias	E.E.	
8	60,05	3,65	A
7	50,93	3,65	A B
6	42,60	3,65	B C
5	38,44	3,65	B C D
4	32,02	3,65	C D E
1	27,34	3,65	D E
3	23,74	3,65	E
2	21,55	3,65	E

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

Por.Inci - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento*Muestreo

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Tratamiento	Muestreo	Medias	E.E.																	
1	8	100	1,18	A																
1	7	98,73	1,18	A																
1	5	92,24	4,21	A B																
1	6	90,11	4,28	A B																
1	4	85,46	3,81	A B C																
1	3	79,34	2,22	A B C D																
1	2	68,4	1,15	A B C D E																
2	8	57,93	1,18	B C D E F																
4	8	50,9	3,46	C D E F G																
2	7	47,6	1,18	D E F G H																
4	7	36,67	1,18	E F G H I																
4	1	33,12	4,21	E F G H I																
2	6	32,3	3,46	F G H I																
3	8	31,37	1,18	F G H I																
1	1	30,73	1,18	F G H I																
4	6	30,07	4,28	F G H I																
4	5	25,94	3,46	F G H I																
3	1	23,39	4,21	F G H I																
2	5	23,25	3,81	F G H I																
2	1	22,11	1,18	G H I																
3	7	20,74	4,21	G H I																
3	6	17,9	4,28	G H I																
4	4	17,66	3,46	G H I																
3	4	12,84	1,15	H I																
3	5	12,33	4,28	H I																
2	4	12,13	3,81	H I																
4	2	11,15	2,22	I																
2	3	7,67	3,81	I																
2	2	4,96	2,22	I																
3	3	4,57	1,15	I																
4	3	3,39	2,22	I																
3	2	1,71	1,15	I																

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

Anexo 2. Comparación de medias según Bonferroni para rendimiento de producción.

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.016_peso_REML<-lme(peso~1+Tratamiento
,random=list(Bloque=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Tratamiento))
,method="REML"
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=R.data15
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: modelo.016_peso_REML

Variable dependiente: peso

Medidas de ajuste del modelo

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
20	74,00	80,96	-28,00	2,83	0,71	0,77

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	12	1035,54	<0,0001
Tratamiento	3	12	14,13	0,0003

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	12	3517,56	<0,0001
Tratamiento	3	12	14,13	0,0003

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

	numDF	denDF	F-value	p-value
1 Tratamiento	3	12	14,13	0,0003

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent
Formula: ~1|Bloque

Desvíos estándares relativos al residual y correlaciones

(const)
(const) 0,19

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: varIdent

Formula: ~ 1 | Tratamiento

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
1	1,00
2	0,07
3	0,18
4	0,68

peso - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: Bonferroni

Tratamiento	Medias	E.E.	
4	17,70	0,90	A
3	15,74	0,33	A
2	14,68	0,25	B
1	10,34	1,29	C

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

Anexo 3. Panfletos de los productos comerciales utilizados para el presente trabajo.

Esfera 26.75 EC

Países con registro: Guatemala, Nicaragua, Costa Rica y República Dominicana

Ingrediente activo: Trifloxystrobin + Cyproconazole

Formulación : EC

Modo de acción: Sistémico y Mesostemico

Recomendaciones:

EPOCA DE APLICACIÓN: Aplique Esfera 26,75 EC cuando la enfermedad empiece a mostrar tendencias a la alza según la curva de comportamiento histórico anual de la enfermedad en la región productora. Use Esfera 26,75 EC, dentro de un programa de rotación con fungicidas de otros grupos químicos. No haga más de dos aplicaciones al año.

INTERVALO DE APLICACIÓN: Aplicar Esfera 26,75 EC, al aparecer los primeros síntomas y repita la aplicación 15 días después, si es necesario. En café el Intervalo puede ser 30 días.

INTERVALO ENTRE LA ÚLTIMA APLICACIÓN Y LA COSECHA: 24 horas.

PERÍODO DE REINGRESO AL AREA TRATADA: 12 horas.

FITOTOXICIDAD: Cuando se usa como se recomienda, Esfera 26,75 EC es bien tolerado por el cultivo.

COMPATIBILIDAD: Esfera 26,75 EC es compatible con: Bayfolan Forte y con Fungicidas usados en los cultivos anotados en las recomendaciones de uso.

Cultivo	Plagas	Dosis
Recomendaciones de uso para Guatemala, Nicaragua y República Dominicana		
Café <i>Coffea arabica</i>	Roja <i>Hemileia vastatrix</i> Cercospora <i>Cercospora spp.</i>	0,7 - 0,8 L/ha (0,5 - 6 L/mz)
Arroz <i>Oryza sativa</i>	Cercospora <i>Cercospora spp.</i> Rhizoctonia <i>Rhizoctonia sp.</i>	
Frijol <i>Phaseolus vulgaris</i>	Roja del frijol <i>Uromyces phaseoli</i> ,	
Maní <i>Arachis hypogaea</i>	Roja del maní <i>Cercospora spp.</i>	
Ornamentales	Roja del rosal <i>Phragmidium mucronatum</i> Roja del clavel <i>Uromyces sp.</i>	0,7 - 0,8 L/ha (0,5 - 6 L/mz)
Maíz <i>Zea mays</i>	Roja de maíz <i>Fusicladium sp.</i>	
Melón <i>Cucumis melo</i>	<i>Mycosphaella Citrullina</i>	
Recomendaciones de uso para Costa Rica		
Café <i>Coffea arabica</i>	Roja <i>Hemileia vastatrix</i> Ojo de gallo <i>Mycena citricolor</i>	0,3 - 0,4 L/ha 0,4 - 0,5 L/ha

¡ALTO! LEA EL PANFLETO ANTES DE USAR EL PRODUCTO Y
CONSULTE AL PROFESIONAL EN CIENCIAS AGRÍCOLAS



We create chemistry

Opera® 18,3 SE

FUNGICIDA-E-STROBILURINA, TRIAZOL
PYRACLOSTROBIN, EPOXICONAZOLE



DAÑINO

ANTÍDOTO: NO TIENE

DENSIDAD: 1,062 g/cm³ a 20°C.

ESTE PRODUCTO PUEDE SER MORTAL SI SE INGIERE Y/O SE
INHALA PUEDE CAUSAR DAÑO A LOS OJOS Y A LA PIEL POR
EXPOSICIÓN

NO ALMACENAR EN CASAS DE HABITACIÓN MANTÉNGASE
ALEJADO DE LOS NIÑOS, PERRONAS MENTALMENTE INCAPACES,
ANIMALES DOMÉSTICOS, ALIMENTOS Y MEDICAMENTOS



USO AGRONÓMICO

MODO DE ACCIÓN:

OPERA® 18,3 SE tiene dos ingredientes activos, y con ello dos modos de
acción diferentes:

Epoxiconazole actúa en forma sistémica, protectante, erradicante,
inhibe la biosíntesis del ergosterol de los hongos ascomicetes y
basidiomicetes. Después de la aplicación el Epoxiconazole es absorbido
por la superficie de la hoja y transportado en el sistema vascular de la
planta; el Epoxiconazole tiene una sistemicidad acrópeta desde la base
hasta la punta de la hoja.

Pyraclostrobin tiene acción translinar y se redistribuye localmente
formando depósitos adheridos a la cera de la cutícula proporcionando
resistencia al lavado. Pyraclostrobin es un fungicida con acción
preventiva y curativa erradicante. Preventivamente actúa inhibiendo los
estados tempranos del desarrollo del hongo desde la germinación de la
espora hasta la formación del apotecio. Su acción curativa erradicante
provoca la desintegración de las cadenas de esporas, inhibiendo
consistentemente la esporulación.

Pyraclostrobin actúa bloqueando el abastecimiento de energía de la
célula del hongo y así sus funciones vitales posteriores. Al mismo tiempo
dejan de funcionar los sistemas de bombeo de la membrana celular. El
lugar de acción (a nivel molecular) es la cadena de respiración en el
mitocondria. El mecanismo de acción se refleja en una disminución en el
proceso de gemación y por ende del incremento de la enfermedad.

EQUIPO DE APLICACIÓN:

La aplicación de OPERA® 18,3 SE, puede realizarse con equipo manual de
espalda, motorizado o con equipo terrestre acoplado al tractor. Antes de
utilizar el equipo de aspersión, revise cuidadosamente que esté en buen
estado de funcionamiento.

Antes de aplicar calibre el equipo de aspersión para verificar que está
aplicando la dosis correcta. Póngase el equipo de protección personal,
antes de usar y manipular, OPERA® 18,3 SE. Como con todos los
productos químicos evite en lo posible el contacto con la solución. No
comer, beber o fumar durante el manejo y aplicación de este producto.

Use un volumen de aplicación de 400-600 litros por hectárea para lograr una
buena cobertura. Utilice una boquilla cónica.

Cuando maneje o aplique este producto debe usarse la ropa y el equipo de
protección, guantes, sombrero, y pantalón largo. Lave la ropa usada durante
la aplicación con abundante agua y jabón. Al lavar esta ropa no la mezcle
con la de uso normal.



FORMA DE PREPARACIÓN DE LA MEZCLA:

Llene hasta la mitad el tanque con agua, prepare una premezcla al añadir la
cantidad de OPERA® 18,3 SE recomendada a un poco de agua, vierta esta
premezcla al tanque y termine de llenar mientras agita. Verifique la calidad
del agua para evitar el uso de aguas duras y así lograr la mayor eficacia del
producto. Agite la mezcla durante todo el proceso de preparación de la
mezcla.

Lave el equipo de aplicación después de ser utilizado con suficiente agua
y mínimo tres veces para asegurar la eliminación de remanentes de la
mezcla.



RECOMENDACIONES DE USO:

USOS AUTORIZADOS EN NICARAGUA

CULTIVO	ENFERMEDADES A CONTROLAR		DOSIS RECOMENDADA
	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	
Maní <u>Araohis</u> <u>hypogaea</u>	<u>Puccinia</u> <u>araohidis</u>	Roya del maní	0.7 – 1.0 L/Ha (500 mL– 700 mL/ manzana)
	<u>Cercospora</u> <u>araohidicola</u>	Cercospora del maní	
	<u>Leptosphærulina</u> <u>crassica</u>	Mancha corchosa	
	<u>Cercosporidium</u> <u>personatum</u>	Viruela tardía del maní	

USOS AUTORIZADOS EN NICARAGUA, EL SALVADOR Y COSTA RICA

CULTIVO	ENFERMEDADES A CONTROLAR		DOSIS RECOMENDADA
	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	
Café <u>Coffea</u> <u>arabica</u>	<u>Myena</u> <u>oltricolor</u>	Ojo de gallo	1.25 - 1.5 L/ha

USOS AUTORIZADOS EN GUATEMALA, HONDURAS Y REPÚBLICA DOMINICANA

CULTIVO	ENFERMEDADES A CONTROLAR		DOSIS RECOMENDADA
	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	
Café <u>Coffea</u> <u>arabica</u>	<u>Cercospora</u> <u> spp</u>	Cercospora	1.0 - 1.5 L/Ha
	<u>Myena</u> <u>oltricolor</u>	Ojo de gallo	
	<u>Hemileia</u> <u>vacziatrix</u>	Roya del café	
Maíz <u>Zea mays</u>	<u>Phyllachora</u> <u>maydis</u> – <u>Monographella</u> <u>maydis</u>	Complejo mancha de asfalto	0.5 L/ha

INTERVALO DE APLICACIÓN:

Maíz: en las áreas con antecedentes de la enfermedad, aplicar en forma preventiva a los 25 días de nacido y repetir a los 15-20 días después. En las áreas sin antecedentes aplicar con la aparición de los primeros síntomas y repetir 15-20 días después de la primera aplicación.

Maní: Aplicar en forma preventiva y/o con la aparición de los primeros síntomas.

Café: Iniciar las aplicaciones con la presencia de un bajo inoculo residual. Entre 35 y 50 días, según la presión de la enfermedad. Aplicar preventivamente.

En Guatemala realizar la primera aplicación en abril-mayo con dosis de 1.0 L/Ha y en el mes de agosto proceder con una segunda aplicación de 1.0 a 1.5 L/Ha.

INTERVALO ENTRE LA ÚLTIMA APLICACIÓN Y LA COSECHA:

14 días para maní, 45 días para café y 15 días para maíz.

INTERVALO DE REINGRESO AL ÁREA TRATADA: Cuando la aspersión se haya secado sobre la superficie aplicada.

FITOTOXICIDAD: No se han observado síntomas de fitotoxicidad en las dosis recomendadas.

Nativo 75 WG

Países con registro: Guatemala, El Salvador, Honduras, Panamá, República Dominicana y Costa Rica

Ingrediente activo: Tebuconazole, Trifloxystrobin

Formulación : WG

Familia Química: Triazol, estrobilurina

Formulación: Gránulos dispensables en agua

Modo de acción: Sistémico

Recomendaciones:

Época de aplicación: Aplique cuando la enfermedad empiece a mostrar tendencia al alza, según la curva de comportamiento histórico anual de la enfermedad en la región productora. Use Nativo® 75 WG, dentro de un programa de rotación con fungicidas de otros grupos químicos. No haga más de dos aplicaciones por ciclo.

Intervalo de aplicación: De 12 a 14 días, según la presión de la enfermedad y de las condiciones climáticas.

Intervalo entre la última aplicación y la cosecha: Arroz y melón, 21 días. Tomate, 7 días. Hule, no hay restricción. Resto de cultivos, 14 días.

Intervalo de reingreso al área tratada: 24 horas.

Fitotoxicidad: No es fitotóxico si se aplica de acuerdo a la recomendación.

Compatibilidad: Preferiblemente se aplica solo. En el cultivo de hule puede mezclarse con Infinito® 68,75 SC, para el control del complejo fungoso en el panel de pica. Si se requiere hacer otras mezclas con productos, consulte al servicio técnico Bayer y realice pruebas previas de compatibilidad.

Cultivo	Plagas	Dosis
Recomendaciones de uso en Guatemala		
Hule <i>Hevea brasiliensis</i>	Moho gris <i>Ceratocystis fimbriata</i>	Aplicar 8 g de Nativo 75 WG por 3.785 l de agua
Café <i>Coffea arabica</i>	Roya <i>Hemileia vastatrix</i>	0,15-0,20 kg/ha (0,1 – 0,14 kg/ha) 400-600 l/ha
Maíz <i>Zea mays</i>	Mancha de asfalto <i>Phyllachora maydis</i>	0,12-0,14 kg/ha (0,08-0,1 kg/mz)
Recomendaciones de uso en Costa Rica		
Arroz <i>Oryza sativa</i>	Follaje: <i>Rhizoctonia sp.</i> , <i>Helminthosporium oryzae</i> , <i>Pyricularia oryzae</i> Manchado del grano: <i>Helminthosporium oryzae</i> , <i>Curvularia sp.</i> <i>Pyricularia oryzae</i> <i>Rhizoctonia sp.</i> <i>Alternaria padwickii</i> , <i>Nigrospora sp.</i> <i>Cercospora oryzae</i> <i>Rhynchosporium oryzae</i>	0,4-0,5 kg/ha (0,3-0,35 kg/mz) Para aplicaciones terrestres usar un volumen de agua de 100-300 l/ha En aplicaciones aéreas usar volúmenes de agua de 30-70 l/ha
Café <i>Coffea Arabica</i>	Roya <i>Hemileia vastatrix</i>	0,15 - 0,20 kg/ha cada 30 días

Caporal 25 DC

Países con registro: Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras, Panamá, Nicaragua y Costa Rica

Ingrediente activo: Triadimenol

Familia Química: Triazol

Formulación: Dispersión concentrada

Modo de acción: Sistémico

Recomendaciones:

Intervalo de aplicación: Depende del nivel de infección.

Intervalo entre la última aplicación y la cosecha: 15 días.

Período de reingreso al área tratada: 24 horas.

Fitotoxicidad: No es fitotóxico si se aplica de acuerdo a las instrucciones.

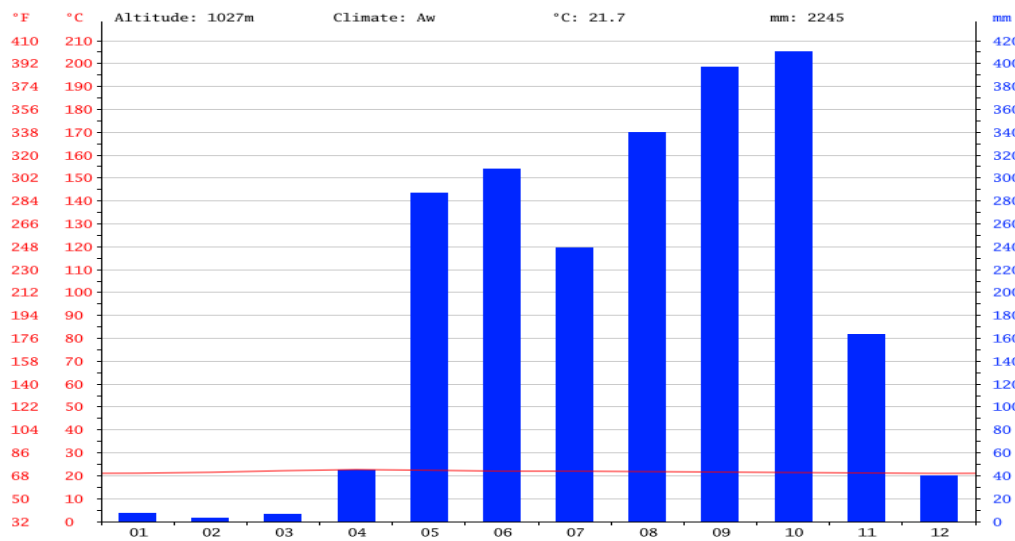
Compatibilidad: Caporal® 25 DC, se puede mezclar con fungicidas e insecticidas de uso común.

IMPORTANTE:

Para mejores resultados, aplique en la mezcla Adherente 810 SL, Penetrante Bayer o NP-7 en todas sus aplicaciones.

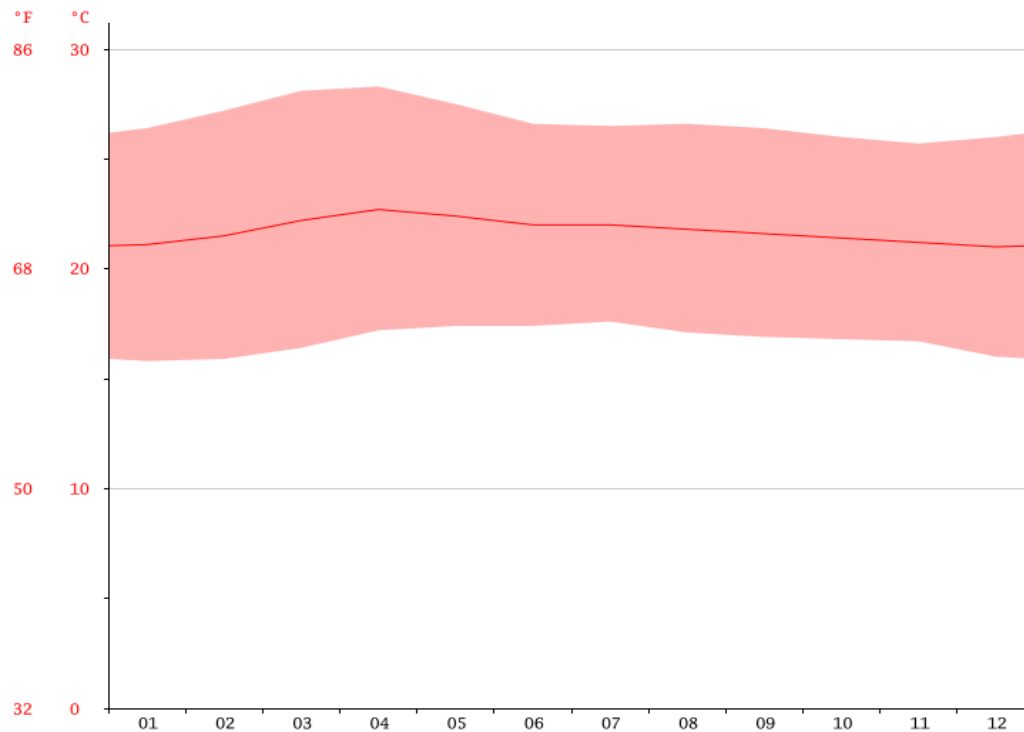
Cultivo	Plagas	Dosis
Recomendaciones de uso en Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras y Panamá		
Café <i>Coffea arabica</i>	Roya del café <i>Hemileia vastatrix</i> Mancha de hierro <i>Cercospora coffeicola</i> Antracnosis <i>Colletotrichum coffeanum</i>	Dosis preventiva para el cultivo del Café: 0.5 litros por hectárea, equivalente a 0.35 litros por manzana. Dosis curativa para el cultivo del Café: 1.0 litro por hectárea, equivalente a 0.7 litros por manzana. Estas dosis equivalen a: 3/4 a una medida Bayer por rociadora de 4 galones. Aplique con un umbral de 5% de presencia de Roya. Repita la aplicación a los 30 o 45 días. En almácigos y plantillas, utilice 0.5 mL/litro de agua (100 mL/tonel o estación de 200 litros).
Recomendaciones de uso en Nicaragua		
Café <i>Coffea arabica</i>	Roya del café <i>Hemileia vastatrix</i> Mancha de hierro <i>Cercospora coffeicola</i>	0,7-1,0 L/ha

Anexo 4. Datos climatológicos históricos promedio de Naranjo. Fuente: climate-data.org



El mes más seco es febrero, con 3 mm de lluvia. 410 mm, mientras que la caída media en octubre. El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año.

Diagrama de temperatura



Anexo 5. Costos en colones del proyecto para el estudio sobre el control de Roya del café en el Valle Occidental. Costa Rica. 2016.

Concepto	Unidad o empaque	Precio por unidad	Costo en proyecto	
			Cantidad	Costo
Esfera 26.75EC	1.000ml	34.000,00	31,25 ml	1.063,50
Opera 18,3SE	1.000ml	29.000,00	41,25 ml	1.196,25
Caporal 25DC +Nativo 75WG®	1.000ml + 2.000g	20.000,00	31,25 ml+ 10,25g	1.111,88
Equipos (Uso y Mantenimiento)	Aplicación	1.776,40	1	1.776,40
Mano de obra	Hora	1.500,00	5	7.500,00
TOTAL				12.648,03