

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE FUNGICIDAS PARA EL CONTROL DE ROYA DEL
CAFÉ OCASIONADO POR *Hemileia vastatrix* Berk & Br. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS
REALIZADOS EN BAYER S.A., DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AGRONÓMICO,
GUATEMALA, C. A

MIGUEL ERNESTO BARRERA SOSA

GUATEMALA, MARZO 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN REALIZADO EN

EL DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AGRONÓMICO DE BAYER, S.A.

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

MIGUEL ERNESTO BARRERA SOSA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, MARZO 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Dr.	Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. MSc.	César Linneo García
VOCAL TERCERO	Ing. Agr.	Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	P. Agr.	Josué Benjamín Boche López
VOCAL QUINTO	Br.	Sergio Alexander Soto Estrada
SECRETARIO	Dr.	Mynor Raúl Otzoy Rosales

GUATEMALA, MARZO 2015

GUATEMALA, MARZO 2015

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE FUNGICIDAS PARA EL CONTROL DE ROYA DEL CAFÉ OCASIONADO POR *Hemileia vastatrix* Berk & Br. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN BAYER S.A., DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AGRONÓMICO, GUATEMALA, C. A., como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistema de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MIGUEL ERNESTO BARRERA SOSA

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios:

Por brindarme la sabiduría e iluminarme para alcanzar esta meta.

Mis Padres:

Miguel Barrera Camacho y Blanca Sosa García, quienes son un ejemplo a seguir; cada uno con diversas virtudes, gracias por sus consejos que siempre me han servido para seguir adelante en la vida, gracias por apoyarme y brindarme su incondicional apoyo, este triunfo es gracias a ustedes.

Mis Hermanos:

Luis, Jessica y Julissa, con quienes he vivido los momentos más difíciles y más alegres, gracias siempre por el apoyo que me han brindado en todo momento. A seguir adelante, que tenemos mucho camino que recorrer todavía y tienen mi apoyo siempre.

Mis Abuelos:

Carlota García (Mamá Lota) y Ernesto Sosa (Papá Neto), gracias por todo su cariño, comprensión y por compartir todas tus experiencias de la vida en todo momento que Dios derrame muchas bendiciones sobre ustedes. Manuela Camacho (Q.E.P.D) y Miguel Barrera (Q.E.P.D), que desde el cielo cuidan a sus seres queridos.

Mis Tíos:

A todos ustedes gracias por su apoyo, que Dios los proteja toda la vida. Tía Mina gracias su apoyo y sus experiencias compartidas que Dios la bendiga.

ACTO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

Dios, Por darme la oportunidad de concluir una meta más en mi vida y siempre orientarme en el buen camino.

Guatemala, País de la Eterna Primavera.

Universidad de San Carlos de Guatemala, casa de estudio, fuente de sabiduría y responsable de formar profesionales con principios éticos y excelencia académica.

Facultad de Agronomía, Por formar profesionales que permitan contribuir al desarrollo económico social del país.

Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA), Alma Mater que bajo el lema “Aprender Haciendo” me permitió dar los primeros pasos en el ámbito agrícola; dedicada a formar agrónomos con excelencia académica y productiva ayudando al crecimiento y desarrollo de Guatemala.

Mi Familia, por su completo apoyo, por ser la luz en mi vida; guiándome siempre por el buen camino y permitirme culminar mis estudios en la profesión que siempre anhelé.

AGRADECIMIENTOS

A:

Mi Supervisor, Ing. Agr. Hermógenes Castillo por su total e incondicional apoyo, por sus consejos brindados durante el Ejercicio Profesional Supervisado así como la colaboración para la elaboración del presente trabajo de graduación.

Mi Asesor, Dr. David Monterroso por su apoyo y asesoría profesional en la formación de la investigación.

Ing. Agr. Josué Hidalgo e Ing. Agr. Ronald Tobar, por brindarme su apoyo y amistad, en el desarrollo del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS).

Ing. Armando Sandoval y Bayer S.A. por brindarme la oportunidad de adquirir experiencia en el ámbito agrícola y contribuir con mi desarrollo como profesional en las ciencias agrícolas, brindándome las herramientas necesarias para la culminación de la investigación.

Finca el Carmen, finca el 80, finca sabanetas y finca el paraíso por brindarme su apoyo en el transcurso del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS).

A mis amigos, por todos aquellos esfuerzos, sacrificios y apoyo que me han brindado en mi ciclo de formación profesional, fue un agrado trabajar con ustedes, Dios los bendiga.

A los docentes de la gloriosa Facultad de Agronomía, por difundir sus conocimientos a futuras generaciones instruyendo siempre con sencillez y excelencia.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO I	1
DIAGNÓSTICO PARA CONTEXTUALIZAR LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA ROYA DEL CAFÉ (<i>Hemileia vastatrix</i> Berk & Br) Y EL CONTROL FITOSANITARIO UTILIZADO PARA SU CONTROL EN LA FINCA EL 80, ORATORIO, SANTA ROSA, GUATEMALA C.A.	1
1.1 PRESENTACIÓN	2
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3 MARCO REFERENCIAL.....	4
1.3.1 Características de la finca el 80.....	4
1.3.2 Características específicas del ensayo.....	5
1.4 OBJETIVOS	6
1.4.1 General.....	6
1.4.2 Específicos	6
1.5 METODOLOGÍA	7
1.5.1 Recopilación de información primaria.....	7
1.5.2 Visita de Campo	7
1.5.2.1 Método de muestreo.....	7
1.5.2.2 Colecta de las muestras	8
1.5.2.3 Análisis de la información.....	9
A. Determinación del nivel de severidad por sitio	9
1.5.3 Recopilación de información secundaria	10
1.6 RESULTADOS.....	10
1.6.1 Caracterización de la finca La Finca el 80	10

1.6.2	Nivel de daño en finca el 80 ocasionado por <i>H. vastatrix</i>	10
1.6.3	Situación actual de la roya según ANACAFÉ.....	12
1.6.4	Medidas de control de la roya del café.....	13
1.7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	14
1.8	BIBLIOGRAFÍA.....	15
CAPÍTULO II.....		17
EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE FUNGICIDAS PARA EL CONTROL DE ROYA DEL CAFÉ OCASIONADO POR <i>Hemileia vastatrix</i> Berk & Br., EN FINCA EL 80, ORATORIO, SANTA ROSA, GUATEMALA C.A.		17
2.1	PRESENTACIÓN.....	18
2.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	19
2.3	MARCO CONCEPTUAL	20
2.3.1	Historia y origen del café en Guatemala	20
2.3.2	Botánica y morfología del café	20
2.3.2.1	Raíz.....	20
2.3.2.2	Tallo y hojas.....	21
2.3.2.3	Flor.....	21
2.3.2.4	Fruto.....	22
2.3.2.5	Semilla	22
2.3.2.6	Propagación.....	22
2.3.3	Especies y variedades de café en Guatemala	23
2.3.3.1	Bourbón	23
2.3.3.2	Catuaí	24
2.3.3.3	Pache común	24
2.3.3.4	Pache colís	24
2.3.3.5	Caturra	25
2.3.4	Densidades de siembra y rendimientos de café en Guatemala	25
2.3.5	Límites hídricos para el cultivo de <i>Coffea arabica</i>	25

2.3.6	Enfermedades del café.....	25
2.3.6.1	<i>Hemileia vastatrix</i>	26
B.	Patogénesis de la roya del cafeto.....	26
a)	Agente etiológico.....	26
b)	Biología de la roya del cafeto.....	27
c)	Germinación de la roya del cafeto.....	27
d)	Colonización de <i>Hemileia vastatrix</i>	27
e)	Reproducción de <i>Hemileia vastatrix</i>	28
f)	Esporulación de la roya del cafeto.....	28
C.	Control de la roya.....	30
a)	Control químico.....	30
i.	Fungicidas de contacto.....	30
ii.	Fungicidas sistémicos.....	30
2.4	MARCO REFERENCIAL.....	31
2.4.1	Características de la finca el 80.....	31
2.4.2	Características específicas del ensayo.....	32
2.4.3	Identificación de fungicidas utilizados en la investigación.....	33
2.5	OBJETIVOS.....	34
2.5.1	General.....	34
2.5.2	Específicos.....	34
2.6	HIPÓTESIS.....	35
2.7	METODOLOGÍA.....	35
2.7.1	Diseño experimental.....	35
2.7.2	Modelo estadístico.....	35
2.7.2.1	Hipótesis estadísticas.....	36
A.	Hipótesis para la variable incidencia.....	36
B.	Hipótesis para la variable severidad.....	36
C.	Hipótesis para la variable defoliación.....	36

2.7.3	Selección e identificación de las parcelas	37
2.7.3.1	Parcela experimental	37
2.7.3.2	Distribución de tratamientos en el campo	37
2.7.3.3	Identificación de la parcela e identificación de la bandola.....	38
2.7.4	Aplicación de los tratamientos.....	38
2.7.4.1	Tipo y equipo de aplicación.....	39
2.7.4.2	Dosis y volúmenes de aplicación:	39
2.7.5	Lectura y cuantificación de la roya del café.....	39
2.7.5.1	Variables de respuesta	40
A.	Número de hojas totales	40
B.	Incidencia de número de hojas con roya por bandola	40
C.	Severidad	41
D.	Lectura y cuantificación de la defoliación	42
2.7.6	Análisis de la información.....	42
2.8	RESULTADOS.....	42
2.8.1	Análisis estadístico.....	43
2.8.1.1	Análisis de varianza para hojas infectadas con roya	43
2.8.1.2	Análisis de varianza para porcentaje de defoliación	44
2.8.1.3	Análisis estadístico de incidencia de roya	45
2.8.1.4	Análisis estadístico de Área bajo la curva de incidencia de roya del café.....	46
2.8.2	Análisis epidemiológico	49
2.8.2.1	Análisis foliar.....	49
A.	Hojas totales.....	49
B.	Hojas infectadas con roya	50
C.	Porcentaje de incidencia de roya	52
D.	Porcentaje de severidad por planta.....	53
E.	Porcentaje de defoliación	55
2.8.3	Análisis de costos de aplicación finca el 80.....	55

2.9	CONCLUSIONES.....	58
2.10	RECOMENDACIONES	58
2.11	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	59
CAPÍTULO III		61
SERVICIOS REALIZADOS EN BAYER S.A., DEPARTAMENTO DE DESARROLLO		
AGRONÓMICO GUATEMALA C.A.....		61
3.1	PRESENTACIÓN.....	62
3.2	SERVICIO 1. Evaluación de eficacia de planes de manejo fitosanitario para control de roya (<i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Br.), en el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i>), realizado en finca el paraíso, Barberena, Santa Rosa, Guatemala C.A.....	63
3.2.1	OBJETIVOS.....	63
3.2.1.1	General.....	63
3.2.1.2	Específicos	63
3.2.2	METODOLOGÍA.....	64
3.2.2.1	Identificación de tratamientos.....	64
3.2.2.2	Diseño experimental.....	65
	A. Diseño de la unidad experimental.....	65
	B. Diseño del experimento en bloques al azar	65
3.2.2.3	Establecimiento del ensayo.....	66
	A. Aplicación de tratamientos.....	66
	a) Fecha de aplicación	67
	B. Muestreo.....	67
	a) Identificación de la parcela e identificación de la bandola	67
3.2.3	RESULTADOS	68
3.2.3.1	Análisis estadístico.....	68
	A. Análisis estadístico de hojas totales	68
	B. Análisis estadístico de hojas infectadas	69
	C. Análisis estadístico de defoliación	70
	D. Área bajo la curva de severidad	71

3.2.3.2	Análisis epidemiológico.....	73
A.	Análisis foliar	73
a)	Hojas totales	73
b)	Hojas infectadas con roya.....	74
c)	Severidad por planta.....	75
d)	Porcentaje de Defoliación	76
3.2.3.3	Costos de aplicación Finca el paraíso.....	77
3.2.4	EVALUACIÓN	78
3.3	SERVICIO 2. Evaluación de eficacia de planes de manejo fitosanitario para control de roya (<i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Br.), en el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i>), realizado en finca el Carmen, Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa, Guatemala C.A.....	79
3.3.1	OBJETIVOS	79
3.3.1.1	General	79
3.3.1.2	Específicos.....	79
3.3.2	METODOLOGÍA.....	80
3.3.2.1	Identificación de tratamientos	80
3.3.2.2	Diseño experimental	81
A.	Diseño de la unidad experimental	81
B.	Diseño del experimento en bloques al azar	81
3.3.2.3	Establecimiento del ensayo	82
A.	Aplicación de tratamientos	82
a)	Fecha de aplicación	83
B.	Muestreo	83
a)	Identificación de la parcela e identificación de la bandola.....	83
3.3.3	RESULTADOS	84
3.3.3.1	Análisis estadístico.....	84
A.	Análisis estadístico de hojas totales.....	84
B.	Análisis estadístico de hojas infectadas	85
C.	Análisis estadístico de defoliación.....	86
D.	Área bajo la curva de severidad	87

3.3.3.2	Análisis epidemiológico	89
A.	Análisis foliar.....	89
a)	Hojas totales.....	89
b)	Hojas infectadas con roya	90
c)	Severidad por planta	91
d)	Porcentaje de Defoliación.....	92
3.3.3.3	Costos de aplicación Finca el Carmen	93
3.3.4	EVALUACIÓN.....	94
3.4	SERVICIO 3. Evaluación de eficacia de planes de manejo fitosanitario para control de roya (<i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Br.), en el cultivo de café (<i>Coffea arabica</i>), realizado en finca Sabanetas, Barberena, Santa Rosa, Guatemala C.A.	95
3.4.1	OBJETIVOS.....	95
3.4.1.1	General.....	95
3.4.1.2	Específicos	95
3.4.2	METODOLOGÍA.....	96
3.4.2.1	Identificación de tratamientos.....	96
3.4.2.2	Diseño experimental.....	97
A.	Diseño de la unidad experimental.....	97
B.	Diseño del experimento en bloques al azar	97
3.4.2.3	Establecimiento del ensayo.....	98
A.	Aplicación de tratamientos.....	98
a)	Fecha de aplicación	98
B.	Muestreo.....	99
a)	Identificación de la parcela e identificación de la bandola	99
3.4.3	RESULTADOS	100
3.4.3.1	Análisis estadístico	100
A.	Análisis estadístico de hojas totales	100
B.	Análisis estadístico de hojas infectadas	101
C.	Análisis estadístico para defoliación	102
D.	Área bajo la curva de severidad	102

3.4.3.2	Análisis epidemiológico.....	105
A.	Análisis foliar	105
a)	Hojas totales	105
b)	Hojas infectadas con roya.....	106
c)	Severidad por planta	107
d)	Porcentaje de Defoliación	108
3.4.3.3	Costos de aplicación Finca Sabanetas	109
3.4.4	EVALUACIÓN	110

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1.1 Mapa de ubicación de la finca el 80, Oratorio, Santa Rosa.....	4
Figura 1.2 Sitio de muestreo para <i>H. vastatrix</i>	8
Figura 1.3 Hojas identificadas en la parte superior, media e inferior de la planta	8
Figura 1.4. Escala diagramática para realizar la evaluación de severidad de la roya del café en hojas.	9
Figura 1.5 Nivel de daño ocasionado por <i>H. vastatrix</i>	11
Figura 1.6 Estimación del impacto de la roya del café (<i>Hemileia vastatrix</i>) en el país en noviembre de 2012.....	13
Figura 2.1 Patogénesis de <i>Hemileia vastatrix</i>	29
Figuras 2.2 Ubicación del ensayo de evaluación de fungicidas para el control de <i>Hemileia vastatrix</i>	31
Figura 2.3 Croquis de la parcela experimental.....	37
Figura 2.4 Croquis de distribución de tratamientos en el campo.....	37
Figura 2.5 Bandolas identificadas en la parte superior e inferior de la planta	38
Figura 2.6. Escala diagramática para realizar la evaluación de severidad de la roya del café en hojas.	41
Figura 2.7 Comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para la variable de área bajo la curva de incidencia de roya del café.	47
Figura 2.8 Comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para la variable de área bajo la curva de severidad de roya del café.	48
Figura 2.9 Hojas totales por bandola.....	50
Figura 2.10 Hojas infectadas por bandola.....	51
Figura 2.11 Incidencia promedio por planta	53
Figura 2.12 Severidad promedio por planta	54
Figura 2.13 Porcentaje de defoliación por planta	55
Figura 2.14 Área bajo la curva vs. Costo de aplicación.....	57

Figura 3.1 Croquis de la parcela experimental.....	65
Figura 3.2 Croquis de distribución de tratamientos en el campo	66
Figura 3.3 Bandola identificada en la parte media de la planta.....	67
Figura 3.4 Comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para la variable de área bajo la curva de roya del café.....	72
Figura 3.5 Hojas totales por bandola	73
Figura 3.6 Hojas infectadas	74
Figura 3.7 Severidad promedio por planta.....	75
Figura 3.8 Porcentaje de defoliación por planta.....	76
Figura 3.9 Croquis de la parcela experimental.....	81
Figura 3.10 Croquis de distribución de tratamientos en el campo	82
Figura 3.11. Bandola identificada en la parte media de la planta.....	83
Figura 3.12 Comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para la variable de área bajo la curva de roya del café.....	88
Figura 3.13 Hojas totales por bandola	89
Figura 3.14 Hojas Infectadas	90
Figura 3.15 Severidad promedio por planta.....	91
Figura 3.16. Porcentaje de defoliación por planta.....	92
Figura 3.17 Croquis de la parcela experimental.....	97
Figura 3.18 Croquis de distribución de tratamientos en el campo	98
Figura 3.19 Bandola identificada en la parte media de la planta.....	99
Figura 3.20 Comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para la variable de área bajo la curva de roya del café.....	104
Figura 3.21 Hojas totales por bandola	105
Figura 3.22 Hojas infectadas	106
Figura 3.23 Severidad promedio por planta.....	107
Figura 3.24 Porcentaje de defoliación por planta.....	108

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1.1 Programa de manejo fitosanitario del cultivo de café utilizado en 2012.	5
Cuadro 1.2 Plan de manejo fitosanitario utilizado en 2012.	11
Cuadro 1.3 Fungicidas recomendados por CEDICAFÉ para control de Roya del café.....	14
Cuadro 2.1 Programa de manejo fitosanitario del cultivo de café utilizado en 2012.	32
Cuadro 2.2 Fungicidas utilizados	33
Cuadro 2.3. Dosis utilizada.....	39
Cuadro 2.4 Medias y prueba múltiple de medias para hojas infectadas con roya.....	43
Cuadro 2.5 Medias y prueba múltiple de medias para la variable defoliación.....	44
Cuadro 2.6 Medias y prueba múltiple de medias para incidencia de roya	45
Cuadro 2.7 Análisis Media y prueba múltiple de medias para área bajo la curva de incidencia de roya	46
Cuadro 2.8. Medias y prueba múltiple de medias de área bajo la curva de severidad de roya.	47
Cuadro 2.9 Costo de fungicidas/Ha.....	56
Cuadro 2.10 Costo de tres aplicaciones/Ha	56
Cuadro 3.1 Tratamientos utilizados.....	64
Cuadro 3.2 Número y fecha de aplicación de tratamientos	67
Cuadro 3.3 Medias y prueba múltiple de medias para la variable hojas totales	68
Cuadro 3.4 Medias y prueba múltiple de medias para la variable hojas infectadas	69
Cuadro 3.5 Medias y prueba múltiple de medias para la variable defoliación	70
Cuadro 3.6 Medias y prueba múltiple de medias de ABC de severidad.....	71
Cuadro 3.7 Costo de fungicidas/Ha.....	77
Cuadro 3.8 Costo de tratamientos/Ha	77
Cuadro 3.9 Tratamientos utilizados.....	80
Cuadro 3.10 Número y fecha de aplicación de tratamientos	83
Cuadro 3.11. Medias y prueba múltiple de medias para la variable hojas totales	84

Cuadro 3.12 Medias y prueba múltiple de medias para la variable hojas infectadas.....	85
Cuadro 3.13 Medias y prueba múltiple de medias para la variable defoliación.....	86
Cuadro 3.14 Análisis de varianza para área bajo la curva de severidad de roya.....	87
Cuadro 3.15 Costo de fungicidas/Ha	93
Cuadro 3.16 Costo de tratamientos/Ha.....	93
Cuadro 3.17 Descripción de tratamientos utilizados	96
Cuadro 3.18 Fecha de aplicación en planes de manejo fitosanitario	98
Cuadro 3.19 Medias y prueba múltiple de medias para la variable hojas totales.....	100
Cuadro 3.20 Medias y prueba múltiple de medias para la variable hojas infectadas.....	101
Cuadro 3.21 Medias y prueba múltiple de medias para la variable defoliación.....	102
Cuadro 3.22 Análisis de varianza para área bajo la curva de severidad de roya.....	103
Cuadro 3.23 Costo de fungicidas/Ha	109
Cuadro 3.24 Costo de tratamientos/Ha.....	109

EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE FUNGICIDAS PARA EL CONTROL DE ROYA DEL CAFÉ OCASIONADO POR *Hemileia vastatrix* Berk & Br. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN BAYER S.A., DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AGRONÓMICO, GUATEMALA, C. A.

RESUMEN

Guatemala es un productor de café a nivel mundial. El departamento de Santa Rosa se ha caracterizado desde el punto de vista agrícola por la producción de café. San Marcos y Santa Rosa representan un tercio del área total cultivada de café en el país, por lo que se constituye uno de los cultivos de mayor importancia a nivel nacional. El grado de producción de los cultivos está en función de varios factores, principalmente del manejo fitosanitario, lo que estimula que los productores se capaciten y estén en constante actualización de los métodos de control. Una de las enfermedades de mayor importancia para el cultivo de café es *Hemileia vastatrix*, debido a que ocasiona una caída prematura de hojas, afecta la fotosíntesis y ocasiona una muerte descendente severa de las ramas, provocando escasa floración y frutos pequeños, representado pérdidas en la producción. El diagnóstico se enfatizó en la contextualización de la situación actual de la roya del café *H. vastatrix*, analizando su nivel de daño a nivel regional.

El municipio de Oratorio, fue objeto de estudio para llevar a cabo el proyecto de investigación. Éste consistió en la evaluación de la eficacia de fungicidas para el control de roya del café ocasionado por *Hemileia vastatrix* Berk & Br., ejecutado durante el Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, comprendido durante el período de febrero a noviembre del año 2013 y fue realizado en la empresa Bayer S.A.

Los tratamientos empleados en la investigación fueron (azoxystrobin + ciproconazol) en dosis de 0.5 L/Ha, (tebuconazol + triadimenol) en dosis de 0.5 L/Ha, triadimenol en dosis de 0.5 L/Ha, (trifloxystrobin + ciproconazol) en dosis de 0.2 L/Ha y carboxamida en dos dosis 0.75 L/Ha y 1 L/Ha. La investigación se realizó con base en un diseño experimental

de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y con un testigo absoluto en cada una de ellas. La determinación de la eficacia de cada uno de los fungicidas se realizó mediante muestreos en campo como se describe en la metodología indicada.

La información obtenida se empleó para elaborar una base de datos en el programa Microsoft Excel, realizando un análisis temporal de la enfermedad. Posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y una prueba múltiple de medias, de acuerdo al criterio Tukey 5%, con el uso del programa interno de Bayer S.A., Scientific Outlook, SCOUT en su versión 2.8. Según los resultados obtenidos se observó que el control sobre *Hemileia vastatrix* fue el mismo para todos los tratamientos, exceptuando al testigo absoluto el cual presentó un menor control.

Durante el Ejercicio Profesional Supervisado, se realizaron servicios de apoyo a Bayer S.A., los cuales fueron enfocados hacia el control de *Hemileia vastatrix* Berk & Br., evaluando la eficacia de diferentes planes de control fitosanitario en el cultivo de café.



CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO PARA CONTEXTUALIZAR LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA ROYA DEL CAFÉ (*Hemileia vastatrix* Berk & Br) Y EL CONTROL FITOSANITARIO UTILIZADO PARA SU CONTROL EN LA FINCA EL 80, ORATORIO, SANTA ROSA, GUATEMALA C.A.

1.1 PRESENTACIÓN

El grado de producción de los cultivos está en función de varios factores, principalmente del manejo fitosanitario, ya que en torno a este factor gira el control de enfermedades, que proporcionan al cultivo un aumento en su producción.

La empresa Bayer CropScience S.A. incorpora diferentes metodologías para realizar evaluaciones de diferentes productos químicos, para alcanzar la efectividad, eficacia y el uso de la dosis recomendada, de tal manera que contribuya a mejorar el manejo fitosanitario y por con ello poder incrementar el nivel de producción de los cultivos.

El cultivo de café ha sido uno de los cultivos que mayor impacto negativo ha tenido en el último período de tiempo; debido a grandes problemas fitosanitarios, principalmente por roya (*Hemileia vastatrix*) que se presentaron en gran escala en el año 2012; esto debido a la falta de recursos y la información básica a los productores para un adecuado control (ANACAFÉ 2012).

El presente diagnóstico está enfocado hacia la contextualización de la situación actual de la roya del café pretendiendo conocer el manejo fitosanitario que el productor realiza a lo largo del ciclo del cultivo.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El departamento de Santa Rosa, se ha caracterizado desde el punto de vista agrícola por la producción de café, entre San Marcos y Santa Rosa, se tiene un tercio del área total cultivada de café en el país, por lo que es uno de los cultivos de mayor importancia en el país (ANACAFÉ 1991).

Uno de los principales retos para el caficultor en esta región es controlar las enfermedades que al pasar los años se han diversificado y que además de ello han abarcado una mayor área, esto ha venido representando pérdidas en la producción y por lo tanto, reduciendo la rentabilidad de los cultivos (ANACAFÉ 2012).

La empresa Bayer S.A. a través del Departamento de Desarrollo Agronómico, evalúa nuevos productos determinando eficacia, dosis adecuadas, período de residualidad, etc. Destinados a la protección vegetal, para el caso de la región sudeste del país está enfocada al manejo fitosanitario en el cultivo de café.

1.3 MARCO REFERENCIAL

1.3.1 Características de la finca el 80

La finca el 80, está localizada a 78 Km. de la Ciudad de Guatemala sobre la Ruta CA-8 (ver figura 1.1). En la finca se cultivan las variedades de café Bourbon, y Catuaí. La Finca el 80, cuenta con las siguientes características climatológicas y coordenadas geográficas:

Altitud:	1,092 msnm	Precipitación pluvial:	1,250 mm/año
Temperatura:	18 a 25 °C	Humedad relativa:	61 a 82%
Latitud:	14°33'24" Norte	Longitud:	91°47'44" Oeste

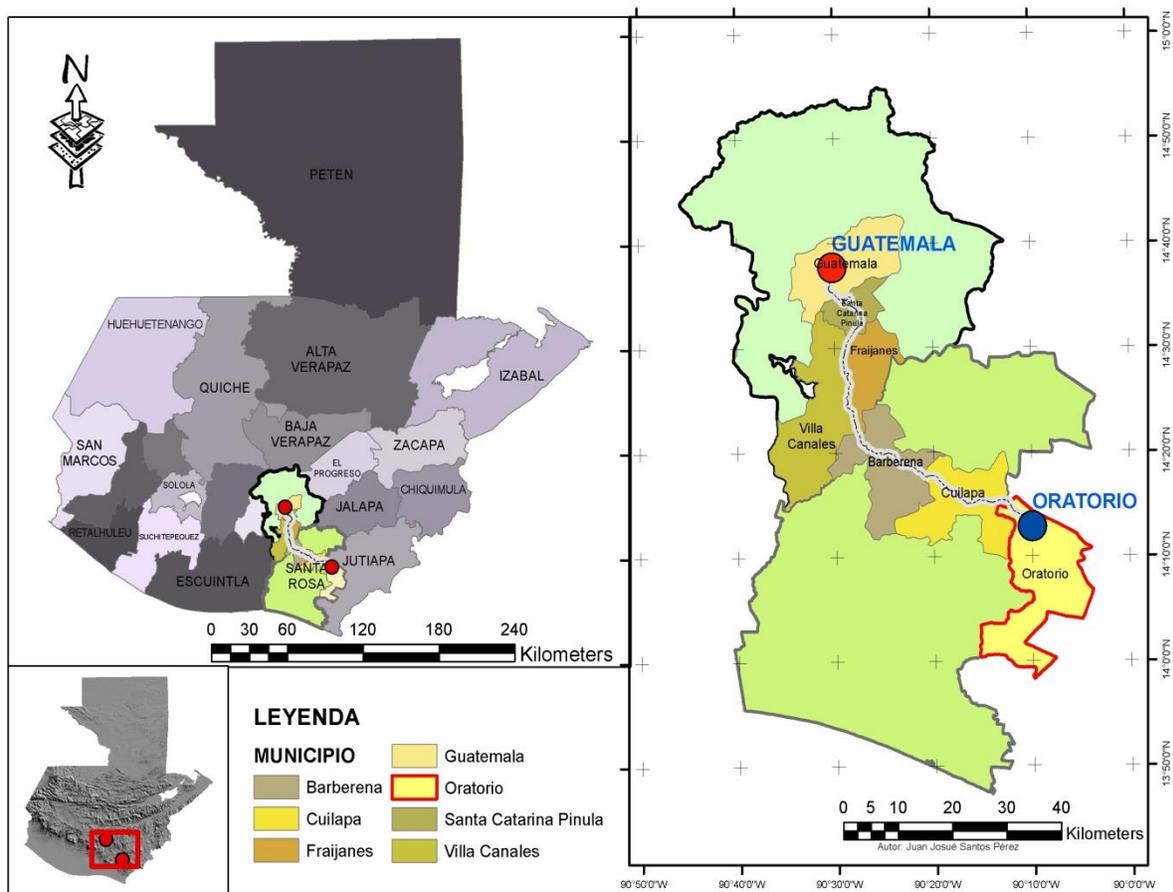


Figura 1.1 Mapa de ubicación de la finca el 80, Oratorio, Santa Rosa

1.3.2 Características específicas del ensayo

Altitud:	1,092 msnm
Variedad de café:	Catuaí Rojo
Distanciamiento de siembra:	1.4 m x 1.20 m
Edad de la plantación:	5 años
Tipo de sombra:	Banano

Según el dueño de la finca Don Manfredo, la enfermedad de la roya ha causado daños en los últimos años desde el 2010 hasta la actualidad (2013), sin embargo comenta que mediante un programa fitosanitario que utiliza en la finca han podido reducir significativamente el daño de la enfermedad. En el cuadro 1.1 se muestra el programa fitosanitario programado para el año 2012 el cual consistió en cinco aplicaciones de fungicidas sistémicos del grupo químico de los triazoles, las aplicaciones se realizaron en los meses de julio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

Cuadro 1.1 Programa de manejo fitosanitario del cultivo de café utilizado en 2012.

Fungicidas	Aplicaciones	Dosis/Ha
azoxystrobin + ciproconazol	1ra. Aplicación	300 cc
azoxystrobin + ciproconazol	2da. Aplicación	300 cc
tebuconazole + triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
tebuconazole	4ta. Aplicación	500 cc
ciproconazol	5ta. Aplicación	250 cc

Fuente: Elaboración Propia

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

Caracterizar la situación actual para determinar el daño ocasionado por *Hemileia vastatrix* y conocer el manejo fitosanitario que le proveen al cultivo del café, en la finca el 80, Oratorio, Santa Rosa, Guatemala C.A.

1.4.2 Específicos

- a) Determinar el nivel de daño ocasionado por *H. vastatrix* en la finca el 80, Oratorio, Santa Rosa.
- b) Identificar el plan de manejo fitosanitario utilizado en finca el 80, para el control de *H. vastatrix*.

1.5 METODOLOGÍA

1.5.1 Recopilación de información primaria

Se entrevistó al encargado de investigación y jefe de ventas del sector de la empresa BAYER CROPS SCIENCE S.A. para conocer el control químico mediante productos que están en el mercado.

Se entrevistó a técnicos de ANACAFÉ que trabajan en el área central de Santa Rosa, para conocer la perspectiva de la situación actual de la roya del café y medidas de control que utilizan.

1.5.2 Visita de Campo

Se realizó un recorrido por la finca el 80, para obtener un bosquejo del daño que causó *Hemileia vastatrix* durante el año 2012, además de realizar entrevistas con personas originarias del lugar dedicadas al cultivo de café con el fin de conocer el plan de manejo fitosanitario utilizado durante dicho año.

Se realizó un muestreo durante el mes de marzo para conocer la situación actual de la roya del café, determinando el grado de severidad causado por la enfermedad.

1.5.2.1 Método de muestreo

El método de muestreo se basó en la metodología empleada por ANACAFÉ, distribuyendo 2 sitios de muestreo (ver figura 1.2) en un área de 10 Ha. Cada sitio con un área de 0.18 Ha.



Figura 1.2 Sitio de muestreo para *H. vastatrix*. a). Sitio 1 b). Sitio 2

1.5.2.2 Colecta de las muestras

Se tomaron al azar 14 cafetos, colectando un total de diez hojas igualmente al azar de la parte baja, media y alta de la planta, y los 4 puntos cardinales (ver figura 1.3). Obteniendo un total de 140 hojas por sitio de muestreo.



Figura 1.3 Hojas identificadas en la parte superior, media e inferior de la planta

1.5.2.3 Análisis de la información

A. Determinación del nivel de severidad por sitio

Para cuantificar la severidad se le otorgó un valor de infección a cada hoja seleccionada (ver figura 1.4). El valor correspondió a: 0 (hoja sana), 1 (síntomas leves), 2 (síntomas moderados), 3 (síntomas severos), 4 (hoja totalmente dañada).

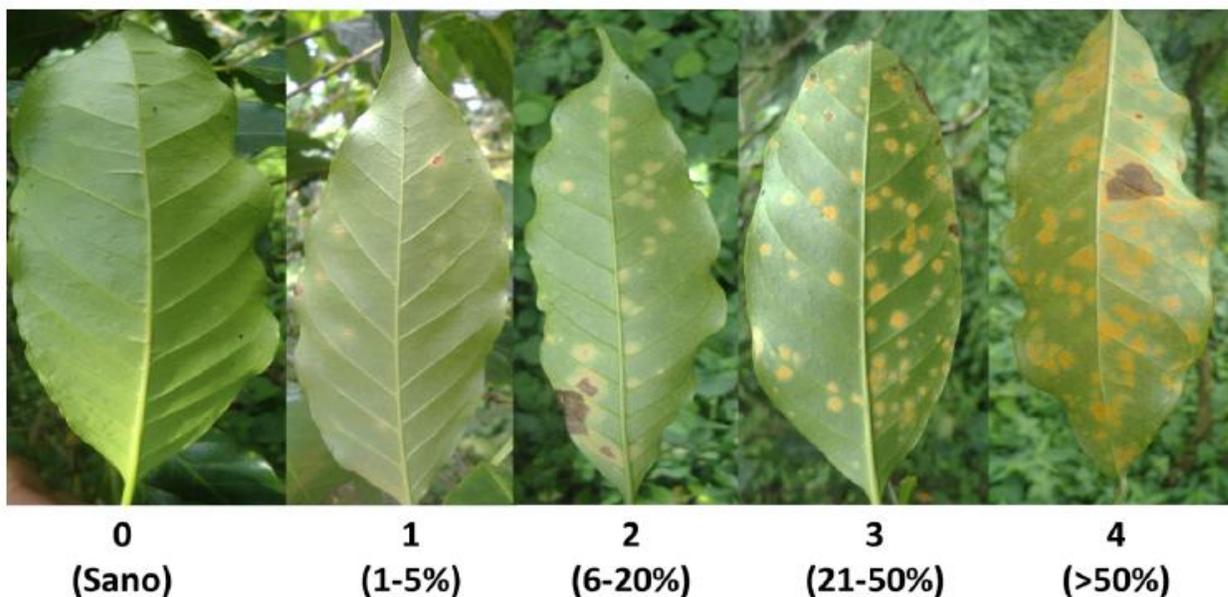


Figura 1.4. Escala diagramática para realizar la evaluación de severidad de la roya del café en hojas.

Fuente: Sistema Nacional De Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria

La severidad por sitio se calculó utilizando la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Severidad de roya} = \frac{\text{Número de hojas dañadas por sitio}}{\text{Hojas totales de la muestra}}$$

1.5.3 Recopilación de información secundaria

Se revisaron documentos científicos (revistas, artículos, documentos) sobre la epidemia de la roya, manejo fitosanitario para su control, manejo agronómico, en el cultivo de café.

1.6 RESULTADOS

1.6.1 Caracterización de la finca La Finca el 80

La Finca el 80 se encuentra ubicada a una altitud de 1,092 msnm, en el departamento de Santa Rosa en el municipio de Oratorio, ubicada en las coordenadas siguientes: 14°14'23" latitud Norte y 90°13'18" longitud Oeste.

La finca cuenta con un área total de 25 Ha, en la cual se encuentran establecidas variedades de café tales como Caturra y Catuaí, que son susceptibles a infección de roya (ANACAFÉ 1991; ANACAFÉ 2004).

1.6.2 Nivel de daño en finca el 80 ocasionado por *H. vastatrix*

La figura 1.5 muestra el grado de severidad en el cual se encuentra el cultivo de café durante el mes de marzo del año 2013, en los sitios evaluados se observa un comportamiento similar, debido a que ambos se encuentran en la categoría de nivel de daño de 0 a 2, siendo la categoría 0 y 1 la de mayor representación, indicando que existe un nivel de severidad de 0-5% según escala.

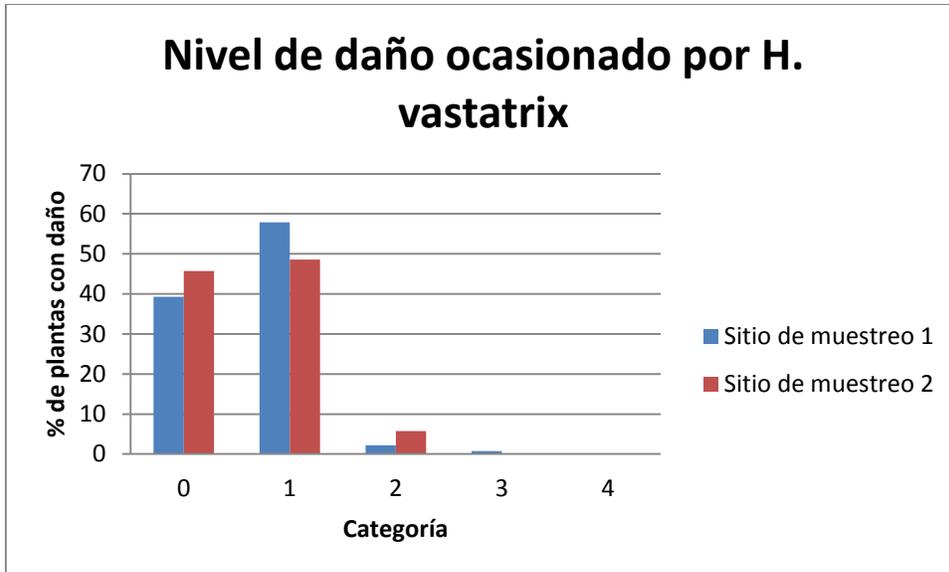


Figura 1.5 Nivel de daño ocasionado por *H. vastatrix*

En la finca el 80 se utilizó un plan de control fitosanitario con cinco fungicidas sistémicos para el control de roya del café (*Hemileia vastatrix*), realizando aplicaciones durante el año 2012, en los meses de julio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre (ver cuadro 1.2).

Cuadro 1.2 Plan de manejo fitosanitario utilizado en 2012.

Fungicidas	Aplicaciones
azoxystrobin + ciproconazol	1ra. Aplicación
azoxystrobin + ciproconazol	2da. Aplicación
tebuconazole + triadimenol	3ra. Aplicación
tebuconazole	4ta. Aplicación
ciproconazol	5ta. Aplicación

Fuente: Elaboración Propia

En la búsqueda de alternativas que permitan prolongar el control hacia *H. vastatrix*, es necesario evaluar productos de diferentes familia química: triazoles, estrobilurinas y nuevas moléculas; que permita incorporarlos en un manejo integrado, ayudando a contrarrestar la infección causada por *H. vastatrix* proporcionando un adecuado control para mitigar el daño aportando una solución al problema de esta enfermedad para así lograr un desarrollo adecuado del cultivo de café.

1.6.3 Situación actual de la roya según ANACAFÉ

La roya es una enfermedad del café ocasionada por el hongo *Hemileia vastatrix*, ataca principalmente las plantaciones de las variedades Caturra, Catuaí, Bourbon, Typica, Pache y otras susceptibles. En Guatemala se le conoce 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 (ANACAFÉ 2004).

Se identificó que la roya se manifiesta severamente en altitudes de 600 a 1,200 msnm. Esta enfermedad está relacionada con la alta carga fructífera, falta de fertilización, uso inadecuado de fungicidas y variabilidad climática, entre otros factores que debilitan la planta, haciéndola más susceptible a ataques severos (ANACAFÉ 2013).

A partir del año 2011 se observó un incremento de roya en las regiones cafetaleras del país, bajo diferentes condiciones a lo observado con anterioridad. Por ello, es necesario realizar inspecciones constantes en la plantación, acompañar los ciclos de producción del café, corregir deficiencias nutricionales y planificar las aplicaciones de fungicidas basado en información de la finca (ANACAFÉ 2013).

La figura 1.6 presenta el daño ocasionado a nivel regional causado por *H. vastatrix*, observando que para la región que contempla el departamento de Santa Rosa, presenta niveles de daño que van desde categoría 1 hasta categoría 4 siendo la más representativa las categorías 2 y 3 con niveles de daño de 37% y 36% respectivamente.

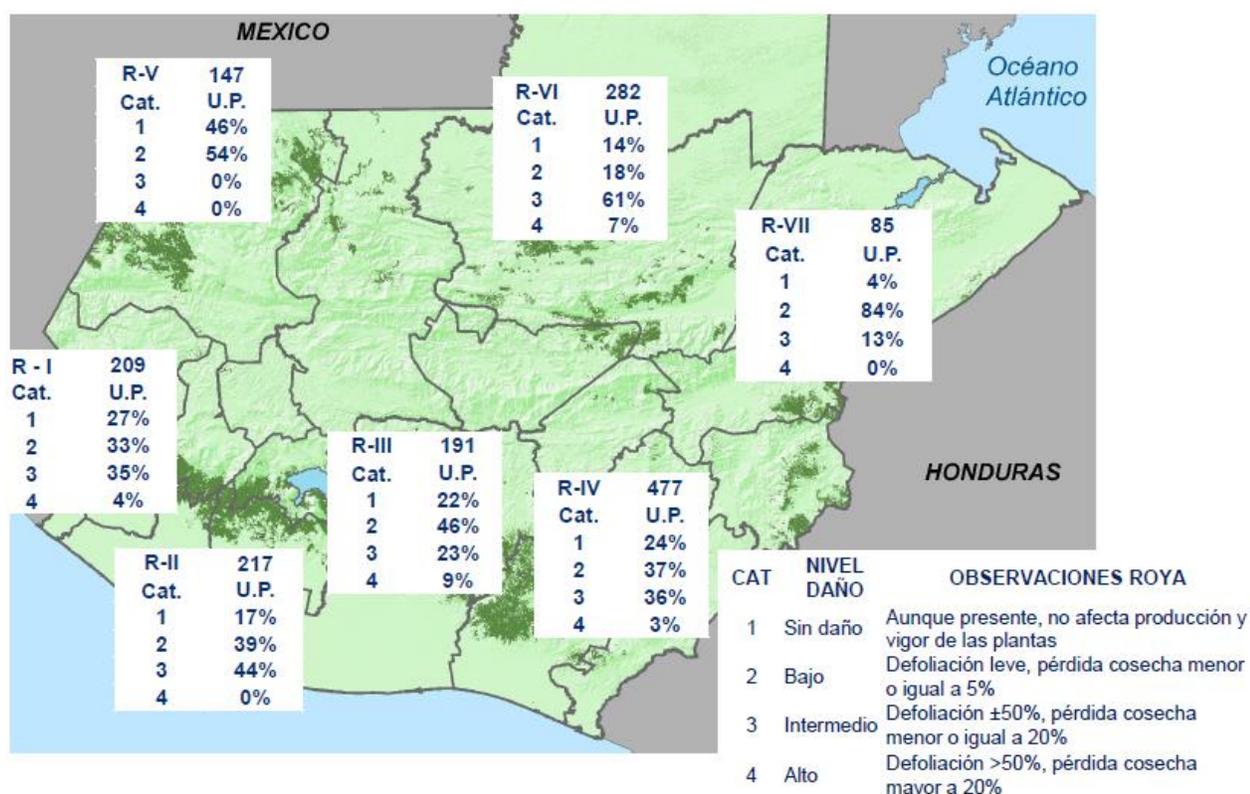


Figura 1.6 Estimación del impacto de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en el país en noviembre de 2012.

Fuente: ANACAFÉ 2013

1.6.4 Medidas de control de la roya del café

El Centro de Investigaciones en Café de ANACAFÉ (CEDICAFÉ) recomienda los siguientes fungicidas para control de *H. vastatrix* (ver cuadro 1.3).

Cuadro 1.3 Fungicidas recomendados por CEDICAFÉ para control de Roya del café

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis/Ha
FUNGICIDAS DE CONTACTO		
Caldo Bordelés	cobre	6-7 libras
Hidróxido de cobre	cobre	6 libras
Óxido de cobre	cobre	6 libras
Oxicloruro de cobre	cobre	7 libras
Timorex Gold	Melaleuca alternifolia	1450 cc
Vigilante	azufre + cobre	1450 cc
FUNGICIDAS SISTÉMICOS CON UN INGREDIENTE ACTIVO		
Opus 12.5 SC	epoxiconazol	500 cc
Alto 10 SL	cyproconazol	400 cc
Caporal 25 DC	triadimenol	500-700 cc
Atlas 25 EW	tebuconazol	600-800 cc
FUNGICIDAS SISTÉMICOS EN MEZCLA DE DOS INGREDIENTES ACTIVOS		
Silvacur Combi 30 EC	tebuconazol + triadimenol	500-700 cc
Duett 25 SC	epoxiconazol + carbendazim	500 cc
Amistar Xtra 28 SC	azoxystrobin + cyproconazol	500-600 cc
Opera	epoxiconazol + pyraclostrobin	1000 cc

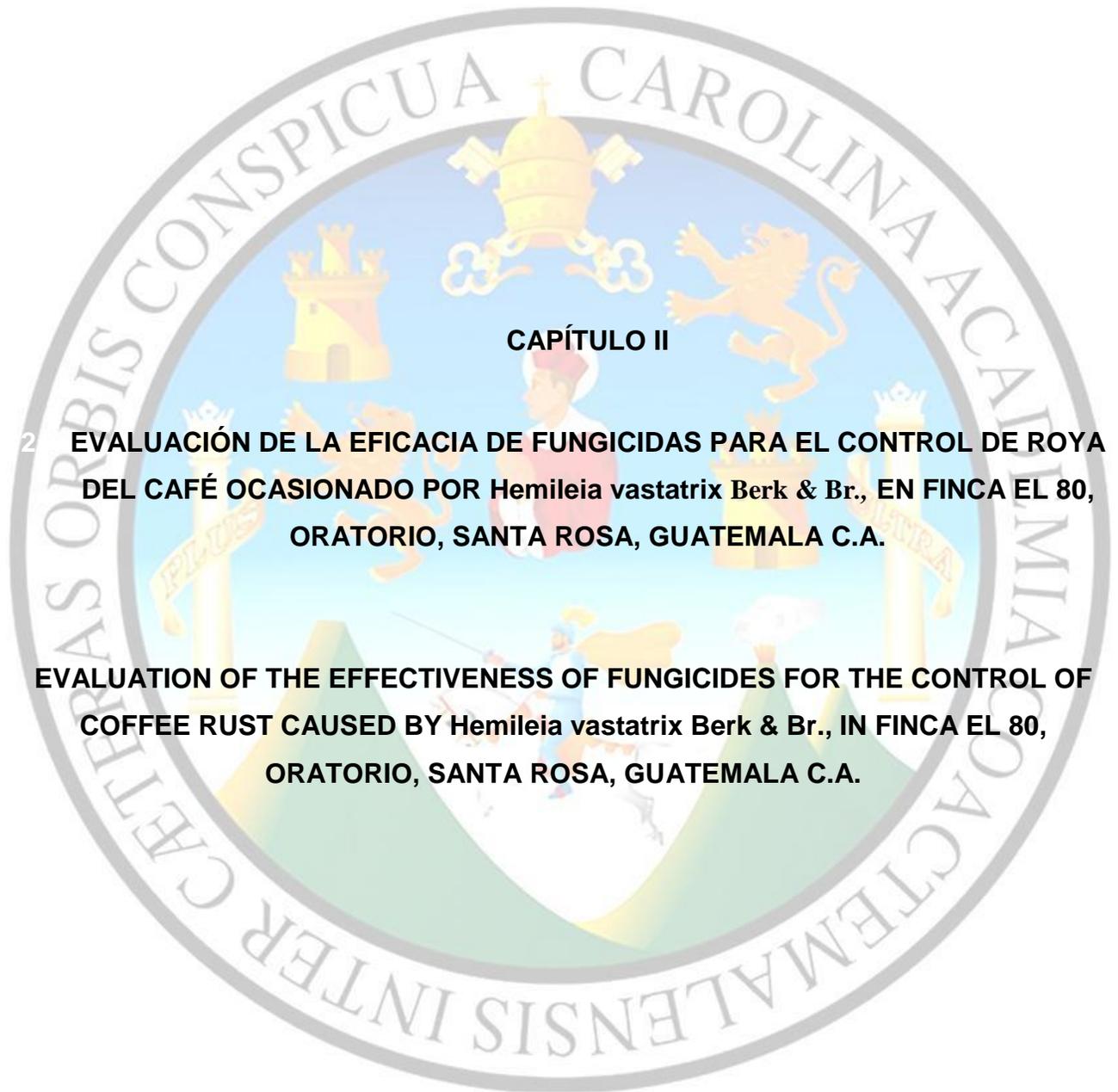
Fuente: CEDICAFÉ 2010

1.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a) La severidad ocasionada por *H. vastatrix* en la finca el 80, asciende a valores de 0-5%, indicando bajo niveles de daño; sin embargo la aplicación constante de fungicidas hace que los costos se incrementen, por lo que se busca alternativas que permitan prolongar el control hacia *H. vastatrix*.
- b) El nivel de daño estimado en noviembre de 2012 para la región IV, región la cual contempla a Santa Rosa, asciende a categoría 1, 2 y 3, afectando principalmente niveles de daño de categoría 2 y categoría 3 observándose niveles de daño tanto bajo como intermedio respectivamente.
- c) La finca el 80 en el año 2012 utilizó fungicidas sistémicos del grupo de los triazoles realizando cinco aplicaciones a lo largo del ciclo del cultivo.

1.8 BIBLIOGRAFÍA

1. ANACAFÉ (Asociación Nacional del Café, GT). 1991. Manual de caficultura. Guatemala. 247 p.
2. _____. 2004. Manual de caficultura, datos socioeconómicos del cultivo del café en Guatemala. Guatemala. 52 p.
3. _____. 2012. Recomendaciones para control de roya. 2012. (en línea). Consultado 8 mar 2013. Disponible en [http://www.anacafe.org/lifos/index.php/Recomendaciones ControlRoya](http://www.anacafe.org/lifos/index.php/Recomendaciones%20ControlRoya)
4. _____. 2013. Situación actual de la roya del café. 2013. (en línea). Consultado 6 mar 2013. Disponible en <http://amecafe.org.mx/download/Entregables%201.2/IV.Situaci%C3%B3n%20Actual%20ANACAFE%20Guatemala.pdf>
5. Bayer Centro América y El Caribe. 2013. Productos-fungicidas (en línea). Guatemala. Consultado 6 mar 2013. Disponible en <http://www.bayercropscience-ca.com/contenido.php?id=236>
6. CEDICAFÉ (Centro de Investigaciones en Café). GT. 2010. Manejo integrado de la roya del café. Guatemala. p. 5.
7. SINAVEF (Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, MX). 2013. Ficha técnica de la roya del cafeto (en línea). México. Consultado 8 jun 2013. Disponible en <http://amecafe.org.mx/downloads/FichaT%C3%A9cnicaRoyadelCafeto.pdf>



2.1 PRESENTACIÓN

El café es uno de los productos más comercializados en el mundo y en Guatemala desempeña un papel crucial en la economía agrícola y en la dinámica de generación de empleo. El cultivo del café en Guatemala se desarrolló hace tiempo empezando a exportar desde 1859 y desde entonces se ha constituido en uno de los principales cultivos de exportación del país, tanto por el valor de la producción como por la cantidad de divisas y empleo que genera (Schieber, E. 1974). Entre las variedades mayormente utilizadas en Guatemala destacan: Caturra que representa un 25% de las plantaciones de cafetos, Catuaí que ocupa el 25% del total de las plantaciones de cafeto a nivel nacional, y Bourbon que representa el 30% de las plantaciones de cafeto en el área productiva de café. (ANACAFÉ 2004).

El cultivo de café es de importancia debido a su consumo y venta en el ámbito nacional e internacional. El cultivo del café es fundamental en la historia del desarrollo de la economía guatemalteca, no solamente por el crecimiento económico al que se encuentra asociado, sino además por los efectos que tiene sobre la población rural del país.

Según el departamento de asistencia técnica de ANACAFÉ, en el año 2012 existió una reducción significativa en la producción de café en las regiones I, II, IV y VI, siendo los departamentos más afectados Chimaltenango, Santa Rosa y Sacatepéquez. A causa de esta problemática es necesario evaluar alternativas de manejo de la enfermedad para reducir este patógeno en las plantaciones de café principalmente en áreas ubicadas por debajo de los 1,000 msnm, ya que son las zonas donde la planta de café presenta mayor susceptibilidad al ataque del patógeno.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La roya del café es una enfermedad ocasionada por el hongo *Hemileia vastatrix* y es considerada una de las enfermedades principales en los países productores de café en el mundo ocasionando pérdidas económicas. La caficultura en Guatemala se ve afectada, ya que el café es uno de los cultivos de importancia para la generación de ingresos hacia el país, además de poseer una enorme relevancia cultural para la población a nivel nacional. Las proyecciones iniciales de producción exportable del ciclo que recién finalizó (2,013) eran de 4,8 millones de quintales de café oro. Para Guatemala durante el periodo de cosecha 2,012-2,013 el grado de pérdidas económicas ocasionadas por esta enfermedad asciende a un valor de 234.4 millones de dólares que representa una disminución de divisas de un 24% con relación al ingreso obtenido durante el período de cosecha 2,011-2,012 (ANACAFÉ 2013).

Hemileia vastatrix ocasiona una caída prematura de hojas afectando la fotosíntesis, se considera un factor de estrés que debilita los cafetos llegando a ocasionar muerte descendente severa de las ramas, provocando escasa floración y frutos pequeños, lo que representa pérdidas de producción.

El hongo vive principalmente en forma de micelio, uredias y uredosporas que permanecen en las hojas del ciclo productivo anterior. Las esporas son fácilmente diseminadas por viento, lluvia, trabajadores al momento de cosecha, entre otros y requiere alta humedad para poder germinar e infectar el cafeto (Calderón 2012).

Para contrarrestar el daño que provoca la roya en la planta de café, se justifica realizar investigaciones que permitan evaluar la eficacia de control de ingredientes activos.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1 Historia y origen del café en Guatemala

El cafeto (*Coffea arabica*) es originario de Etiopía de la región que circunda el lago Tana, África. En Guatemala los padres Jesuitas introdujeron el cafeto en 1760, quienes lo trajeron como planta ornamental para sus jardines de Antigua Guatemala. El primer registro del cafeto en plantación en 1800 como un cultivo en las orillas de la Ciudad de Guatemala sembrado por Don Juan Rubio y Gemir. En 1835, se da el decreto de octubre. (ANACAFÉ 2002).

A partir de 1860, surgen las fincas más grandes dedicadas al cultivo del cafeto en los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez, Suchitepéquez, Retalhuleu, Escuintla, Alta Verapaz, Jutiapa y Quetzaltenango, donde cobra particular renombre el café de Costa Cuca. En 1865, el café de Guatemala se hace presentar en la Exhibición Internacional de París. En 1871 el cultivo del cafeto era un negocio lucrativo se constituyó en el reglón principal de la economía de la nación y pasó a ocupar el primer lugar entre los artículos de exportación (ANACAFÉ 2004).

2.3.2 Botánica y morfología del café

2.3.2.1 Raíz

La raíz desempeña funciones de anclaje de la planta y de explorar el suelo, obtiene el agua y nutrientes de origen mineral y algunos de origen orgánico. Almacena reservas en forma de almidón y azúcares solubles. Las raíces dependen de las hojas para obtener alimentos derivados de proceso de la fotosíntesis y de hormonas para poder crecer y desarrollarse. En cambio los órganos aéreos dependen de las raíces para obtener agua, aminos ácidos y elementos minerales contenidos en el suelo naturalmente o proveídos a través de fertilizantes orgánicos, y/o inorgánicos. Entre las estructuras importantes de las

raíces también están los pelos radicales los que debido a su alto número y tamaño pequeño le permiten a la planta explorar la rizósfera del suelo (ANACAFÉ 1991).

2.3.2.2 Tallo y hojas

Entre las estructuras morfológicas importantes del tallo y ramas se encuentran las yemas. Contienen meristemos que dan origen al tallo, ramas e inflorescencias. Inicialmente las yemas están indiferenciadas pero conforme la planta de café crece éstas cambian de forma al diferenciarse en ramas o inflorescencias según la clase de estímulos externos a la planta (ANACAFÉ 1991).

La formación de todas las hojas opuestas se inicia en el ápice del tallo y las ramas. Desde el punto de vista funcional, en estas se desarrolla la producción de muchos de los alimentos y hormonas con las cuales la planta crece, se desarrolla y fructifica. Las hojas sirven de vehículo para absorber el anhídrido carbónico atmosférico y la energía radiante del sol así como la pérdida de agua en forma de vapor a través de estomas (ANACAFÉ 1991).

2.3.2.3 Flor

Flores bisexuales, actinomorfas rara vez, zigomorfas. Las yemas florales están distribuidas en forma axilar en las ramas laterales a nivel de la base de las hojas en cada nudo y en variedades altamente productivas pueden encontrarse de 40 a 45 flores por nudo, queda al final 15 a 20 frutos por nudo. Las yemas son de naturaleza vegetativa y por estímulos de días cortos entre los meses de octubre a diciembre se transforman paulatinamente en yemas reproductivas o florales. Los botones crecen lentamente unos meses hasta alcanzar el tamaño de 5 a 8 mm y detienen su crecimiento iniciando un período de reposo que puede durar semanas. Las flores individuales son completas hermafroditas y auto fértiles, los cafetos de todas las variedades de *Coffea arabica* tienen un alto porcentaje de autofecundación con una polinización cruzada baja (ANACAFÉ 1991).

2.3.2.4 Fruto

El fruto del café es una drupa, cápsula o baya. En el tercer y medio mes de la floración, en el fruto se forma el pergamino y se lignifica definiéndose el tamaño que tendrá el grano. Déficit hídrico en este período puede provocar secamiento y purga de frutos tiernos. El fruto ha consumido nitrógeno (80%) fósforo (85%) y potasio (71%). Inicia llenado del grano y formación de la semilla, el grano se endurece se forma el mucílago y el fruto alcanza su madurez fisiológica como fruto sazón. Llega su a madurez caracterizado por el color de la cáscara, después de 8 a 9 meses de la floración y está listo para corte (ANACAFÉ 2006; López Portillo, R.J. 2003).

2.3.2.5 Semilla

La mayor parte de la semilla la forma el endospermo que es de consistencia dura y color verdoso. El embrión que formara la futura planta se localiza dentro de la semilla a nivel de la base con la apariencia de una pequeña paleta, alrededor de la semilla se encuentra la película plateada que es visible cuando se seca y luego el pergamino. Para el desarrollo del embrión es necesaria la madurez de la semilla, condiciones favorables de humedad y temperatura (ANACAFÉ 1991).

2.3.2.6 Propagación

El café se propaga en gran escala por medio de plantas obtenidas de semilla, o vegetativamente, por medio de injertos o estacas. Para el caso de la utilización de semillas, para *C. arabica* el almacenamiento debe ser bajo aire seco de a temperaturas de 10°C con humedad de 10-11% (ANACAFÉ 2006).

El vivero se sitúa en el mejor terreno disponible. Se utiliza tierra de buena calidad para minimizar las enfermedades. Los almácigos deben estar bajo sombra ligera. Dentro del vivero se disponen hileras espaciadas 15 cm, a lo largo de los surcos. El material de

siembra se selecciona cuidadosamente en cuanto a su adaptabilidad a las condiciones locales, su capacidad de alto rendimiento, resistencia a las enfermedades y demás criterios. Cuando las plantas alcanzan altura de 15 a 20 cm, alrededor de seis a ocho meses después de la siembra, las plántulas están listas para su trasplante (ANACAFÉ 2006).

2.3.3 Especies y variedades de café en Guatemala

Según ANACAFÉ (1991), en Guatemala se cultivan variedades de la especie *Coffea arabica*. Es la más difundida en el mundo con 70%-75% de la producción mundial. Otra especie es *Coffea canephora*, con Robusta, como la variedad más importante. En general la especie robusta ha mostrado resistencia y/o tolerancia a plagas y enfermedades (nematodos, roya), para Guatemala esta variedad representa únicamente un 0.1% del café exportado. Según observaciones de campo, en San Marcos y Santa Rosa, en algunas fincas, se está utilizando *Coffea liberica* como patrón de *C. arabica*. Entre las principales variedades comerciales susceptibles a la roya del café en Guatemala están las siguientes:

2.3.3.1 Bourbón

Su producción es de 20 a 30 por ciento mayor que la de Typica, por lo que dicha variedad fue sustituyéndose paulatinamente por el Bourbón. Su silueta es de forma ligeramente cónica menos acentuada que Typica. Es un arbusto de porte alto con ramas secundarias más abundantes que el de Typica; las ramas laterales tienen un ángulo más cerrado con entrenudos cortos. Los brotes son de color verde, la hoja es más ancha que la de Typica y sus bordes son más ondulados, el fruto es de menor tamaño y un poco más corto. Se adapta a regiones con altitud hasta de 1,676 metros (ANACAFÉ 1991; ANACAFÉ 2004).

2.3.3.2 Catuaí

Es el resultado del cruce artificial de las variedades Mundo Novo y Caturra realizado en Brasil. Las primeras introducciones a Guatemala se hicieron alrededor de 1,970. El fruto no se desprende fácilmente de la rama, una ventaja para las zonas donde la maduración coincide con períodos de lluvias intensas. Se adapta bien en de altitud de 609 m a 1,371 m en la Boca Costa; de 1,067 m de altitud a 1,674.4 m en la zona central, oriental y norte del país. Es una variedad que necesita de buen programa de manejo, especialmente la fertilización (ANACAFÉ 1991; ANACAFÉ, 2004).

2.3.3.3 Pache común

Es una mutación de Typica encontrada en la finca El Brito, Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa, en 1,949. Tiene porte bajo, buena ramificación secundaria, entrenudos cortos y abundante follaje y termina en una copa bastante plana o "Pache". Las plantaciones de Pache se establecieron, principalmente, en oriente, donde su adaptabilidad y producción son satisfactorias. También se cultiva en algunas fincas de la Boca Costa. En general, se adapta bien en altitudes de 1,067 a 1677 metros (ANACAFÉ 1991; ANACAFÉ 2004).

2.3.3.4 Pache colís

Se encontró en Mataquesuintla, Guatemala, en una granja que consiste en Caturra y Pache común. Café de frutos y hojas grandes. Pache colís ofrece cierta resistencia a derrite, normalmente crece a 0.8-1.25 metros. Se adapta bien a altitudes de 915-1829 metros de altitud con temperaturas entre 20-21 ° C (ANACAFÉ 1991; ANACAFÉ 2004).

2.3.3.5 Caturra

Es una mutación de Bourbon, descubierta en Brasil. Es de alta producción y buena calidad. Requiere buen manejo cultural y adecuada fertilización, en caso contrario puede agotarse rápidamente. Se adapta bien en las diferentes condiciones regionales del país (ANACAFÉ 1991; ANACAFÉ 2004).

2.3.4 Densidades de siembra y rendimientos de café en Guatemala

La densidad de siembra en promedio se utiliza 3,500 plantas de cafeto por manzana; y el rendimiento promedio de café en estado pergamino es de 1,000 kg de café pergamino por hectárea (ANACAFÉ 2002).

2.3.5 Límites hídricos para el cultivo de *Coffea arabica*

Se establece que para café arabica (*C. arabica*) se tienen exigencias hídricas semejantes a robusta relacionadas a las condiciones del suelo, en los siguientes intervalos: apta deficiencia hídrica anual menor 150 mm, marginal 150 – 200 mm e inapto deficiencia hídrica anual mayor de 200 mm.

2.3.6 Enfermedades del café

El cafeto es atacado por diferentes fitopatógenos que provocan enfermedades entre las cuales se puede citar la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.), mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides*), ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk y Court. Sacc), phoma (*Phoma costarricensis*), mal de hilachas (*Pellicularia koleroga*), mal rosado (*Corticium salmonicolor*), Bacteriosis del cafeto (*Xylella fastidiosa*). Este conjunto de enfermedades, son controladas en su mayoría por los agricultores por medio de productos químicos y manejo cultural (Guerra Castillo 2004).

2.3.6.1 *Hemileia vastatrix*

B. Patogénesis de la roya del cafeto

En general todas las especies de café son atacadas en mayor o menor grado por *H. vastatrix*. La planta de café es susceptible al ataque de la roya durante todas las etapas de desarrollo, desde el estado cotiledonar hasta la etapa productiva en el campo (Rayner, 1961).

a) Agente etiológico

La roya del cafeto es causada por *Hemileia vastatrix* Berk & Br. El micelio de este hongo se encuentra dentro del mesófilo, consiste de hifas hialinas, de aspecto desigual y ramificado; el diámetro de las hifas es uniforme y oscila entre 5 y 6 μ m, penetran mediante ramificaciones cortas, filiformes, que terminan en expansiones ovoides, de 7 a 8 x 4.5 μ m, que contienen citoplasma denso con uno a dos gránulos refringentes, formando los haustorios y sirven como órganos de absorción de alimentos. Existen más de 30 razas fisiológicas identificadas para el género *Hemileia*, la más generalizada a nivel mundial es la raza II (Rayner, 1961).

La clasificación de la roya del cafeto es (Kirk et al., 2008):

División: Basidiomycota

Subdivisión: Pucciniomycotina

Clase: Pucciniomycetes

Orden: Pucciniales

Familia: Pucciniaceae

Género: *Hemileia*

Especie: *H. vastatrix* Berk. & Br.

b) Biología de la roya del café

La roya del café es provocada por el hongo *Hemileia vastatrix* que pertenece al orden Pucciniales, estos tienen la característica de ser parásitos obligados y pueden crecer solamente en los tejidos de la planta hospedera. Las royas son capaces de formar hasta cinco tipos de esporas, pero en el caso de *H. vastatrix*, por estar en una planta tropical o sub-tropical no necesita de tantos estadios y producen uredosporas y teliosporas (Subero 2001).

c) Germinación de la roya del café

La germinación de las uredosporas en el envés de una hoja de café húmeda puede iniciar en una hora. Una uredospora germinará normalmente a través de varios poros germinativos pero solamente uno tendrá éxito en su crecimiento, luego crece un tubo germinativo que permanece sin ramificarse por algún tiempo, pasándole el contenido anaranjado y granuloso de la espora. Después puede formar ramificaciones; de crecimiento limitado (Rayner, 1961, CENICAFÉ 2011).

Los síntomas aparecen 14 días después de la inoculación y la esporulación comienza después de 2 a 4 días de haber aparecido los síntomas. Se ha determinado que se requiere agua para la germinación de las uredosporas, y que ésta ocurre entre 3 - 5 horas a 23 °C, la formación de apresorios toma de 7 - 9 horas (Villegas-García, C; Baeza-Aragón, CA. 1990)

d) Colonización de *Hemileia vastatrix*

Una vez ha penetrado el interior de la hoja, el hongo desarrolla unas estructuras denominadas haustorios, los cuales entran en contacto con las células de la planta, y extraen nutrientes para su crecimiento. Cuando las células del hospedante son invadidas,

los cloroplastos se tornan gradualmente amarillentos que son reflejados en las hojas, siendo estos los primeros síntomas del cafeto (Arneson, P.A. 2000).

e) Reproducción de *Hemileia vastatrix*

Transcurridos 30 días, después de la colonización, el hongo está lo suficientemente maduro para diferenciarse en estructuras denominadas soros, que son las encargadas de producir nuevas urediniosporas, a razón de 1,600 por milímetro cuadrado (mm²) de hoja, por un período de 4 a 5 meses y serán dispersadas para iniciar el nuevo ciclo. El tiempo transcurrido desde la infección hasta la producción de esporas se denomina periodo de latencia (Villegas G.C. 1985).

f) Esporulación de la roya del cafeto

En el caso de *H. vastatrix* produce uredosporas y en raras ocasiones teliosporas de las cuales se desconoce su hospedero y papel en el ciclo biológico de la roya. *H. vastatrix* infecta su huésped únicamente a través del estoma por lo que no rompe la epidermis permitiendo observar el proceso de esporulación. Las estructuras esporulantes surgentes de un estoma son una estructura compleja que muestra la formación de esporas por debajo de una membrana envolvente, tan pronto empieza la diferenciación de las esporas esta membrana o matriz se rompe o puede ser reabsorbida (Arneson, P.A. 2000).

La figura 2.1 presenta la patogénesis de *Hemileia vastatrix* en el cual se muestra el proceso de germinación, colonización y multiplicación de la roya del cafeto.

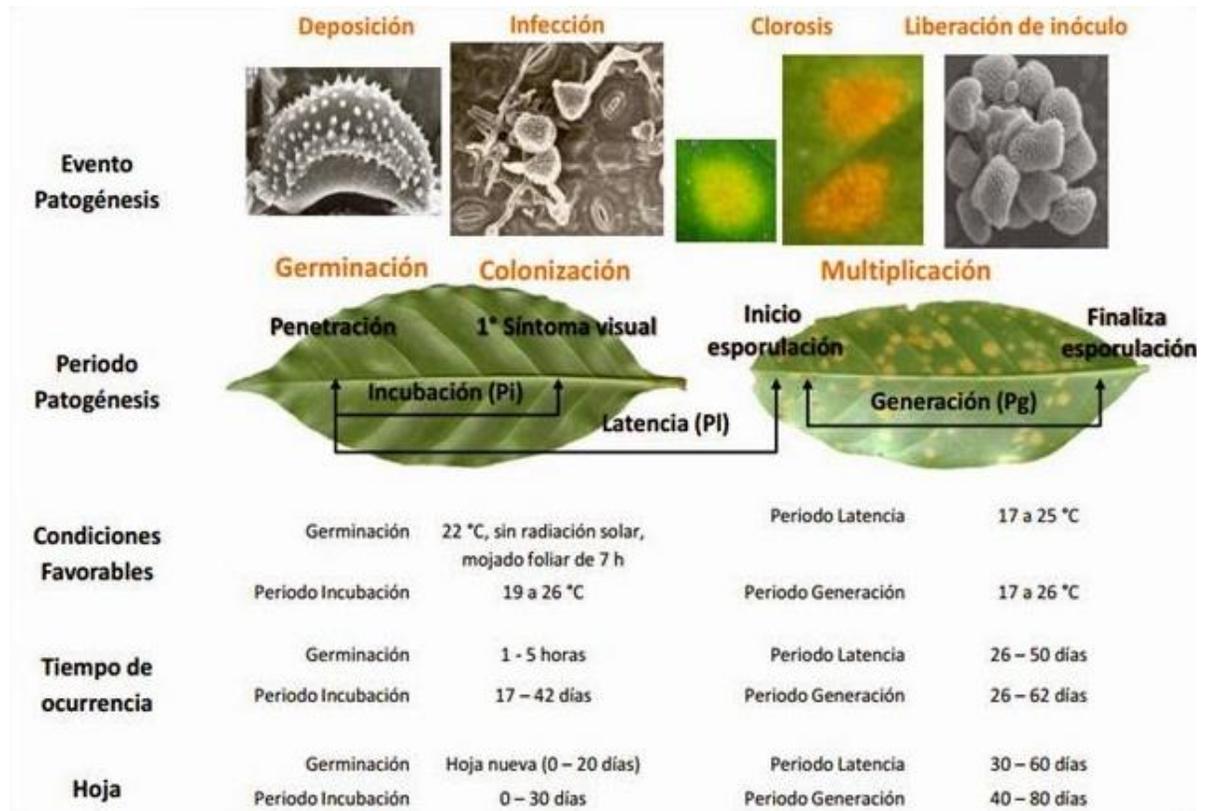


Figura 2.1 Patogénesis de *Hemileia vastatrix*

Fuente: Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (SINAVEF) 2013.

La enfermedad se caracteriza por presentar pequeñas manchas redondeadas conocidas como pústulas, de color amarillo naranja y polvorienta en el envés de las hojas. Inicialmente, el área afectada por una sola infección tiene un diámetro de aproximadamente 3 mm, pero gradualmente aumenta el tamaño hasta 2 cm o más y tiende a unirse con otras infecciones para formar una lesión más o menos irregular que a veces puede abarcar gran parte de la superficie foliar (Rayner, 1961).

C. Control de la roya

El control químico es uno de los componentes más importantes en el manejo integrado de la roya del cafeto cuando se tienen plantaciones de café susceptibles a la enfermedad. El éxito de las aspersiones dependerá del adecuado manejo agronómico del cultivo y de la correcta tecnología de aplicación (calibración, volumen de aplicación y planificación de las aplicaciones) para lograr una alta efectividad biológica del fungicida y mantener al mínimo los niveles de roya sobre el follaje (ICAFE 2013; Pappa, F; Calderón Estrada, G. 2013).

a) Control químico

i. Fungicidas de contacto

Son fungicidas generalmente basados en cobre y que solamente tienen efecto inhibiendo la germinación del patógeno y, en ocasiones, la penetración, y por lo tanto su aplicación deberá iniciarse antes de que el patógeno se establezca en los tejidos foliares, a que estas moléculas no son capaces de traspasar la cutícula foliar (CENICAFÉ 2011).

ii. Fungicidas sistémicos

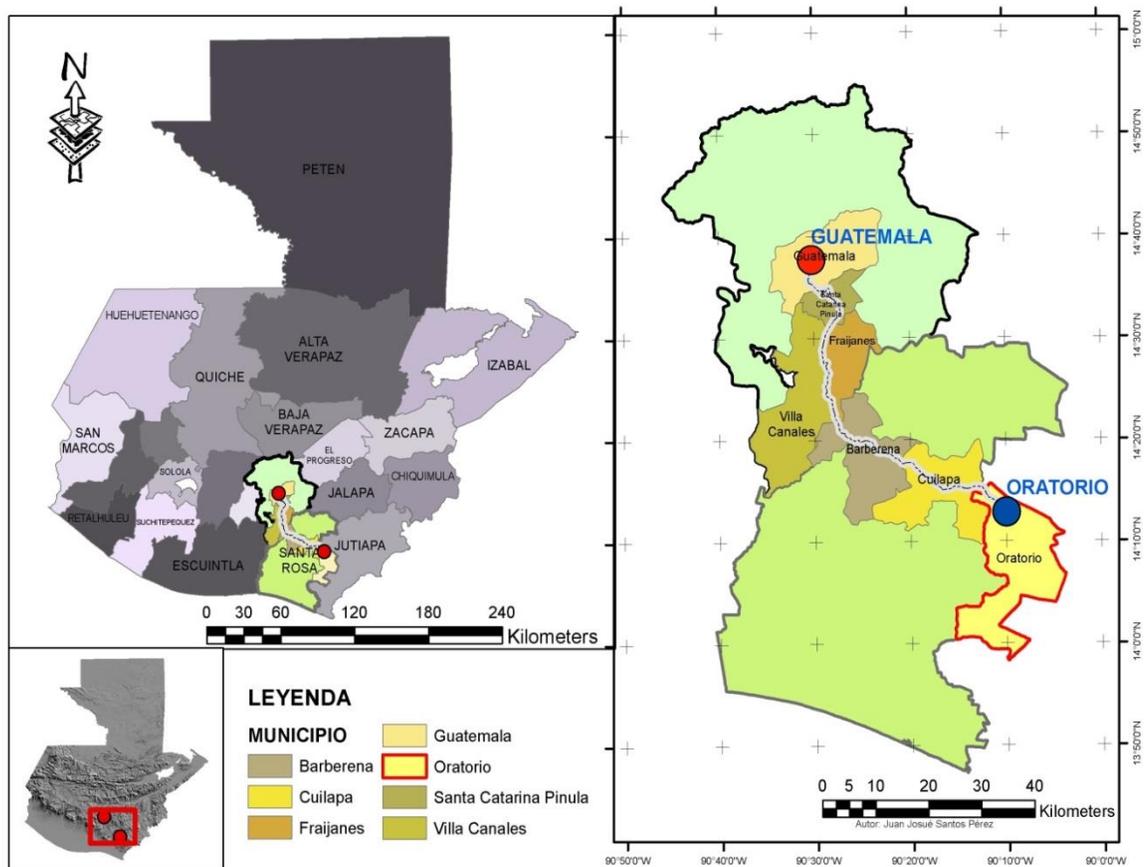
A diferencia de los productos protectores basados en cobre, los fungicidas sistémicos penetran en la planta y tienen la posibilidad de moverse de manera traslaminar, es decir del haz al envés de la hoja. Estos fungicidas tienen diferente movilidad en la hoja, es así como el producto tiene la capacidad de desplazarse por el mesófilo del parénquima llegando cerca de la endodermis (CENICAFÉ 2011).

2.4 MARCO REFERENCIAL

2.4.1 Características de la finca el 80

La figura 2.2 muestra la ubicación de la finca el 80, localizándose a 78 Km. de la Ciudad de Guatemala sobre la Ruta CA-8. En la finca se cultivan las variedades de café Bourbon, y Catuai. La Finca el 80, cuenta con las siguientes características climatológicas y coordenadas geográficas:

Altitud:	1,092 msnm	Precipitación pluvial:	1,250 mm/año
Temperatura:	18 a 25 °C	Humedad relativa:	61 a 82%
Latitud:	14°33'24" Norte	Longitud:	91°47'44" Oeste



Figuras 2.2 Ubicación del ensayo de evaluación de fungicidas para el control de *Hemileia vastatrix*.

2.4.2 Características específicas del ensayo

Altitud:	1,092 msnm
Variedad de café:	Catuaí Rojo
Distanciamiento de siembra:	1.4 m x 1.20 m
Edad de la plantación:	5 años
Tipo de sombra:	Banano

Según el dueño de la finca Don Manfredo, la enfermedad de la roya ha causado daños en los últimos años desde el 2010 hasta la actualidad (2013), sin embargo comenta que mediante un programa fitosanitario que utiliza en la finca han podido reducir significativamente el daño de la enfermedad. El programa fitosanitario programado para el año 2012 consistió en cinco aplicaciones de fungicidas sistémicos del grupo químico de los triazoles, las aplicaciones se realizaron en los meses de julio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre (ver cuadro 2.1).

Cuadro 2.1 Programa de manejo fitosanitario del cultivo de café utilizado en 2012.

Fungicidas	Aplicaciones	Dosis/ha
azoxystrobin + ciproconazol	1ra. Aplicación	300 cc
azoxystrobin + ciproconazol	2da. Aplicación	300 cc
tebuconazole + triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
tebuconazole	4ta. Aplicación	500 cc
ciproconazol	5ta. Aplicación	250 cc

Fuente: Elaboración Propia

2.4.3 Identificación de fungicidas utilizados en la investigación

El cuadro 2.2 presenta los fungicidas empleados durante la investigación, modo de acción y mecanismo de acción.

Cuadro 2.2 Fungicidas utilizados

Nombre Comercial	Ingrediente Activo	Modo de Acción	Mecanismo de Acción
Amistar Xtra® 28 SC	azoxystrobin + ciproconazol	Sistémico y mesostémico	azoxystrobin inhibe la respiración mitocondrial y ciproconazol la síntesis del ergosterol.
Silvacur Combi® 30 EC	tecubonazol + triadimenol	Sistémico	Inhibición de la biosíntesis de ergosterol.
Caporal® 25 DC	triadimenol	Sistémico	Inhibición de la biosíntesis de ergosterol.
Esfera Max® 53.5 SC	trifloxystrobin + ciproconazol	Sistémico y mesostémico	azoxystrobin inhibe la respiración mitocondrial y ciproconazol la síntesis del ergosterol.
-----	Carboxamida	Sistémico	Biosíntesis de melanina, Inhibidores de dehidratasa

Fuente: Bayer CropScience 2009; Syngenta 2013

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 General

Evaluar la eficacia de fungicidas para el control de roya del café ocasionada por *Hemileia vastatrix* Berk & Br., en la finca el 80, Oratorio, Santa Rosa, Guatemala C.A.

2.5.2 Específicos

- a) Evaluar la eficacia de los principales fungicidas sistémicos para el control de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.).
- b) Realizar un análisis temporal sobre el comportamiento de la roya bajo el efecto de los diferentes fungicidas.
- c) Realizar un análisis de costos para las diferentes aplicaciones de fungicidas.

2.6 HIPÓTESIS

Se espera que trifloxistrobin + ciproconazol aplicado en el mes de mayo sea el más eficaz en el control de roya del café, debido a que este fungicida consiste en la mezcla de dos ingredientes activos con diferente mecanismo de acción.

2.7 METODOLOGÍA

2.7.1 Diseño experimental

El diseño que se utilizó en esta investigación fue el de bloques completos al azar. Dadas las condiciones bajo las que se realizó el ensayo de relativa heterogeneidad de las parcelas, en función de la distribución natural de la enfermedad y limitantes propias de la topografía del terreno, se estableció una parcela para cada tratamiento.

2.7.2 Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Significa que el efecto de la variable a medir depende de la media general, del efecto del de las características del fungicida, del efecto de bloque o repetición y del error experimental asociado a la unidad experimental.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \quad i = 1, \dots, t \quad j = 1, \dots, b$$

μ = media general

τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento

β_j = efecto del j-ésimo bloque

E_{ij} = error experimental en la unidad j del tratamiento i

2.7.2.1 Hipótesis estadísticas

Ho: $\alpha = 0$

Ha: $\alpha \neq 0$

Ho: Todos los fungicidas presentan la misma eficacia para el control de roya del café.

Ha: Al menos uno de los fungicidas presenta una mejor eficacia de control que el testigo absoluto.

A. Hipótesis para la variable incidencia

Ho: No existe diferencia significativa de incidencia de roya del café entre tratamientos.

Ha: Existe diferencia significativa en la incidencia de roya del café en al menos un tratamiento.

B. Hipótesis para la variable severidad

Ho: No existe diferencia significativa de severidad de roya del café entre tratamientos.

Ha: Existe diferencia significativa en la severidad de la roya del café en al menos un tratamiento.

C. Hipótesis para la variable defoliación

Ho: No existe diferencia significativa en el porcentaje de defoliación entre tratamientos.

Ha: Existe diferencia significativa en el porcentaje de defoliación entre tratamientos.

2.7.3 Selección e identificación de las parcelas

Se delimitaron 28 parcelas de 4 surcos y 10 plantas cada una, en cada parcela se dejó 1 surco de borde tanto en la parte superior de la parcela como en la parte inferior, y 3 plantas de borde al inicio del surco dentro de la parcela neta, de esta manera obtuvimos una parcela neta de 2 surcos y de 5 plantas de café en cada uno (ver figura 2.3).

2.7.3.1 Parcela experimental

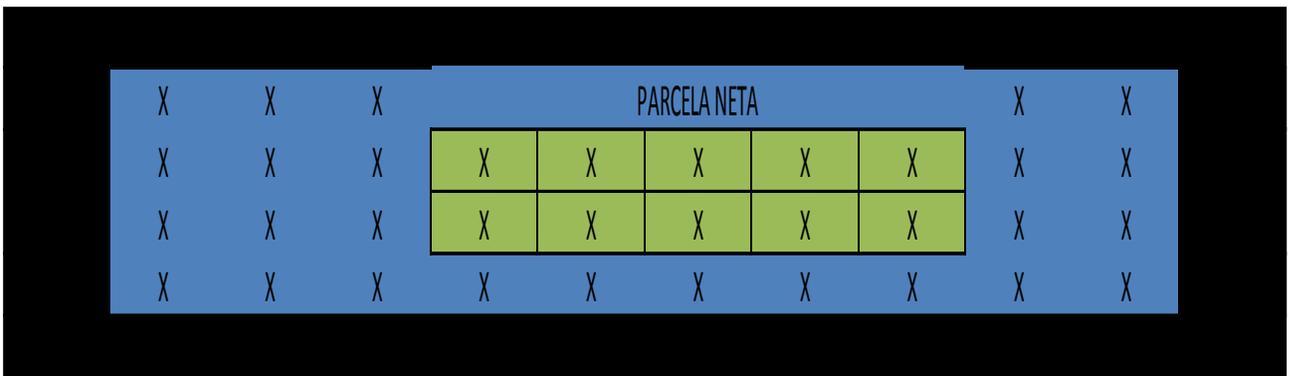


Figura 2.3 Croquis de la parcela experimental

2.7.3.2 Distribución de tratamientos en el campo

Debido a las condiciones del área experimental, se establecieron cuatro repeticiones de cada tratamiento (ver figura 2.4).

R1							CALLE PRINCIPAL
T7	T5	T3	T1	T4	T6	T2	
R2							
T6	T3	T2	T4	T1	T5	T7	
R3							
T4	T2	T3	T1	T6	T7	T5	
R4							
T5	T3	T7	T2	T6	T4	T1	

Figura 2.4 Croquis de distribución de tratamientos en el campo

2.7.3.3 Identificación de la parcela e identificación de la bandola

Seleccionadas las parcelas se procedió a delimitarlas, para esto se utilizó una cinta color amarilla marcando en cada uno de los extremos de la parcela, además se contó con un rótulo para el ensayo en donde se detalló el nombre de la investigación.

Se marcaron 2 bandolas en cada una de las plantas dentro de la parcela neta, estas identificadas como B1PTR (en la parte superior), en donde P es el número de planta, T es el número de tratamiento y R es el número de repetición y B2PTR (en la parte inferior) para esto se utilizó etiquetas de nylon de color azul las cuales se colocaron en cada una de las bandolas seleccionadas (ver figura 2.5).

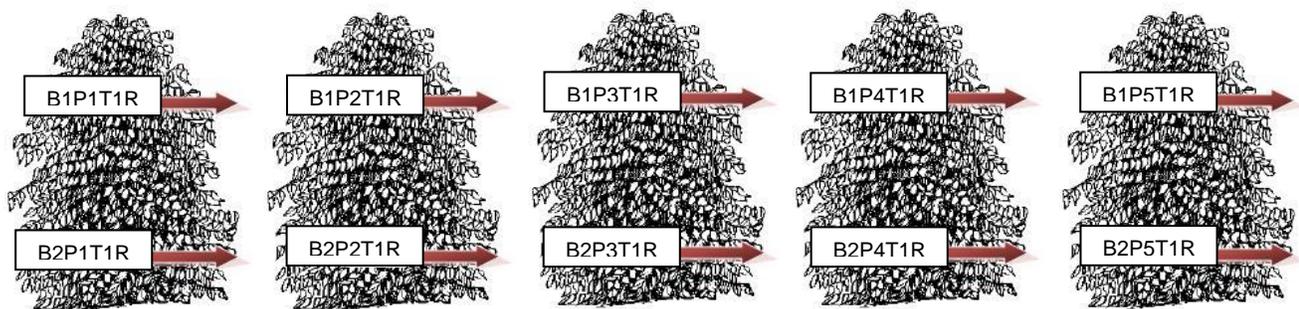


Figura 2.5 Bandolas identificadas en la parte superior e inferior de la planta

2.7.4 Aplicación de los tratamientos

El monitoreo de la enfermedad se realizó durante el mes de mayo hasta el mes de octubre. Las aplicaciones comenzaron luego de realizar el muestreo de incidencia de la enfermedad durante la cuarta semana de mayo en las parcelas establecidas dentro del ensayo, luego se continuó con el monitoreo cada 15 días. Se realizó una segunda aplicación a los 30 días siguientes, hasta llegar a un máximo de tres aplicaciones al finalizar el mes de julio.

2.7.4.1 Tipo y equipo de aplicación

La aplicación fue terrestre y dirigida al follaje de los cafetos. Se utilizó una aspersora de mochila la cual trabaja a 45 psi y con una boquilla de cono hueco (TX-10 Spray System).

2.7.4.2 Dosis y volúmenes de aplicación:

El cuadro 2.3 muestra los tratamientos evaluados y las dosis utilizadas.

Cuadro 2.3. Dosis utilizada

Tratamiento	Dosis/Ha
Testigo absoluto	Sin aplicación
azoxystrobin + ciproconazol	500 cc
tebuconazol + triadimenol	500 cc
triadimenol	500 cc
trifloxystrobin + ciproconazol	200 cc
carboxamida Dosis 1 (D1)	750 cc
carboxamida Dosis 2 (D2)	1,000 cc

Fuente: Elaboración propia

Se alcanzó un volumen de aplicación de 546 lts/Ha, para ello el equipo se calibró previo a la aplicación de los tratamientos.

2.7.5 Lectura y cuantificación de la roya del café

Las lecturas se efectuaron a cada 15 días a partir del mes de mayo de 2013, para obtener un total de 10 lecturas al final de la investigación.

Para realizar las lecturas se seleccionaron 10 plantas en cada parcela, y se tomaron los datos en 2 bandola identificadas.

En cada bandola se realizó cuantificación de hojas totales, hojas infectadas, severidad por hoja.

2.7.5.1 Variables de respuesta

A. Número de hojas totales

Se cuantificó el número de hojas en cada bandola, para ello se marcó el inicio de crecimiento anual y a partir de allí se numeraron las hojas.

B. Incidencia de número de hojas con roya por bandola

Para medir esta variable, se cuantificó el número de hojas con al menos una lesión en cada bandola marcada dentro de la parcela neta. Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$Incidencia = \frac{HI}{HT} * 100$$

En Donde:

HI: Hojas infectadas por bandola

HT= Hojas totales por bandola

C. Severidad

Para cuantificar la severidad se le otorgó un valor de infección a cada hoja por bandola marcada dentro de la parcela. El valor correspondió a: 0 (hoja sana), 1 (síntomas leves), 2 (síntomas moderados), 3 (síntomas severos), 4 (hoja totalmente dañada), (ver figura 2.6).

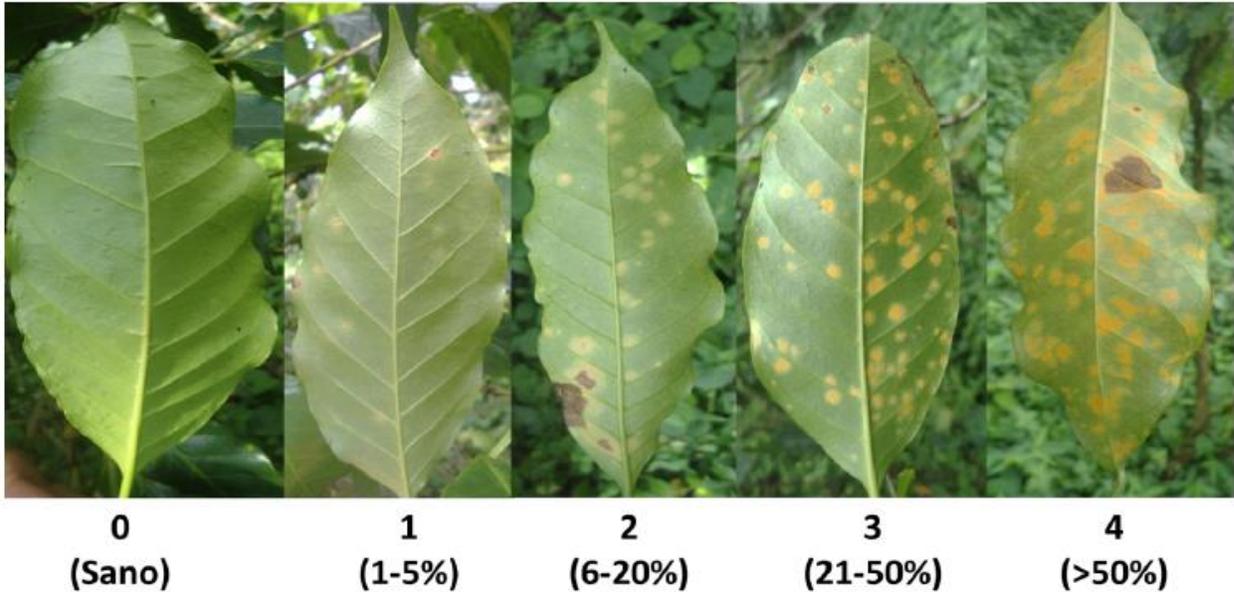


Figura 2.6. Escala diagramática para realizar la evaluación de severidad de la roya del café en hojas.

Fuente: Sistema Nacional De Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria

La severidad por planta se calculó utilizando la fórmula de Townsend y Heuberger modificada: $[\Sigma(nt)/4N] \times 100$.

Donde:

n= Valor de escala de severidad por hoja

$\Sigma(nt)$ = Sumatoria de escala de severidad por bandola.

N= Número de hojas totales por bandola.

D. Lectura y cuantificación de la defoliación

Las lecturas de porcentaje defoliación fueron calculadas con la siguiente formula:

$$\text{Pocentaje de Defoliación} = \frac{HT_o - HT_f}{HT_o} * 100$$

En Donde:

HT_o= Número de Hojas Totales de la lectura inicial.

HT_f= Número de Hojas Totales de la lectura final.

El porcentaje de defoliación se cuantificó a cada 15 días.

2.7.6 Análisis de la información

Para el análisis de la información se realizó un análisis de varianza para determinar diferencias estadísticas entre los tratamientos, y se realizó una prueba de Tukey al 5% a las diferencias estadísticas significativas encontradas de las variables estudiadas. En ambos casos fue utilizado el programa estadístico interno de Bayer CropScience llamado **SCOUT** (Scientific Outlook), en su versión 2.8.2. De las lecturas obtenidas en campo se elaboraron figuras mensuales para analizar el comportamiento temporal de la roya del café con ayuda del programa Excel.

2.8 RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados y la discusión, obtenida del análisis de datos generados durante la evaluación de fungicidas para el control de roya.

2.8.1 Análisis estadístico

2.8.1.1 Análisis de varianza para hojas infectadas con roya

El cuadro 2.4 muestra los respectivos análisis estadísticos para la variable de hojas infectadas con la enfermedad.

Cuadro 2.4 Medias y prueba múltiple de medias para hojas infectadas con roya

Fecha	28/05/13	12/06/13	25/06/13	10/07/13	23/07/13	07/08/13	28/08/13	11/09/13	26/09/13	14/10/13
Días después de la última aplicación	-1 DAA	14 DAA	27 DAA	14 DAB	27 DAB	14 DAC	35 DAC	49 DAC	64 DAC	82 DAC
Testigo Absoluto	0.03	- 0.05	- 0.09	- 0.15	- 0.68	- 1.60	a 3.68	a 7.09	a 9.39	a 10.8
Testigo Absoluto	0.00	- 0.00	- 0.01	- 0.00	- 0.04	- 0.00	b 0.00	b 0.00	b 0.01	b 0.31
azoxystrobin + ciproconazol	0.00	- 0.03	- 0.00	- 0.00	- 0.06	- 0.05	b 0.00	b 0.00	b 0.01	b 0.29
tebuconazol + triadimenol	0.01	- 0.00	- 0.00	- 0.00	- 0.06	- 0.06	b 0.00	b 0.00	b 0.05	b 0.36
Triadimenol	0.00	- 0.01	- 0.01	- 0.01	- 0.01	- 0.00	b 0.00	b 0.00	b 0.01	b 0.19
trifloxystrobin + ciproconazol	0.00	- 0.00	- 0.03	- 0.04	- 0.08	- 0.09	b 0.14	b 0.19	b 0.73	b 1.58
carboxamida D1	0.01	- 0.03	- 0.04	- 0.09	- 0.10	- 0.06	b 0.05	b 0.09	b 0.11	b 0.73
Tukey's HSD (P=.05)	0.05	0.11	0.16	0.26	0.78	1.45	2.12	1.94	1.56	1.54
Desviación estándar	0.02	0.05	0.07	0.11	0.33	0.62	0.91	0.83	0.67	0.66
CV	314.9	291.4	276.6	267.2	227.9	233	164	78.9	45.2	32.5

(DAA=Días después de la primera aplicación) (DAB=Días después de la segunda aplicación) (DAC=Días después de la tercera aplicación).

Al inicio de las evaluaciones no existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, pero luego de la primera aplicación, se observa el desarrollo de cada tratamiento y el incremento únicamente del tratamiento testigo absoluto. En la lectura de los 35 DAC todos los tratamientos presentan diferencias estadísticas significativas con respecto al testigo absoluto. Esto demuestra que para esta variable, todos los tratamientos de fungicida evaluados tienen una eficacia comparativa para la variable de número de hojas infectadas con roya. Todos los tratamientos fungicidas son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey al 5% de significancia.

2.8.1.2 Análisis de varianza para porcentaje de defoliación

El cuadro 2.5 presenta el análisis de varianza sobre la variable de porcentaje de defoliación.

Cuadro 2.5 Medias y prueba múltiple de medias para la variable defoliación

Fecha	12/06/13	25/06/13	10/07/13	23/07/13	07/08/13	28/08/13	11/09/13	26/09/13	14/10/13
Días después de la última aplicación	14 DAA	27 DAA	14 DAB	27 DAB	14 DAC	35 DAC	49 DAC	64 DAC	82 DAC
Testigo Absoluto	-1.43	-2.96	-1.12	-0.84	-1.88	-2.02	-1.44	3.09	14.14
azoxystrobin + ciproconazol	-5.62	-3.89	-1.29	-0.93	-1.02	-3.72	-2.15	-1.03	-0.49
tebuconazol + triadimenol	-5.87	-2.51	-3.24	-0.87	-2.64	-4.26	-1.55	-1.07	0.28
Triadimenol	-2.94	-2.95	-1.93	-1.14	-1.00	-1.86	-1.60	-1.52	0.10
trifloxystrobin + ciproconazol	-4.93	-3.75	-3.67	-1.65	-2.62	-4.47	-2.25	-0.91	-0.17
carboxamida D1	-4.80	-7.28	-0.74	-1.02	-0.55	-3.56	-2.41	-2.33	-0.20
carboxamida D2	-3.91	-2.24	-1.21	-1.18	-1.27	-3.39	-1.66	-1.93	-0.07
Tukey's HSD (P=.05)	6.1	4.9	5.4	2.7	3.1	4.6	3.2	2.8	8.1
Desviación Estándar	2.6	2.1	2.3	1.2	1.3	2.0	1.4	1.2	3.5
CV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	195.29

(DAA=Días después de la primera aplicación) (DAB=Días después de la segunda aplicación) (DAC=Días después de la tercera aplicación).

Al inicio de las evaluaciones todos los tratamientos son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey al 5% de significancia. Posteriormente 27 DAA se observa un porcentaje de defoliación negativo, lo cual indica un crecimiento vegetativo para todos los tratamientos que continúa a lo largo del tiempo, el cual comienza a descender desde 49 DAC hasta finalizar el estudio, sin embargo 64 DAC se observan diferencias estadísticas significativas para esta variable entre tratamientos y testigo absoluto. Luego de 64 DAC, existen diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5%, se observó la conformación de dos grupos, el primer grupo identificado con la literal a, el cual agrupa el tratamiento testigo absoluto y el grupo identificado con la letra b. En los tratamientos en los cuales se aplicó fungicidas no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba estadística evaluada. La cual demuestra

la eficacia de control de todos los fungicidas y la importancia de proteger el tejido foliar y evitar así una defoliación prematura.

2.8.1.3 Análisis estadístico de incidencia de roya

El cuadro 2.6, muestra el análisis estadístico para la incidencia.

Cuadro 2.6 Medias y prueba múltiple de medias para incidencia de roya

Fecha	28/05/13	12/06/13	25/06/13	10/07/13	23/07/13	07/08/13	28/08/13	11/09/13	26/09/13	14/10/13
Días después de la última aplicación	-1 DAA	14 DAA	27 DAA	14 DAB	27 DAB	14 DAC	35 DAC	49 DAC	64 DAC	82 DAC
Testigo Absoluto	0.25	0.31	0.56	1.16	5.20	12.02	26.10	47.25	63.43	82.67
azoxystrobin + ciproconazol	0.00	0.00	0.10	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.07	1.47
tebuconazol + triadimenol	0.00	0.13	0.00	0.00	0.53	0.40	0.00	0.00	0.09	2.09
Triadimenol	0.11	0.00	0.00	0.00	0.46	0.46	0.00	0.00	0.37	2.34
trifloxystrobin + ciproconazol	0.00	0.08	0.04	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.07	1.01
carboxamida D1	0.00	0.00	0.19	0.32	0.63	0.63	0.97	1.22	4.05	9.44
carboxamida D2	0.07	0.25	0.39	0.92	1.01	0.64	0.54	0.75	0.88	4.09
Tukey's HSD (P=.05)	0.5	0.7	1.1	2.1	6.3	11.2	15.9	16.2	13.6	8.0
Desviación estándar	0.2	0.3	0.5	0.9	2.7	4.8	6.8	6.9	5.8	3.4
CV	341.05	283.75	251.48	254.48	230.57	237.81	172.52	98.44	58.94	23.17

(DAA=Días después de la primera aplicación) (DAB=Días después de la segunda aplicación) (DAC=Días después de la tercera aplicación).

Al inicio de las evaluaciones todos los tratamientos son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey al 5% de significancia, sin embargo a partir del mes de agosto existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y el testigo absoluto, lo que indica la importancia de realizar un control hacia la enfermedad y evitar que el grado de infección sea significativo y empiece a causar daños representativos en el cultivo. Además el tratamiento que consta de trifloxystrobin + ciproconazol presenta diferencia estadística significativa con el resto de tratamientos en la lectura 82 DAC, el cual muestra un período de protección prolongado en comparación con el resto de tratamientos.

2.8.1.4 Análisis estadístico de Área bajo la curva de incidencia de roya del café

El cuadro 2.7 presenta los resultados de medias y prueba múltiple de medias para la variable de área bajo la curva de incidencia de roya.

Cuadro 2.7 Análisis Media y prueba múltiple de medias para área bajo la curva de incidencia de roya

Fecha	14/10/2013	
Días después de la última aplicación	82 DAC	
Testigo Absoluto	3179.05	a
azoxystrobin + ciproconazol	18.48	b
tebuconazol + triadimenol	35.55	b
Triadimenol	41.59	b
trifloxystrobin + ciproconazol	12.81	b
carboxamida D1	207.09	b
carboxamida D2	117.24	b
Tukey's HSD (P=.05)	1031.74	
Desviación Estándar	441.86	
CV	85.64	

DAC= Días después de la tercera aplicación

La figura 2.7, muestra el área bajo la curva de incidencia para los diferentes tratamientos, en los cuales existió diferencia estadística entre los valores de área bajo la curva del progreso de la roya del café. Debido a la significancia encontrada entre los tratamientos, se hizo la comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Al analizar los resultados de esta prueba, se observó la conformación de dos grupos, el primero identificado con la letra a, el cual agrupa el tratamiento testigo absoluto, con un valor de media de área bajo la curva con 3,179.05 unidades. El otro grupo conformado por la literal b, en las cuales se encuentra los fungicidas (azoxystrobin + ciproconazol), (tebuconazol + triadimenol), triadimenol, (trifloxystrobin +ciproconazol), carboxamida D1, carboxamida D2 de acuerdo a la prueba y probabilidad, este grupo tienen valores que no difieren entre ellos.

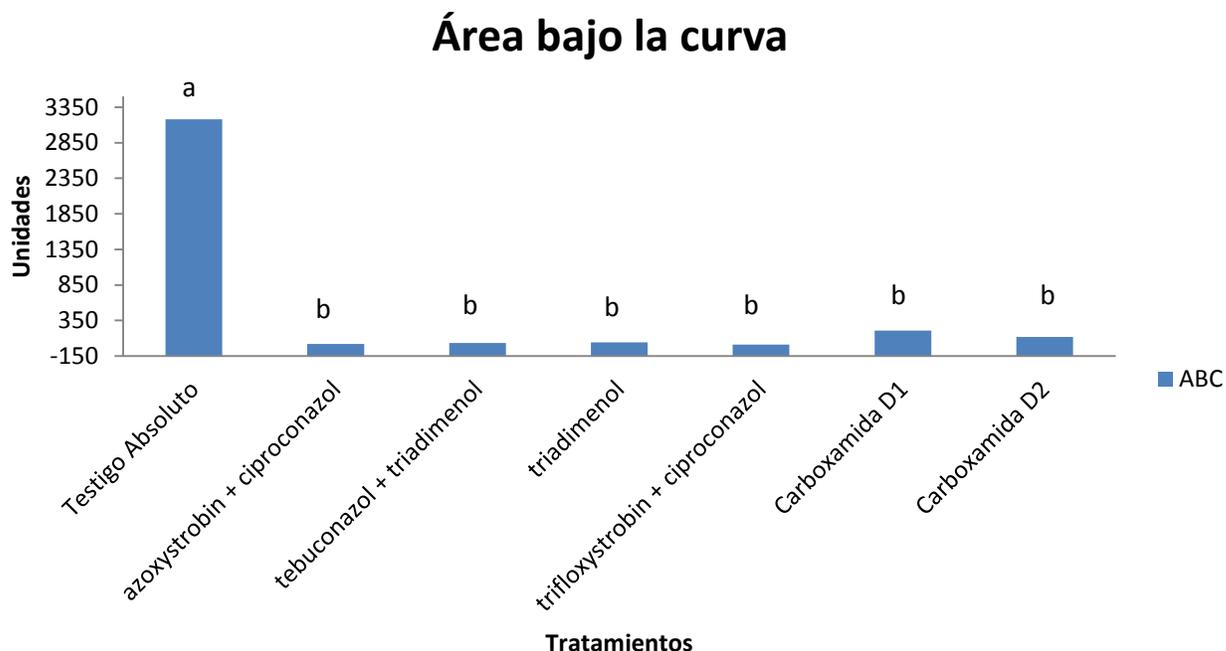


Figura 2.7 Comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para la variable de área bajo la curva de incidencia de roya del café.

El cuadro 2.8 muestra los resultados de medias y prueba múltiple de medias para la variable de área bajo la curva de severidad de roya.

Cuadro 2.8. Medias y prueba múltiple de medias de área bajo la curva de severidad de roya.

Fecha	14/10/2013	
Días después de la última aplicación	82 DAC	
Testigo Absoluto	925.09	a
azoxystrobin + ciproconazol	4.81	b
tebuconazol + triadimenol	8.92	b
triadimenol	10.52	b
trifloxystrobin + ciproconazol	3.18	b
carboxamida D1	53.91	b
carboxamida D2	30.93	b
Tukey's HSD ($P=.05$)	366.27	
Desviación estándar	156.86	
CV	105.85	

DAC= Días después de la tercera aplicación

En el análisis anterior se observa que existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5%. Esto demuestra que para esta variable, todos los tratamientos en el cual se aplicó un fungicida tiene una eficacia comparativa para el control de roya luego de 82 DAC.

La figura 2.8 presenta el área bajo la curva de severidad para los diferentes tratamientos. Debido a la significancia encontrada entre los tratamientos, se hizo la comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Al analizar los resultados de esta prueba, se observó la conformación de dos grupos, el primer grupo identificado con la literal a, el cual agrupa el tratamiento testigo absoluto, con un valor de media de área bajo la curva con 925.09 unidades- % de daño. El otro grupo conformado por la literal b, en las cuales se encuentra los fungicidas (azoxystrobin + ciproconazol), (tebuconazol + triadimenol), triadimenol, (trifloxystrobin + ciproconazol), carboxamida D1, carboxamida D2; de acuerdo a la prueba no existen diferencias estadísticas significativas entre estos valores.

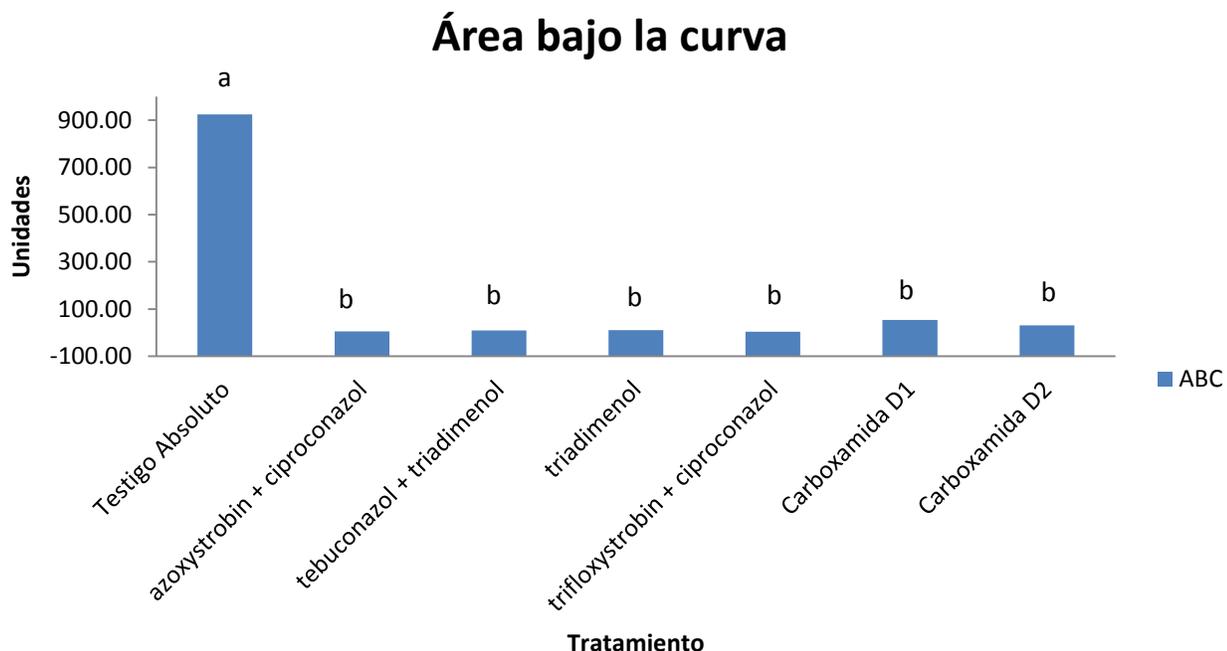


Figura 2.8 Comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para la variable de área bajo la curva de severidad de roya del café.

Puede inferirse del análisis anterior que en los tratamientos en los cuales se utilizó fungicidas sistémicos presentan los mejores resultados para el control de la roya del café, tanto para los indicadores incidencia como severidad, ya que tienen un efecto en reducir la enfermedad evitando una defoliación prematura, hecho que podría tener importancia en la disminución de producción de la planta.

2.8.2 Análisis epidemiológico

2.8.2.1 Análisis foliar

A. Hojas totales

La figura 2.9 presenta una disminución en el número de hojas a partir del mes de septiembre para el testigo absoluto debido al grado de severidad que se comienza a observar en la planta durante ese mes provocando una defoliación prematura en la planta de café afectando el área fotosintética de la misma obteniendo un número de hojas promedio por bandola de 13.64 durante el mes de octubre, el cual es un indicador claro del porqué debemos realizar aplicaciones para proteger el tejido y evitar que el grado de defoliación no sea significativo y llegue a daños irreversibles en el cual la planta pierda totalmente sus hojas y empiece existir una muerte descendente en la bandola , lo cual provocaría que el grano de café no llene de una forma correcta y el grano pase de un estado verde a seco sin antes existir un proceso de maduración natural.

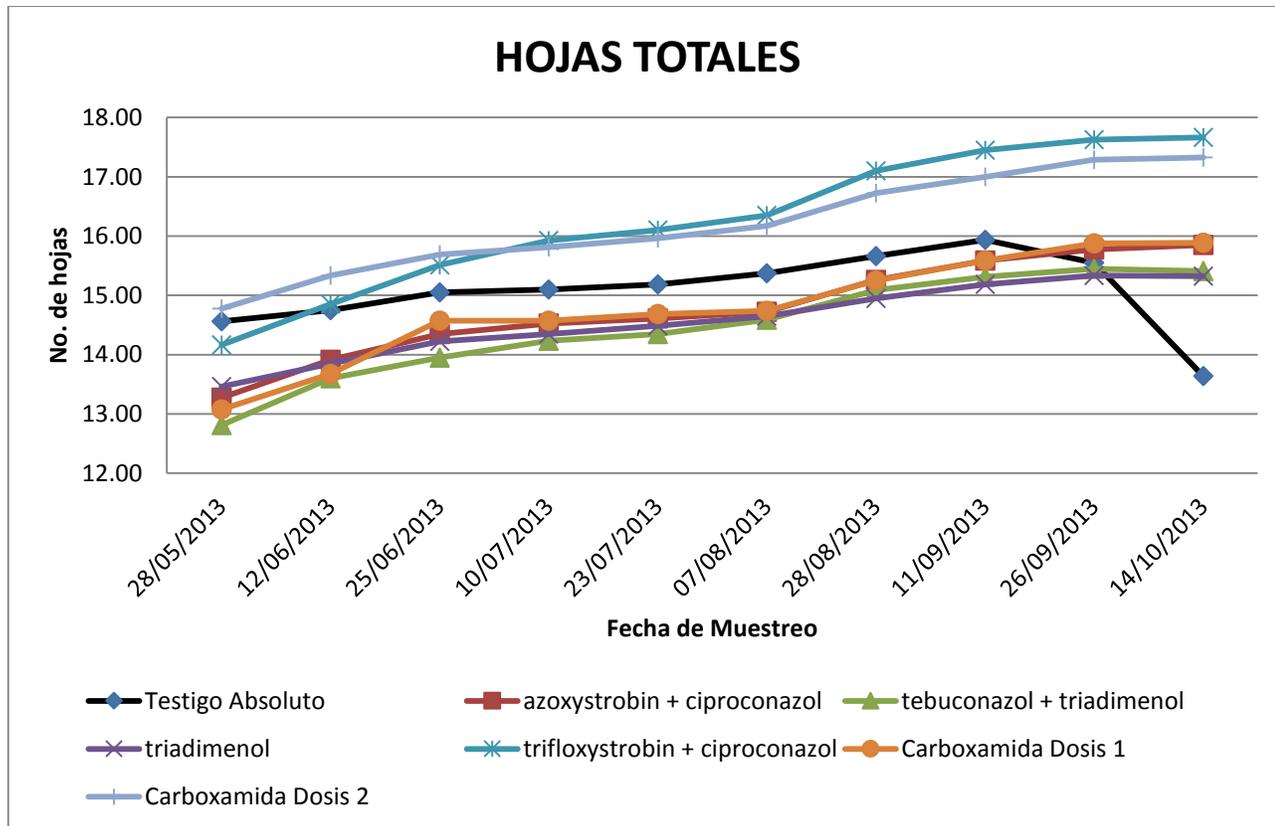


Figura 2.9 Hojas totales por bandola

Es importante destacar que el número de hojas por bandola en los tratamientos aplicando fungicidas, se mantiene constante en la planta debido a que existen hojas con baja tasa de infección lo que evita la caída de la misma.

B. Hojas infectadas con roya

La figura 2.10 presenta la evolución o la dinámica de la enfermedad en el tiempo que duró el estudio. En la primera lectura (28/05/13) todos los tratamientos registraron un total hojas infectadas no mayor a 1 hoja por bandola. En las lecturas siguientes se observa como el efecto de los tratamientos fungicidas se diferencia del tratamiento testigo absoluto. En el caso del tratamiento del testigo absoluto, la población inició con una media de 0.03 hojas infectadas por bandola, finalizando con 10.8 hojas infectadas por bandola al finalizar el

estudio (140 días después). Esto demuestra el grado de infección que puede tener la enfermedad sobre las parcelas no aplicadas.

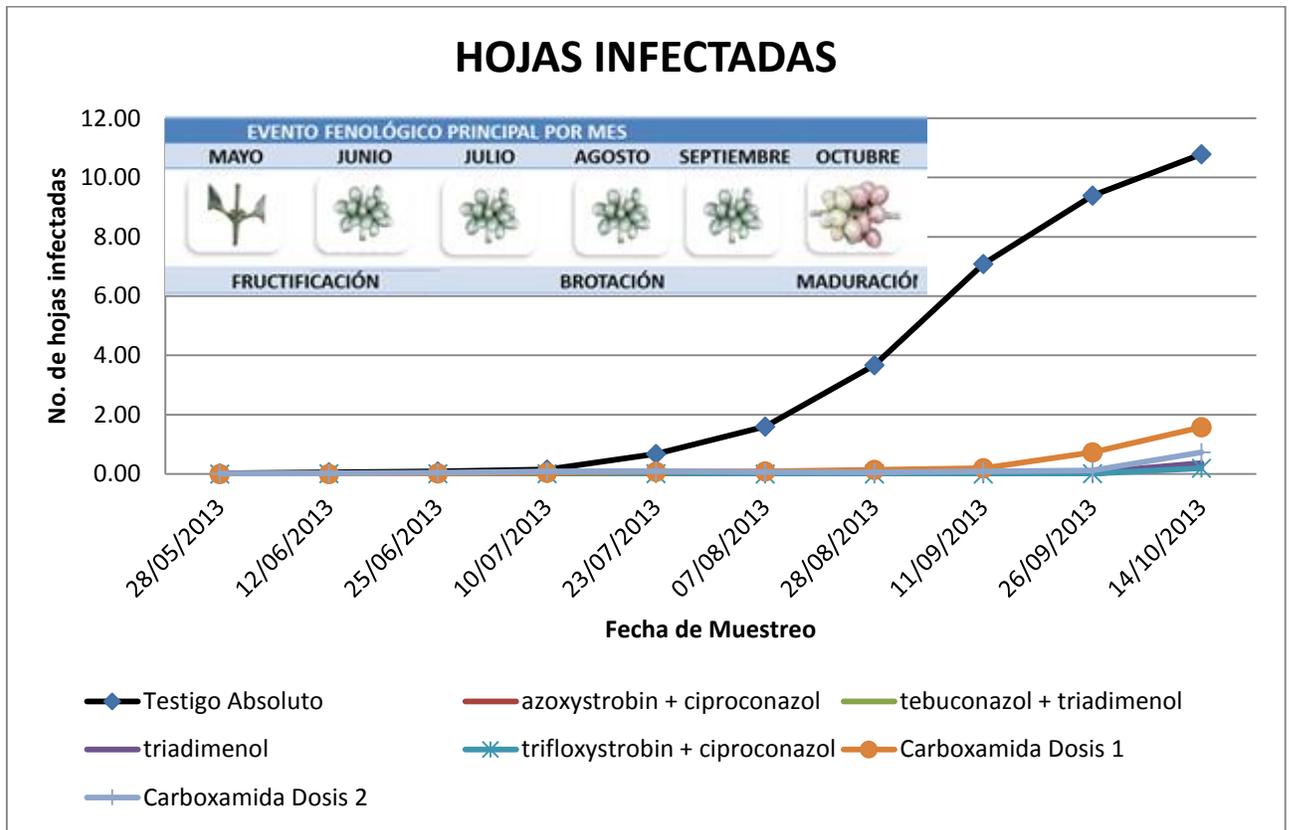


Figura 2.10 Hojas infectadas por bandola

Según Chalfoun et al. 1987, algunos factores de estrés aumentan la roya del café, citan que el aumento de la receptividad ocurre cuando la planta está en fase de fructificación y es debido a la migración de compuestos fenólicos, sustancias que intervienen en los mecanismos de defensa de las plantas, de las hojas hacia los frutos, desprotegiendo así las hojas.

Los tratamientos de (azoxystrobin + ciproconazol), (tebuconazol + triadimenol), triadimenol, (trifloxystrobin + ciproconazol), y en donde se utilizó el fungicida carboxamida obtuvieron un desempeño similar demostrando que son capaces de disminuir la infección y mantenerla en niveles no significativos hasta los 140 días después de haber iniciado el estudio.

C. Porcentaje de incidencia de roya

La figura 2.11 muestra que en lectura del 07 de agosto existe una disminución en la media de incidencia del tratamiento carboxamida D1 y para el tratamiento carboxamida D2 la enfermedad mantiene su nivel de infección, luego de esta lectura la enfermedad sigue en incremento para el carboxamida D1 y en el tratamiento carboxamida D2 se observa nuevamente un descenso en el porcentaje de incidencia para el 28 de agosto, posteriormente en la lecturas del mes de septiembre, el porcentaje de incidencia vuelve a incrementarse en ambos tratamientos con una tasa diaria de incremento de la enfermedad para incidencia de 0.19% para el tratamiento carboxamida D1, mientras que para el tratamiento carboxamida D2 el valor asciende a 0.009% diario, en el testigo absoluto se observa una tasa diaria de incremento de la enfermedad de 1.08%, el cual se debe al grado de enfermedad existente en ese período combinado con una falta de protección hacia el tejido y condiciones óptimas (precipitación y temperatura) provocando que la enfermedad se disperse e infecte el tejido con mayor facilidad.

Para la lectura realizada el mes de octubre se observa un cambio en el porcentaje de incidencia para estos tratamientos debido a que la tasa de infección se incrementa y el valor de incidencia asciende a 0.30% diario para el tratamiento carboxamida D1 y una tasa de infección de 0.18% para el carboxamida D2, para ese período el testigo absoluto tiene una tasa de infección de 1.07%. El mejor tratamiento estadísticamente es (trifloxystrobin + ciproconazol), ya que en la última lectura se observa una tasa de infección diaria de 0.05%, lo cual marca el grado de protección que este fungicida tiene luego de la última aplicación.

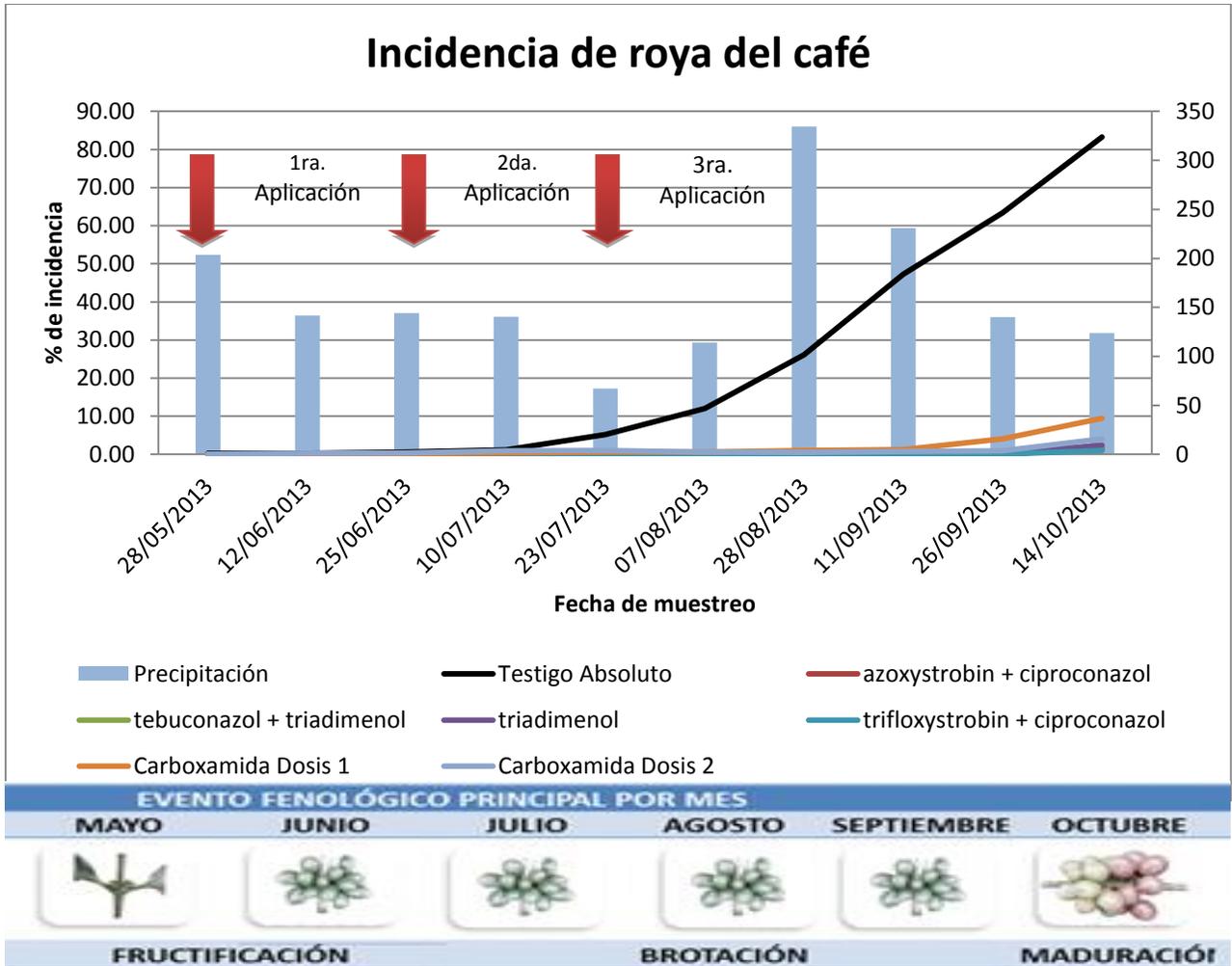


Figura 2.11 Incidencia promedio por planta

D. Porcentaje de severidad por planta

La figura 2.12 muestra que durante el 07 de agosto se presentó una disminución en la media del tratamiento carboxamida D1 de 0.05% y para el tratamiento carboxamida D2 la enfermedad mantiene su nivel de daño en un 0.16% , luego de esta lectura la enfermedad sigue en incremento para carboxamida D1 y en el tratamiento carboxamida D2 se observa nuevamente un descenso en el porcentaje de severidad obteniendo un valor de 0.14% para finales de agosto, posteriormente en la primera lectura realizada en el mes de septiembre el porcentaje de severidad se incrementa nuevamente en ambos tratamientos con una tasa diaria de incremento de la enfermedad para severidad de

0.005% para el tratamiento carboxamida D1, mientras que para el tratamiento carboxamida D2 el valor asciende a 0.0036% diario, en el testigo absoluto se observa una tasa diaria de incremento de severidad de 0.44%, el cual se debe al grado de infección existente en ese período combinado con condiciones óptimas (precipitación y temperatura) provocando que la enfermedad cause daños significativos en el cultivo.

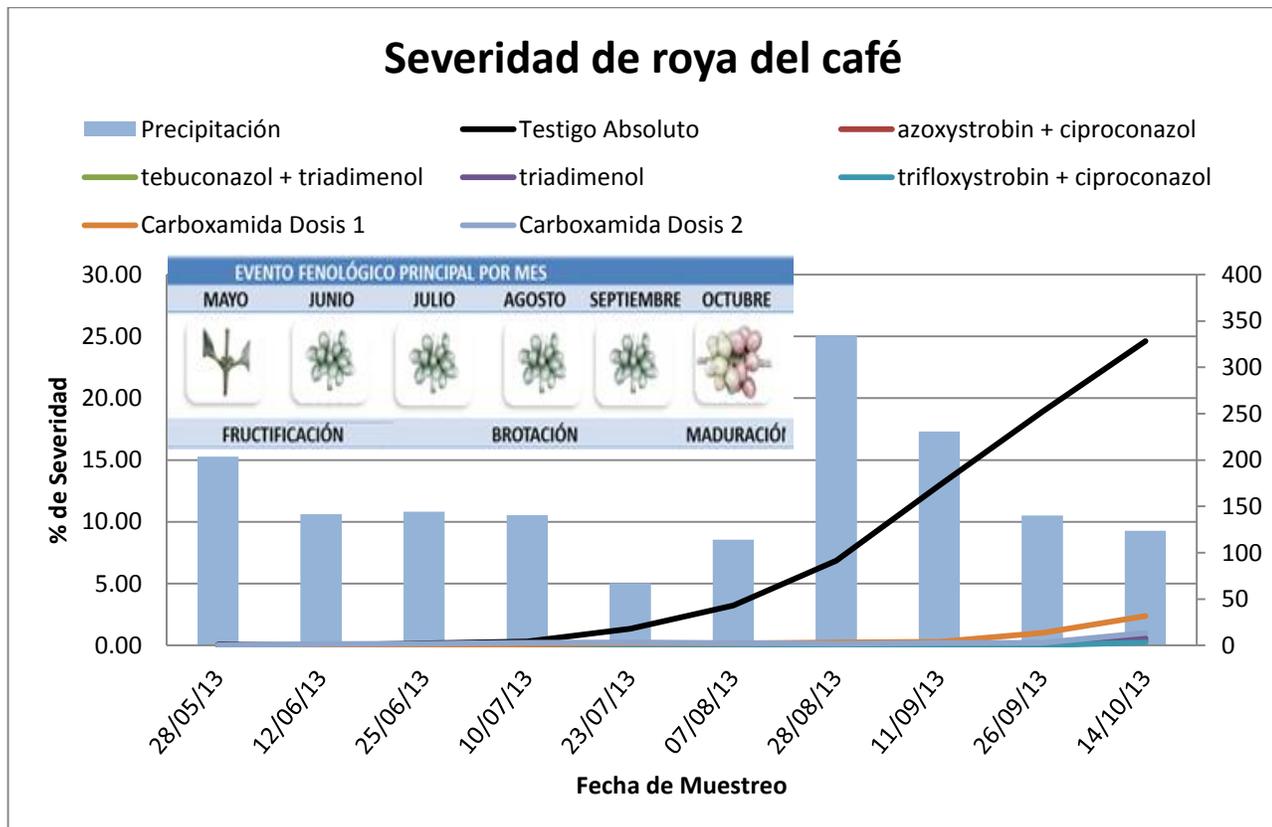


Figura 2.12 Severidad promedio por planta

Para la lectura realizada en octubre se observa un cambio comparado con el mes para estos tratamientos debido a que la tasa diaria de severidad se incrementa ascendiendo a 0.076% diario para el tratamiento carboxamida D1 y una tasa de infección de 0.044% para el carboxamida D2 teniendo un porcentaje de daño 72.7% menos que el tratamiento con carboxamida D1, para ese período el testigo absoluto tiene una tasa de severidad de 0.32%. El tratamiento que posee la menor tasa de severidad diaria es el (trifloxystrobin + ciproconazol) con un valor de 0.01%.

E. Porcentaje de defoliación

La figura 2.13 muestra el porcentaje de defoliación promedio por planta. En el testigo absoluto se observa un porcentaje de defoliación a partir del mes de septiembre que a lo largo del tiempo va incrementándose producto del grado significativo de severidad de la enfermedad alcanzando el mayor porcentaje de defoliación en el mes de octubre el cual asciende a un valor de 14.14%.

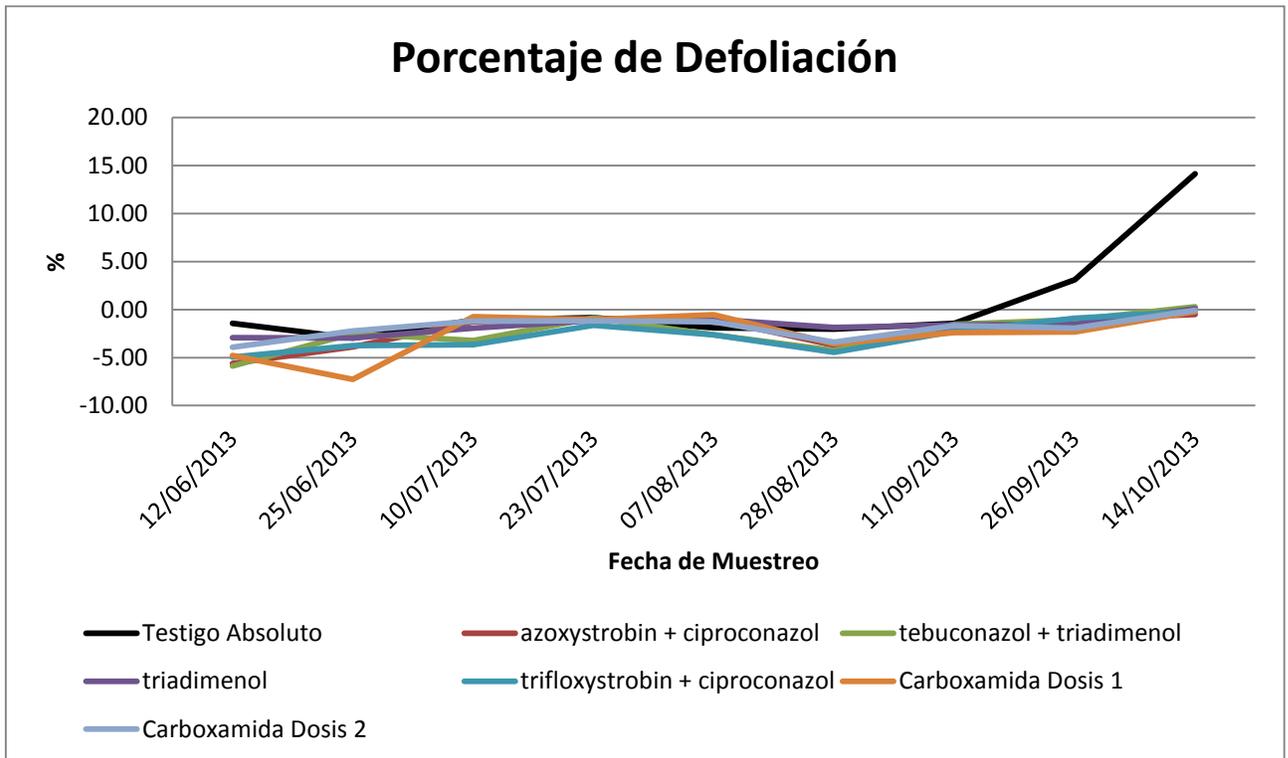


Figura 2.13 Porcentaje de defoliación por planta

2.8.3 Análisis de costos de aplicación finca el 80

A continuación se detallan los costos de aplicación de los fungicidas (ver cuadro 2.9 y 2.10).

Cuadro 2.9 Costo de fungicidas/Ha

Producto	Precio	L/Ha	Costo/Ha
triadimenol	Q 270.00	0.5	Q 135.00
triadimenol + tebuconazol	Q 490.00	0.5	Q 245.00
trifloxystrobin + ciproconazol	Q 883.00	0.2	Q 176.60
azosystrobin + ciproconazol	Q 610.00	0.5	Q 305.00
Adherente	Q 48.00	0.82	Q 39.26

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2.10 Costo de tres aplicaciones/Ha

Tratamientos	Costo/Ha	Quetzales	% Diferencia
azosystrobin + ciproconazol	Q 1,032.46	-----	-----
triadimenol + tebuconazol	Q 852.53	Q 179.93	21.11
trifloxystrobin + ciproconazol	Q 647.42	Q 385.05	59.47
triadimenol	Q 522.67	Q 509.80	97.54

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 2.10, se observa a detalle el costo de aplicación por tratamiento/Ha en el cual es importante mencionar que en todas las aplicaciones se utilizó adherente con la finalidad de realizar una eficiente aplicación. En las aplicaciones de fungicidas se observan que los costos para aplicaciones con el producto triadimenol y (trifloxystrobin + ciproconazol) son los más económicos, ya que representan un 97.54% y 59.47% menor en el costo de aplicación en comparación con la aplicación del fungicida (azosystrobin + ciproconazol) siendo el que representó mayor inversión.

La figura 2.14 presenta la comparación de área bajo la curva vs. costos de aplicación, en donde no existen diferencias significativas en ABC de incidencia y severidad, por lo tanto se recomienda aplicar los productos de menor inversión, que son triadimenol y (trifloxystrobin + ciproconazol) con un costo total/aplicación/Ha de Q. 174.25 y Q. 215.81 respectivamente.

Área bajo la curva vs. Costos de aplicación

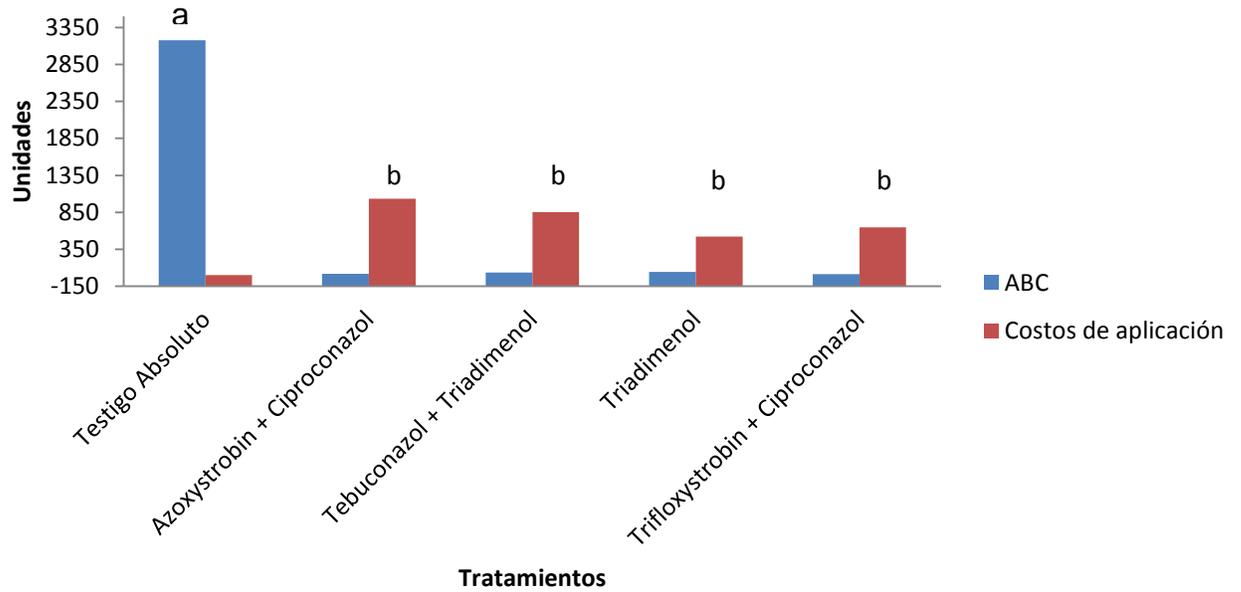


Figura 2.14 Área bajo la curva vs. Costo de aplicación

2.9 CONCLUSIONES

- a) Todos los tratamientos de fungicidas evaluados, demostraron ser efectivos para el control de la roya, reduciendo su incidencia y severidad, sin embargo el tratamiento que posee mayor período de protección es (trifloxystrobin + ciproconazol) con una tasa diaria de incremento de incidencia de 0.05% entre el 26 de septiembre y 14 de octubre del 2013.
- b) La tasa de diaria de infección durante el ensayo fue de 0.59% para el testigo absoluto, 0.01% para (azoxystrobin + ciproconazol), 0.015% para (tebuconazol, + triadimenol) 0.017% para triadimenol 0.0072% para (trifloxystrobin + ciproconazol), 0.067% para carboxamida dosis 1 y 0.029% para carboxamida dosis 2.
- c) Según el análisis de costos realizado se determinó que los fungicidas de menor precio son triadimenol y (trifloxystrobin + ciproconazol) con un costo total/aplicación/Ha de Q. 174.25 y Q. 215.81 respectivamente.

2.10 RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda el uso de fungicidas sistémicos anteriormente evaluados para incluirlos dentro de un plan de manejo fitosanitario para control de roya del café, ya que proporcionan un periodo de control prolongado.
- b) El uso continuo de fungicidas sistémicos crea cierta resistencia de la roya hacia el fungicida por lo cual no se recomiendan las aplicaciones continuas de los mismos.

2.11 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. ANACAFÉ (Asociación Nacional del Café, GT). 1991. Manual de caficultura. Guatemala. 22 p.
2. _____. 2002. Manual de caficultura. 2 ed. Guatemala. 169 p.
3. _____. 2004. Manual de caficultura, datos socioeconómicos del cultivo del café en Guatemala. Guatemala. 52 p.
4. _____. 2013. Roya del café (en línea). Guatemala. Consultado 1 mar 2013. Disponible en http://www.anacafe.org/glifos/index.php/Recomendaciones_Control_Roya
5. _____. 2006. Guía técnica de caficultura. Guatemala. 213 p.
6. Arneson, PA. 2000. Coffee rust (en línea). United States, APS. Consultado 10 mar 2013. Disponible en <https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/CoffeeRust.aspx>
7. Bayer Crop Science, DL. 2009. Características de fungicidas (en línea). Centro América y El Caribe. Consultado 1 mar 2013. Disponible en <http://www.bayercropscience-ca.com/index.php>
8. Calderón Estrada, G. 2012. Epidemiología de la roya del café causada por *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., en las regiones centrales y sur occidental de Guatemala, C.A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 102 p.
9. CENICAFÉ, CO. 2011. La roya del cafeto en Colombia: impacto, manejo y costos de control (en línea). Colombia. Consultado 1 abr 2014. Disponible en http://www.federaciondecafeteros.org/static/files/roya/boletin_roya/BoletinRoya1Definitivo.pdf
10. Chalfoun, S. 1980. Importancia da chuva e da temperatura do ar na incidência da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) Berk. & Br. em cafeeiros de três localidades do estado de Minas Gerais. Tesis MSc. Lavras, Brasil, Escola Superior de Agricultura de Lavras. 50 p.
11. Guerra Castillo, B. 2004. Experiencias del manejo de las enfermedades fungosas presentes en el cultivo de café (*Coffea arabica*) en finca de pequeños caficultores en la aldea La Montaña, Moyuta, Jutiapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 55 p.
12. ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica, Centro de Investigaciones en Café, CR). 2013. Recomendaciones para el combate de la roya del cafeto (en línea). Costa Rica. Consultado 10 mar 2013. Disponible en http://biblioteca.catie.ac.cr/royadelcafeto/descargas/Recomendaciones_roya_ICAFE.pdf

13. Kirk, P; Cannon, J; Stalpers, JA. 2008. Ainsworth & Bisbys dictionary of the fungi. Great Britain, CAB. 771 p.
14. López Portillo, RJ. 2003. Caracterización de tres variedades de café (*Coffea arabica*) en tres zonas ecológicas del país. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 37 p.
15. Pappa, F; Calderón Estrada, G. 2013. Recomendaciones para el control de la roya. Guatemala, ANACAFE, El Cafetal, Revista del Caficultor no. 35:10-12.
16. Rayner, RW.1961. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* Berk. y Br.). Annals of Applied Biology (Kenia) 49:497-505.
17. Schieber, E. 1974. Informe sobre la situación actual de la roya del cafeto en América Latina. Costa Rica, IICA. 35 p.
18. SINAVEF (Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, MX). 2013. Ficha técnica de la roya del cafeto (en línea). México. Consultado 8 jun 2013. Disponible en <http://amecafe.org.mx/downloads/FichaT%C3%A9cnicaRoyaDelCafeto.pdf>
19. Subero, L. 2001. La roya del café (en línea). España. Consultado 1 mar 2013. Disponible en <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/136.pdf>
20. SYNGENTA, GT. 2011. Características de azoxystrobin y ciproconazol (en línea). Guatemala. Consultado 1 mar 2013. Disponible en http://www.syngenta.com/country/es/sp/productos/proteccion_cultivos/fungicidas/Paginas/amixtar_xtra.aspx
21. Villegas-García, C; Baeza-Aragón, CA. 1990. Diseminación de *Hemileia vastatrix* Berk. y Br. a nivel del árbol, en un foco natural. CENICAFÉ 41(2):39-49.



1. CAPÍTULO III

SERVICIOS REALIZADOS EN BAYER S.A., DEPARTAMENTO DE DESARROLLO AGRONÓMICO, GUATEMALA C.A.

3.1 PRESENTACIÓN

El cultivo de café es de importancia debido a su consumo y venta en el ámbito nacional e internacional, es fundamental en la historia del desarrollo de la economía guatemalteca, no solamente por el crecimiento económico al que se encuentra asociado, sino además por los efectos que tiene sobre la población rural del país.

El cultivo de café es afectado por diversas enfermedades dentro de las cuales destaca *Hemileia vastatrix* la cual es catalogada una de las enfermedades más destructiva de este cultivo y la de mayor importancia económica a nivel mundial, debido a que esta enfermedad provoca la defoliación de la planta de café, propiciando la reducción de la capacidad fotosintética así como el debilitamiento de la planta dando como resultado frutos pequeños y escasa floración, lo que reduce la cosecha provocando pérdidas entre 15%-70% dependiendo de la agresividad de la enfermedad.

Bayer S.A. en el afán de proporcionar las herramientas para el crecimiento y desarrollo de la agricultura realiza constantemente investigaciones para poder ofrecerles a los productores insumos de calidad que garanticen la producción y la fitocompatibilidad de los productos a los cultivos mismos.

Durante el desarrollo del Ejercicio Profesional Supervisado, realizado en el departamento de desarrollo agronómico de Bayer S.A., se trabajaron con diferentes planes de manejo fitosanitario enfocados hacia el control de *Hemileia vastatrix*.

En cada una de ellos se realizaron muestreos calendario para identificar el control y/o resultado que presentaba cada uno de los tratamientos empleados para luego dar lugar a la interpretación y análisis de los resultados no estadísticos presentados en campo.

3.2 SERVICIO 1. Evaluación de eficacia de planes de manejo fitosanitario para control de roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), en el cultivo de café (*Coffea arabica*), realizado en finca el paraíso, Barberena, Santa Rosa, Guatemala C.A.

3.2.1 OBJETIVOS

3.2.1.1 General

- Evaluar la eficacia de cuatro planes de manejo fitosanitario que permitan el control de roya del café (*Hemileia vastatrix*) en la finca el paraíso, Barberena, Santa Rosa, Guatemala C.A.

3.2.1.2 Específicos

- Determinar entre los planes de manejo fitosanitario, el plan fitosanitario que presente la mayor eficacia de control sobre *Hemileia vastatrix*.
- Realizar un análisis temporal sobre el comportamiento de *Hemileia vastatrix* mediante la evaluación de los diferentes planes de manejo fitosanitario.
- Realizar un análisis de costos para los diferentes planes de control fitosanitario.

3.2.2 METODOLOGÍA

3.2.2.1 Identificación de tratamientos

El cuadro 3.1 muestra los tratamientos a evaluar.

Cuadro 3.1 Tratamientos utilizados

Tratamiento	Aplicación	Dosis/Ha
<u>Testigo relativo</u>		
triadimenol + tebuconazole	1ra. Aplicación	570 cc
triadimenol + tebuconazole	2da. Aplicación	715 cc
trifloxystrobin + ciproconazol	3ra. Aplicación	270 cc
propineb	1ra. Aplicación	1.6 Kg
azoxystrobin + ciproconazol	2da. Aplicación	285 cc
triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
tebuconazol + triadimenol	4ta. Aplicación	700 cc
azoxystrobin + ciproconazol	5ta. Aplicación	285 cc
propineb	1ra. Aplicación	1.6 Kg
triadimenol	2da. Aplicación	700 cc
triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
azoxystrobin + ciproconazol	4ta. Aplicación	285 cc
propineb	1ra. Aplicación	1.6 Kg
tebuconazol + triadimenol	2da. Aplicación	700 cc
triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
azoxystrobin + ciproconazol	4ta. Aplicación	285 cc
propineb	1ra. Aplicación	1.6 Kg
triadimenol	2da. Aplicación	700 cc
tebuconazol + triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
azoxystrobin + ciproconazol	4ta. Aplicación	700 cc

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2 Diseño experimental

El diseño que se utilizó en esta investigación fue el de bloques completos al azar. Dadas las condiciones bajo las que se realizó el ensayo de relativa heterogeneidad de las parcelas, en función de la distribución natural de la enfermedad y limitantes propias de la topografía del terreno, se estableció una parcela para cada tratamiento.

Se delimitaron 20 parcelas de 4 surcos y 10 plantas cada una, en cada parcela se dejó 1 surcos de borde tanto en la parte superior de la parcela como en la parte inferior, y 4 plantas de borde en cada surco en la parcela neta. De esta manera obtuvimos una parcela neta de 2 surcos y de 3 plantas de café cada una (ver figura 3.1).

A. Diseño de la unidad experimental

X	X	X	X	PARCELA NETA			X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Figura 3.1 Croquis de la parcela experimental

B. Diseño del experimento en bloques al azar

Debido a las condiciones del área experimental, se establecieron cuatro repeticiones de cada tratamiento distribuidos de la siguiente manera (ver figura 3.2).

CALLE PRINCIPAL									
R1					R2				
T5	T2	T1	T4	T3	T3	T2	T4	T5	T1
R3					R3				
T4	T2	T1	T3	T5	T1	T5	T2	T3	T4

Figura 3.2 Croquis de distribución de tratamientos en el campo

3.2.2.3 Establecimiento del ensayo

A. Aplicación de tratamientos

La aplicación fue terrestre y dirigida al follaje de los cafetos, tratando de lograr una cobertura adecuada. Se utilizó una aspersora de mochila la cual trabaja a 45 psi y con una boquilla de cono hueco (TX-10 Spray System).

El monitoreo de la enfermedad se realizó desde abril hasta noviembre. Las aplicaciones comenzaron en el mes de abril, realizando una aplicación de un fungicida de contacto (propineb) seguido de tres aplicaciones de fungicidas sistémicos aplicados en los meses de mayo, julio, agosto y en un tratamiento se realizó una quinta aplicación durante el mes de octubre (ver cuadro 3.2).

a) Fecha de aplicación

Cuadro 3.2 Número y fecha de aplicación de tratamientos

Número de aplicación planes fitosanitarios	Fecha	Aplicación finca	Fecha de aplicación
1ra. Aplicación	04-04-2013	1ra. Aplicación	14-08-2013
2da. Aplicación	21-05-2013	2da. Aplicación	23-09-2013
3ra. Aplicación	02-07-2013	3ra. Aplicación	19-10-2013
4ta. Aplicación	20-08-2013		
5ta. Aplicación	15-10-2013		

B. Muestreo

a) Identificación de la parcela e identificación de la bandola

Seleccionadas las parcelas se procedió a delimitarlas, para esto se utilizó una cinta color roja marcando en cada uno de los extremos de la parcela, además se colocó un rótulo en el ensayo en donde se detalló el nombre de la investigación.

Además se marcaró 1 bandola en cada una de las plantas de la parcela neta, estas identificadas como PTR (en la parte media), en donde P es el número de planta, T es el número de tratamiento y R es el número de repetición, para esto se utilizó tiras de nylon de color azul las cuales se colocaron en cada una de las bandolas identificadas (ver figura 3.3).

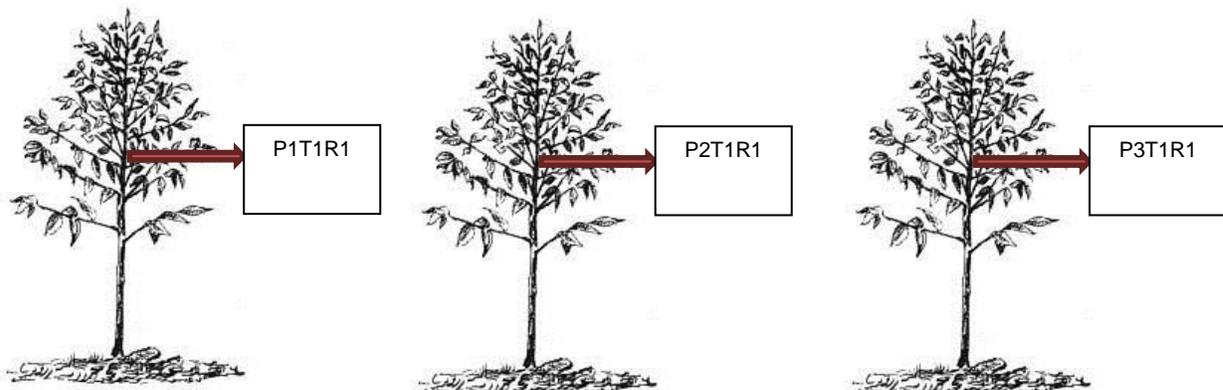


Figura 3.3 Bandola identificada en la parte media de la planta.

3.2.3 RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados y la discusión, obtenida del análisis de datos generados durante la evaluación de los diferentes planes de manejo fitosanitario para el control de roya.

3.2.3.1 Análisis estadístico

A. Análisis estadístico de hojas totales

El cuadro 3.3 presenta los análisis estadísticos para la variable de hojas totales. En general, presentaron diferencias estadísticas significativas en la variable hojas totales para el período de octubre-noviembre del año 2,013; el inicio de la disminución significativa del número de hojas totales en las plantas evaluadas del testigo relativo ocurrió entre 192 DAA y 236 DAA; comparado con los planes de manejo fitosanitario los cuales no presentan diferencias estadísticas significativas, además de que el número de hojas totales en las plantas permanece constante.

Cuadro 3.3 Medias y prueba múltiple de medias para la variable hojas totales

Fecha de muestreo	03/09/13	17/09/13	13/10/13	29/10/13	12/11/13	26/11/13
Días después de la primera aplicación	152 DAA	166 DAA	192 DAA	208 DAA	222 DAA	236 DAA
Días después de la última aplicación	14 DAD	28 DAD	54 DAD	8 DAE	22 DAE	36 DAE
Testigo relativo	8,83 -	8,29 -	6,96 b	5,25 b	5,21 b	4,96 b
Plan fitosanitario 1	10,88 -	10,96 -	11,17 ab	11,29 a	11,29 a	11,29 a
Plan fitosanitario 2	10,96 -	11,00 -	11,38 ab	11,38 a	11,38 a	11,42 a
Plan fitosanitario 3	10,54 -	10,88 -	11,38 ab	11,71 a	11,75 a	11,75 a
Plan fitosanitario 4	11,67 -	11,75 -	12,08 a	12,17 a	12,38 a	12,38 a
Tukey's HSD (P=.05)	3,701	4,136	4,458	5,357	5,570	5,446
Desviación Estándar	1,641	1,834	1,977	2,376	2,470	2,415
CV	15,52	17,34	18,67	22,94	23,75	23,32

(DAA=Días después de la primera aplicación) (DAD=Días después de la cuarta aplicación)
(DAE=Días después de la quinta aplicación).

La recuperación que pueda mostrar la planta ante el ataque de la roya es un elemento de importancia a tener en cuenta para el adecuado manejo de la enfermedad y puede ser medido por la emisión de nuevas hojas.

B. Análisis estadístico de hojas infectadas

El cuadro 3.4 y 3.5 muestra los análisis estadísticos para la variable de hojas infectadas y la variable defoliación. Se mostraron diferencias estadísticas significativas en ambas variables mencionadas anteriormente durante el período de septiembre-noviembre del año 2,013; el inicio de la disminución significativa del número de hojas infectadas en las plantas evaluadas del testigo relativo ocurrió entre 14 DAD y 36 DAE; asociado a un incremento en la defoliación a lo largo de la evaluación. Comparado con los planes de manejo fitosanitario los cuales no presentan diferencias estadísticas, además de que el número de hojas infectas en las plantas no es significativo; además se observa una defoliación negativa para los planes de control, lo cual indica un porcentaje de crecimiento vegetativo.

Cuadro 3.4 Medias y prueba múltiple de medias para la variable hojas infectadas

Fecha de muestreo	03/09/13	17/09/13	13/10/13	29/10/13	12/11/13	26/11/13
Días después de la primera aplicación	152 DAA	166 DAA	192 DAA	208 DAA	222 DAA	236 DAA
Días después de la última aplicación	14 DAD	28 DAD	54 DAD	8 DAE	22 DAE	36 DAE
Testigo relativo	4,96 a	4,21 a	3,08 a	0,33 -	0,33 -	0,21 -
Plan fitosanitario 1	0,17 b	0,08 b	0,13 b	0,00 -	0,00 -	0,04 -
Plan fitosanitario 2	0,00 b	0,00 b	0,13 b	0,13 -	0,17 -	0,17 -
Plan fitosanitario 3	0,08 b	0,08 b	0,25 b	0,17 -	0,21 -	0,29 -
Plan fitosanitario 4	0,00 b	0,00 b	0,04 b	0,08 -	0,17 -	0,29 -
Tukey's HSD (P=.05)	2,57	2,57	1,62	0,42	0,57	0,61
Desviación Estándar	1,14	1,14	0,72	0,19	0,25	0,27
CV	109,50	130,38	99,26	132,41	143,91	135,66

(DAA=Días después de la primera aplicación) (DAD=Días después de la cuarta aplicación)
(DAE=Días después de la quinta aplicación).

C. Análisis estadístico de defoliación

Cuadro 3.5 Medias y prueba múltiple de medias para la variable defoliación

Fecha de muestreo	03/09/13	17/09/13	13/10/13	29/10/13	12/11/13	26/11/13
Días después de la primera aplicación	152 DAA	166 DAA	192 DAA	208 DAA	222 DAA	236 DAA
Días después de la última aplicación	14 DAD	28 DAD	54 DAD	8 DAE	22 DAE	36 DAE
Testigo relativo	10,64 a	11,78 a	26,11 a	38,93 a	24,27 a	32,32 a
Plan fitosanitario 1	-2,80 b	-0,52 ab	-1,83 b	-1,11 b	0,00 b	0,00 b
Plan fitosanitario 2	-1,16 ab	-0,46 ab	-3,26 b	0,00 b	0,00 b	-0,51 b
Plan fitosanitario 3	-3,75 b	-2,83 b	-4,75 b	-2,64 b	-0,09 b	0,00 b
Plan fitosanitario 4	-0,69 ab	-0,60 ab	-3,43 b	-1,04 b	-1,89 b	0,00 b
Tukey's HSD (P=.05)	12,76	13,02	19,56	32,67	23,62	26,71
Desviación Estándar	5,66	5,77	8,67	14,49	10,48	11,85
CV	1267,24	391,42	337,66	212,14	234,95	186,18

(DAA=Días después de la primera aplicación) (DAD=Días después de la cuarta aplicación)
(DAE=Días después de la quinta aplicación).

Por lo que logró apreciar los efectos negativos de la roya lo que unida a otros factores, provoca una considerable reducción del área foliar en los meses de mayor incidencia de la enfermedad, y por consiguiente un daño directo sobre los principales procesos de la planta como son fotosíntesis, transpiración, respiración etc., lo que implica necesariamente la reducción de la productividad de las plantas. De aquí se deduce la importancia que tiene para el manejo de la enfermedad tomar medidas preventivas de control encaminadas a evitar la distribución de la enfermedad en el campo. Además se observó que todos los tratamientos de manejo fitosanitario evaluados tienen una eficacia comparativa en el control de *Hemileia vastatrix*.

D. Área bajo la curva de severidad

El cuadro 3.6 muestra las medias y prueba múltiple de medias de ABC de severidad donde se observa que existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5%. Esto demuestra que para esta variable, todos los tratamientos en el cual se aplicó un fungicida tiene una eficacia comparativa para el control de roya luego de 36 DAE.

Cuadro 3.6 Medias y prueba múltiple de medias de ABC de severidad

Fecha	26/11/13
Días después de la primera aplicación	236 DAA
Días después de la última aplicación	36 DAE
Testigo relativo	3224,23 a
Plan fitosanitario 1	61,47 b
Plan fitosanitario 2	52,52 b
Plan fitosanitario 3	107,73 b
Plan fitosanitario 4	64,40 b
Tukey's HSD (P=.05)	1985,72
Desviación Estándar	880,58
CV	125,43

DAE= Días después de la quinta aplicación

La figura 3.4 muestra el área bajo la curva de severidad para los diferentes tratamientos. Debido a la significancia encontrada entre los tratamientos, se hizo la comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Al analizar los resultados de esta prueba, se observó la conformación de dos grupos, el primer grupo identificado con la literal a, el cual agrupa el tratamiento testigo relativo, con un valor de media de área bajo la curva con 3324.23 unidades- % de daño. El otro grupo conformado por la literal b, en las cuales se encuentra los planes fitosanitarios 1, 2, 3, y 4 de acuerdo a la prueba no existen diferencias estadísticas significativas entre estos valores.

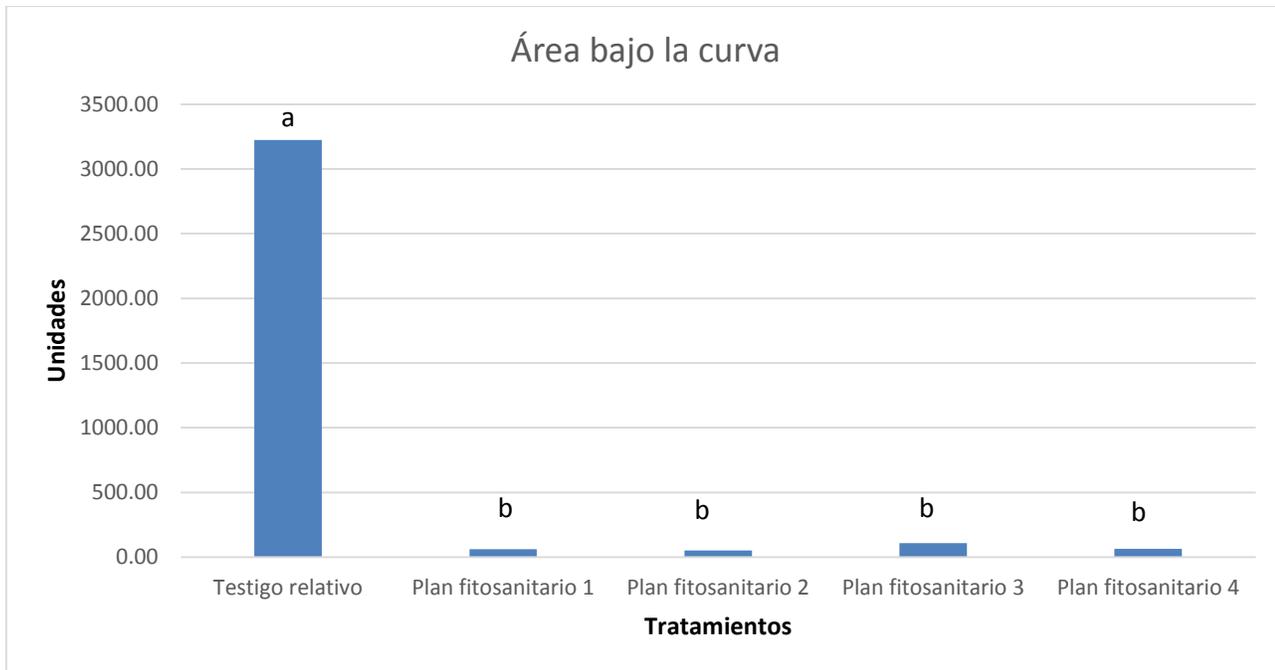


Figura 3.4 Comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para la variable de área bajo la curva de roya del café.

Puede inferirse del análisis anterior que en los tratamientos en los cuales se utilizó planes de manejo fitosanitario presentan eficacia para el control de la roya del café, para la variable severidad, ya que tienen un efecto en reducir la enfermedad evitando una defoliación prematura, hecho que podría tener importancia en la disminución de producción de la planta.

3.2.3.2 Análisis epidemiológico

A. Análisis foliar

a) Hojas totales

La figura 3.5 muestra el comportamiento de la variable de hojas totales, donde se observa que todos los tratamientos inician con un incremento en el número de hojas desde el mes de abril al mes de mayo, sin embargo se observa una caída en el número de hojas a partir del mes de agosto en el testigo relativo, esto debido a que la infección y severidad de la enfermedad provoca una defoliación prematura en la planta de café afectando el área fotosintética de la misma. Es importante destacar que el número de hojas por bandola en los planes fitosanitarios evaluados mantuvo un incremento hasta el mes de octubre, el total de hojas durante el mes de noviembre permanece constante en la planta debido a que la hoja se encuentra con un bajo grado de infección lo cual evita la caída prematura de la misma.

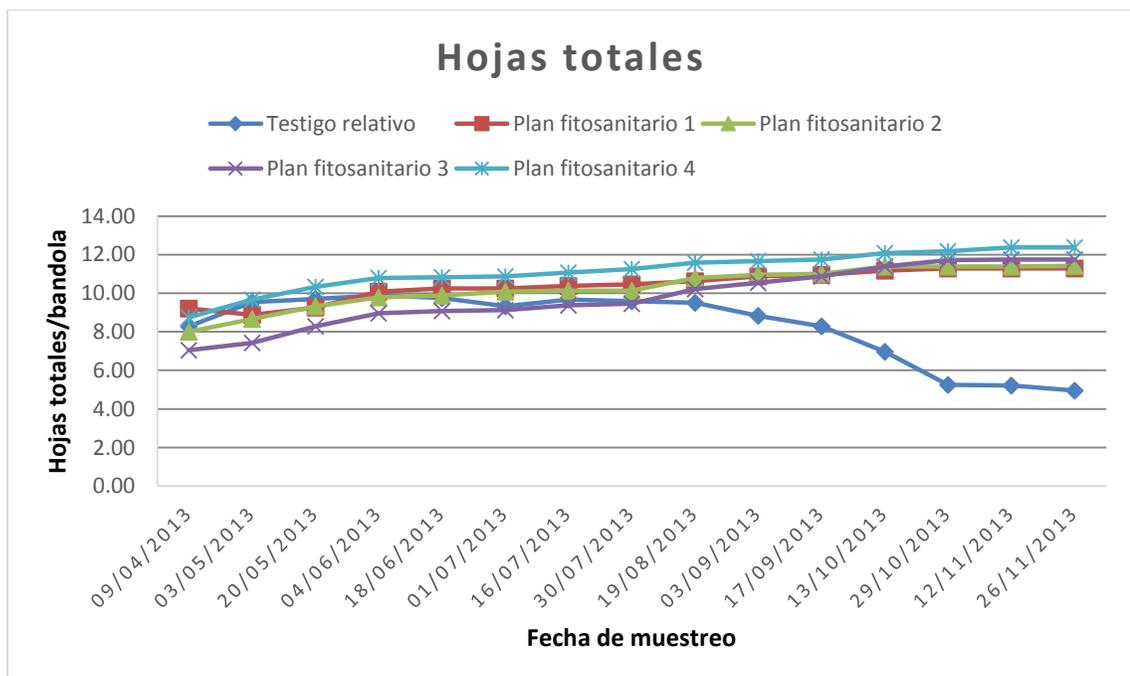


Figura 3.5 Hojas totales por bandola

Con relación a lo anterior Bayer (1978), plantea que el hecho de que una sola mancha puede causar la caída prematura de la hoja, originando una severa defoliación en la planta de café y que la misma requiere en muchos casos uno o varios años consecutivos para recuperarse, durante los cuales solo aporta rendimientos menores.

b) Hojas infectadas con roya

La figura 3.6 presenta el número de hojas infectadas por bandola. En el testigo relativo se observó un incremento significativo en el número de hojas infectadas a partir del mes de julio que avanzó hasta el mes de agosto, que es donde la finca el paraíso decidió realizar una aplicación el 14 de agosto de 2,013; lo cual al realizarla en la dosis no recomendada y en altas infecciones de roya, se demuestra que no controla eficazmente obligando a realizar otras dos aplicaciones, lo cual indica un aplicación deficiente. Este tipo de aplicación provoca una defoliación, ya que se realiza en un grado de severidad alto.

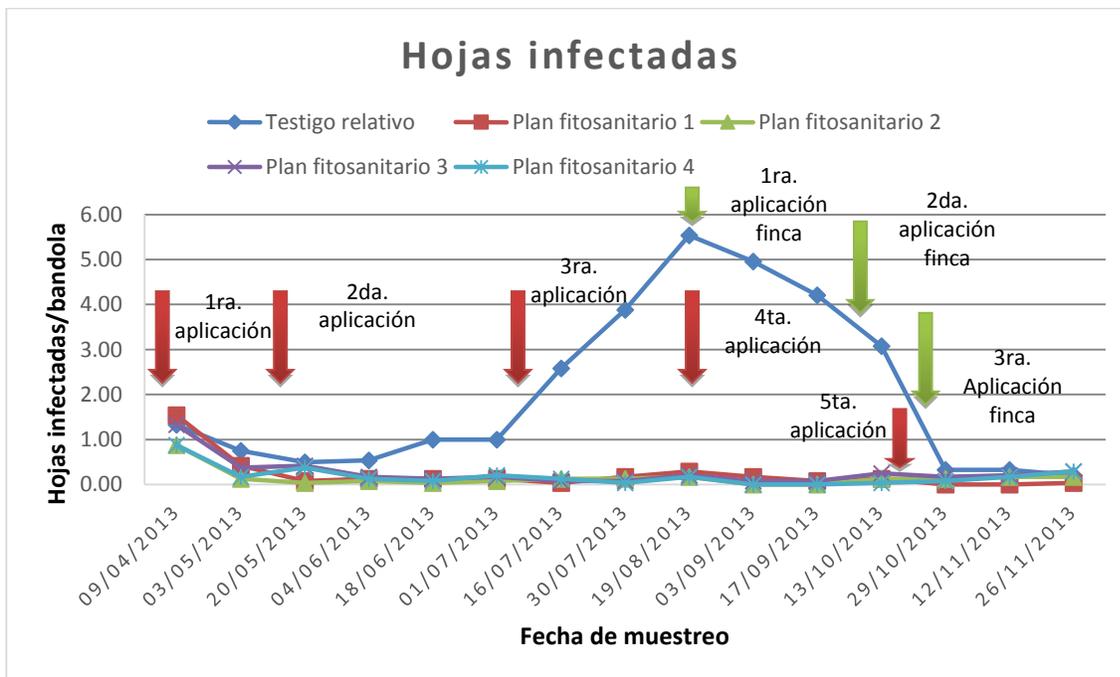


Figura 3.6 Hojas infectadas

Cuando la enfermedad presenta una sintomatología de infección y no se realiza un control eficiente el follaje empezara a caerse provocando la pérdida del área foliar, reduciendo así la capacidad fotosintética que afecta directamente al fruto, por lo que el fruto pasa de verde a seco, provocando una pérdida en la producción y por ende una reducción en la economía.

c) Severidad por planta

La figura 3.7 muestra el porcentaje de severidad promedio por planta. En el testigo se observa un incremento de severidad a partir del mes de junio, el cual se incrementa considerablemente debido a la alta infección ocasionada por la enfermedad. Se observa que en la primera aplicación del testigo realizado en el mes de agosto se tiene un porcentaje de severidad superior al 15%, el cual permanece constante a pesar de otras aplicaciones realizadas, esto debido a que existen plantas en las cuales el grado de severidad es alto, y esto permite que el control no sea eficiente.

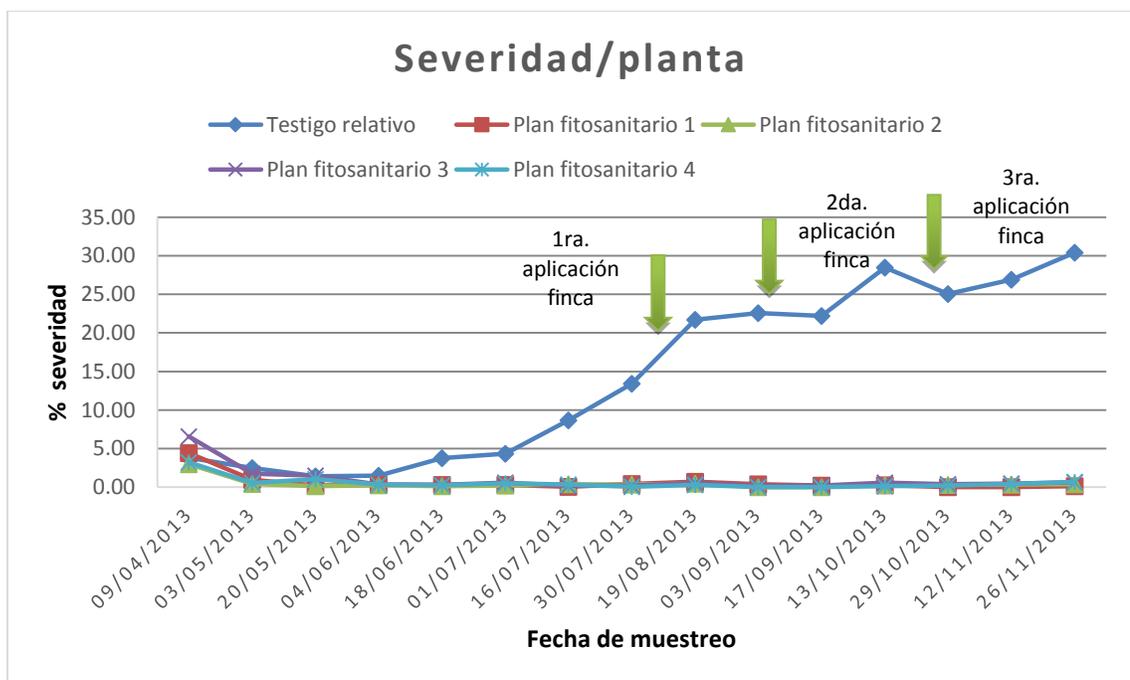


Figura 3.7 Severidad promedio por planta

d) Porcentaje de Defoliación

La figura 3.8 muestra el porcentaje de defoliación promedio por planta. En el testigo relativo se observa un incremento de defoliación a partir del mes de agosto debido al grado de severidad existente durante ese período; manteniendo porcentaje superiores a un 10% en el mes de septiembre, logrando su punto más alto en el mes de octubre con un 38.93% de defoliación respecto a la lectura anterior. Posteriormente el porcentaje de infección descendió producto de una defoliación prematura además de constantes aplicaciones realizadas por parte de la finca. En los planes fitosanitarios se observa un porcentaje negativo, esto debido a que existió crecimiento vegetativo durante el ciclo del cultivo.

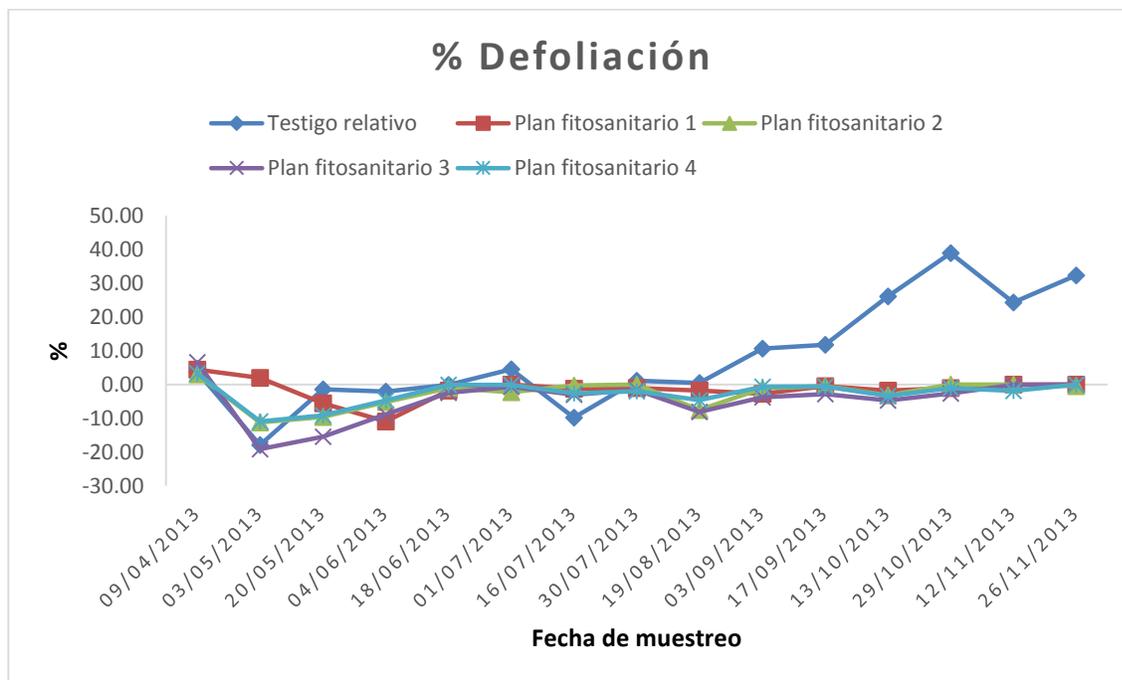


Figura 3.8 Porcentaje de defoliación por planta

3.2.3.3 Costos de aplicación Finca el paraíso

A continuación se detallan los costos de aplicación de los planes fitosanitarios y testigo finca (ver cuadro 3.7 y 3.8).

Cuadro 3.7 Costo de fungicidas/Ha

Producto	Precio	L-Kg/Ha	Costo/Ha
propineb	Q 90.00	1.6	Q 144.00
triadimenol	Q 270.00	0.7	Q 189.00
triadimenol + tebuconazole	Q 490.00	0.7	Q 343.00
trifloxystrobin + ciproconazol	Q 883.00	0.285	Q 251.66
Bayfolan	Q 58.00	2.5	Q 145.00
Adherente	Q 48.00	0.8	Q 38.40

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.8 Costo de tratamientos/Ha

Tratamientos	Costo/Ha	Quetzales	% Diferencia
Testigo Finca	Q 1.070,75	Q 471,23	44,01
Plan fitosanitario 1	Q 2.139,71	-----	-----
Plan fitosanitario 2	Q 1.541,98	Q 597,74	38,76
Plan fitosanitario 3	Q 1.695,98	Q 443,74	28,78
Plan fitosanitario 4	Q 1.695,98	Q 443,74	28,78

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 3.8 se observa a detalle el costo de aplicación por tratamiento/Ha en el cual es importante mencionar que en todos los planes fitosanitarios Bayer se aplicó Bayfolan como complemento nutricional y adherente con la finalidad de realizar una eficiente aplicación. En el testigo finca se observa un costo total por Ha de Q. 1,070.75 lo que representa que se necesita invertir un 44.01% para alcanzar el costo de aplicación del plan fitosanitario más económico. En los planes fitosanitarios Bayer se observa que el tratamiento más económico es el plan fitosanitario 2, el cual representa un 38.76% menor comparado con el tratamiento de mayor costo. Luego se encuentran los planes

fitosanitario 3 y 4 con un costo de Q. 1,695.98 para ambos lo cual refleja un 28.78% menor en el costo de aplicación en comparación del programa fitosanitario 1 el cual consistieron en 5 aplicaciones, debido a que no existen diferencias significativas entre los planes fitosanitarios se recomienda aplicar el plan de manejo fitosanitario 2 el cuales posee el costo de aplicación de menor precio con un total de Q 1.541.98/Ha.

3.2.4 EVALUACIÓN

- Todos los tratamientos de planes de manejo fitosanitario Bayer demostraron ser efectivos para el control de la roya, reduciendo su incidencia y severidad.
- En todos los tratamientos Bayer se observa un comportamiento epidémico similar lo que se traduce en una diferencia estadística no significativa entre planes fitosanitarios.
- El tratamiento del testigo finca resulto no ser efectivo debido a la deficiente aplicación que involucra subdosificación y época de aplicación, logrando que la severidad se incrementen a lo largo del ciclo del cultivo y sea difícil de controlar causando defoliación a niveles representativos.
- Según el análisis de costos realizado se determinó que el plan de manejo fitosanitario que menor costo y que presenta un efecto de control hacia *Hemileia vastatrix* es el plan de manejo fitosanitario con aplicaciones de propineb + triadimenol + triadimenol + (azoxystrobin + ciproconazol) con un costo estimado de Q 1,541.98/Ha.

3.3 SERVICIO 2. Evaluación de eficacia de planes de manejo fitosanitario para control de roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), en el cultivo de café (*Coffea arabica*), realizado en finca el Carmen, Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa, Guatemala C.A.

3.3.1 OBJETIVOS

3.3.1.1 General

- Evaluar la eficacia de cuatro planes de manejo fitosanitario que permitan el control de roya del café (*Hemileia vastatrix*) en la finca el paraíso, Barberena, Santa Rosa, Guatemala C.A.

3.3.1.2 Específicos

- Determinar entre los planes de manejo fitosanitario, el plan fitosanitario que presente la mayor eficacia de control sobre *Hemileia vastatrix*.
- Realizar un análisis temporal sobre el comportamiento de *Hemileia vastatrix* mediante la evaluación de los diferentes planes de manejo fitosanitario.
- Realizar un análisis de costos para los diferentes planes de control fitosanitario.

3.3.2 METODOLOGÍA

El cuadro 3.9 muestra los tratamientos a evaluar.

3.3.2.1 Identificación de tratamientos

Cuadro 3.9 Tratamientos utilizados

Tratamiento	Aplicación	Dosis/Ha
Testigo absoluto	-----	Sin aplicación
<u>Testigo Relativo</u>		
tebuconazol	1ra. Aplicación	500 cc
azoxystrobin + ciproconazol	2da. Aplicación	285 cc
propiconazol	3ra. Aplicación	600 cc
propineb	1ra. Aplicación	1.6 Kg
azoxystrobin + ciproconazol	2da. Aplicación	200 cc
triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
tebuconazol + triadimenol	4ta. Aplicación	700 cc
azoxystrobin + ciproconazol	5ta. Aplicación	250 cc
propineb	1ra. Aplicación	1.6 Kg
triadimenol	2da. Aplicación	500 cc
triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
azoxystrobin + ciproconazol	4ta. Aplicación	250 cc
propineb	1ra. Aplicación	1.6 Kg
tebuconazol + triadimenol	2da. Aplicación	500 cc
triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
azoxystrobin + ciproconazol	4ta. Aplicación	250 cc
propineb	1ra. Aplicación	1.6 Kg
triadimenol	2da. Aplicación	500 cc
tebuconazol + triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
azoxystrobin + ciproconazol	4ta. Aplicación	250 cc

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2 Diseño experimental

El diseño que se utilizó en esta investigación fue el de bloques completos al azar. Dadas las condiciones bajo las que se realizó el ensayo de relativa heterogeneidad de las parcelas, en función de la distribución natural de la enfermedad y limitantes propias de la topografía del terreno, se estableció una parcela para cada tratamiento.

Se delimitaron 18 parcelas de 4 surcos y 10 plantas cada una, en cada parcela se dejó 1 surcos de borde tanto en la parte superior de la parcela como en la parte inferior, y 4 plantas de borde en cada surco en la parcela neta. De esta manera obtuvimos una parcela neta de 2 surcos y de 3 plantas de café cada una. (ver figura 3.9).

A. Diseño de la unidad experimental

X	X	X	X	PARCELA NETA			X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Figura 3.9 Croquis de la parcela experimental

B. Diseño del experimento en bloques al azar

Debido a las condiciones del área experimental, se establecieron tres repeticiones de cada tratamiento distribuidos de la siguiente manera (ver figura 3.10).

R2					
T5	T1	T6	T2	T3	T4
CALLE PRINCIPAL					
R1					
T3	T6	T1	T5	T4	T2
R3					
T1	T2	T5	T3	T6	T4

Figura 3.10 Croquis de distribución de tratamientos en el campo

3.3.2.3 Establecimiento del ensayo

A. Aplicación de tratamientos

La aplicación fue terrestre y dirigida al follaje de los cafetos, tratando de lograr una cobertura adecuada. Se utilizó una aspersora de mochila la cual trabaja a 45 psi y con una boquilla de cono hueco (TX-10 Spray System).

El monitoreo de la enfermedad se realizó desde abril hasta noviembre. Las aplicaciones comenzaron en el mes de abril, realizando una aplicación de un fungicida de contacto (propineb) seguido de tres aplicaciones de fungicidas sistémicos aplicados en los meses de mayo, julio, agosto y en un tratamiento se realizó una quinta aplicación durante el mes de octubre (ver cuadro 3.10).

a) Fecha de aplicación

Cuadro 3.10 Número y fecha de aplicación de tratamientos

Número de aplicación planes fitosanitarios	Fecha	Aplicación finca	Fecha de aplicación
1ra. Aplicación	05-04-13	1ra. Aplicación	31-07-13
2da. Aplicación	23-05-13	2da. Aplicación	20-09-13
3ra. Aplicación	04-07-13	3ra. Aplicación	05-11-13
4ta. Aplicación	20-08-13		
5ta. Aplicación	17-10-13		

B. Muestreo

a) Identificación de la parcela e identificación de la bandola

Seleccionadas las parcelas se procedió a delimitarlas, para esto se utilizó una cinta color amarilla marcando en cada uno de los extremos de la parcela, además se colocó un rótulo en el ensayo en donde se detalló el nombre de la investigación.

Además se marcará 1 bandola en cada una de las plantas de la parcela neta, estas identificadas como PTR (en la parte media), en donde P es el número de planta, T es el número de tratamiento y R es el número de repetición, para esto se utilizó tiras de nylon de color azul las cuales se colocaron en cada una de las bandolas identificadas (ver figura 3.11).

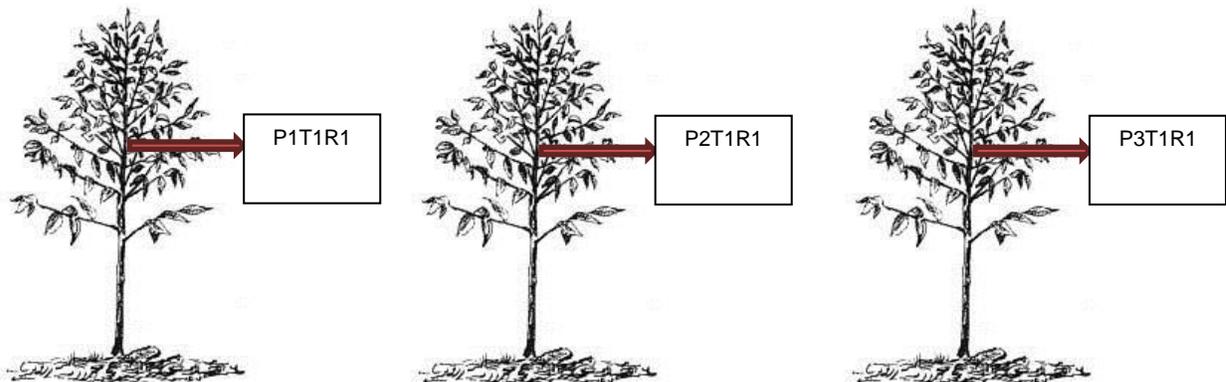


Figura 3.11. Bandola identificada en la parte media de la planta

3.3.3 RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados y la discusión, obtenida del análisis de datos generados durante la evaluación de los diferentes planes de manejo fitosanitario para el control de roya.

3.3.3.1 Análisis estadístico

A. Análisis estadístico de hojas totales

El cuadro 3.11 muestra los análisis estadísticos para la variable de hojas totales. En general se presentaron diferencias estadísticas significativas en esta variable durante el mes de diciembre del año 2,013; el inicio de la disminución significativa del número de hojas totales en las plantas evaluadas del testigo absoluto ocurrió en 45 DAE, además que en el testigo relativo se observó una disminución constante en esta variable a lo largo de la investigación 14 DAD; sin embargo con los planes de manejo fitosanitario no presentan diferencias estadísticas significativas y el número de hojas totales en la planta permanece constante. La recuperación que pueda mostrar la planta ante el ataque de la roya es un elemento de importancia a tener en cuenta para el adecuado manejo de la enfermedad y puede ser medido por la emisión de nuevas hojas.

Cuadro 3.11. Medias y prueba múltiple de medias para la variable hojas totales

Fecha de muestreo	05/09/13	19/09/13	16/10/13	31/10/13	14/11/13	01/12/13
Días después de la primera aplicación	153 DAA	167 DAA	194 DAA	209 DAA	223 DAA	240 DAA
Días después de la última aplicación	14 DAD	28 DAD	55 DAD	14 DAE	28 DAE	45 DAE
Testigo absoluto	14,22 -	14,17 -	12,22 -	11,00 -	9,28 -	7,67 B
Testigo relativo	15,56 -	15,78 -	12,00 -	12,17 -	12,11 -	12,22 Ab
Plan fitosanitario 1	14,56 -	15,00 -	15,28 -	15,28 -	15,28 -	15,28 A
Plan fitosanitario 2	13,17 -	13,94 -	14,22 -	14,22 -	14,22 -	14,22 Ab
Plan fitosanitario 3	14,28 -	14,61 -	14,72 -	15,00 -	15,11 -	15,11 A
Plan fitosanitario 4	14,06 -	14,67 -	15,11 -	15,44 -	15,44 -	15,44 A
Tukey's HSD (P=.05)	3,68	3,90	6,69	6,84	6,81	7,23
Desviación Estándar	1,30	1,37	2,36	2,41	2,40	2,55
CV	9,07	9,35	16,94	17,43	17,68	19,13

DAA=Días después de la primera aplicación) (DAD=Días después de la cuarta aplicación) (DAE=Días después de la quinta aplicación).

B. Análisis estadístico de hojas infectadas

Los cuadros 3.12 y 3.13 muestran los análisis estadísticos para la variable de hojas infectadas y la variable defoliación. Se mostraron diferencias estadísticas significativas en la variable de hojas infectadas durante el período de agosto-diciembre del año 2,013; el inicio de la disminución significativa del número de hojas infectadas en las plantas evaluadas del testigo relativo ocurrió entre 55 DAD y 28 DAE; asociado a un porcentaje de defoliación a lo largo de la evaluación. Comparado con los planes de manejo fitosanitario los cuales no presentan diferencias estadísticas, además de que el número de hojas infectas en las plantas no es significativo; además se observa un porcentaje de defoliación negativo para los planes de control, lo cual indica un porcentaje de crecimiento vegetativo.

Cuadro 3.12 Medias y prueba múltiple de medias para la variable hojas infectadas

Fecha de muestreo	21/08/13	05/09/13	19/09/13	16/10/13	31/10/13	14/11/13	01/12/13
Días después de la primera aplicación	138 DAA	153 DAA	167 DAA	194 DAA	209 DAA	223 DAA	240 DAA
Días después de la última aplicación	48 DAC	14 DAD	28 DAD	55 DAD	14 DAE	28 DAE	45 DAE
Testigo absoluto	6,56 ab	8,00 a	9,78 A	8,44 a	7,94 a	6,94 a	6,39 a
Testigo relativo	8,06 a	7,39 a	9,00 A	0,17 b	0,17 b	0,50 b	0,44 cd
Plan fitosanitario 1	0,44 ab	0,17 b	0,11 B	0,06 b	0,06 b	0,06 b	0,00 d
Plan fitosanitario 2	0,11 b	0,00 b	0,00 B	0,06 b	0,17 b	0,56 b	1,17 bcd
Plan fitosanitario 3	0,17 b	0,00 b	0,00 B	0,11 b	0,28 b	0,72 b	2,28 bc
Plan fitosanitario 4	0,61 ab	0,17 b	0,28 B	0,61 b	0,89 b	1,33 b	2,50 b
Tukey's HSD (P=.05)	7,788	6,358	6,900	3,129	3,217	1,530	1,845
Desviación Estándar	2,747	2,243	2,434	1,104	1,135	0,540	0,651
CV	103,38	85,59	76,2	70,12	71,68	32,03	30,57

(DAA=Días después de la primera aplicación) (DAD=Días después de la cuarta aplicación)
(DAE=Días después de la quinta aplicación).

C. Análisis estadístico de defoliación

Cuadro 3.13 Medias y prueba múltiple de medias para la variable defoliación

Fecha de muestreo	05/09/2013	19/09/2013	16/10/2013	31/10/2013	14/11/2013	01/12/2013
Días después de la primera aplicación	153 DAA	167 DAA	194 DAA	209 DAA	223 DAA	240 DAA
Días después de la última aplicación	14 DAD	28 DAD	55 DAD	14 DAE	28 DAE	45 DAE
Testigo absoluto	-0,69 -	-0,65 -	14,75 -	11,80 -	20,09 a	23,20 A
Testigo relativo	0,58 -	-1,78 -	24,56 -	4,58 -	7,49 ab	4,16 ab
Plan fitosanitario 1	-2,09 -	-3,52 -	-1,81 -	0,00 -	0,00 b	0,00 b
Plan fitosanitario 2	-5,26 -	-5,92 -	-1,92 -	0,00 -	0,00 b	0,00 b
Plan fitosanitario 3	-7,83 -	-2,34 -	-0,74 -	-1,82 -	-0,69 b	0,00 b
Plan fitosanitario 4	-6,38 -	-4,55 -	-3,42 -	-2,29 -	-0,43 b	0,00 b
Tukey's HSD (P=.05)	13,75	8,20	32,83	18,38	17,69	19,95
Desviación Estándar	4,85	2,89	11,58	6,48	6,24	7,04
CV	0,00	0,00	221,15	317,13	141,51	154,34

(DAA=Días después de la primera aplicación) (DAD=Días después de la cuarta aplicación)
(DAE=Días después de la quinta aplicación).

Se determinó que los efectos negativos de la roya, provoca una considerable reducción del área foliar en los meses de mayor incidencia de la enfermedad, y por consiguiente un daño directo sobre los principales procesos de la planta como son fotosíntesis, transpiración, respiración etc., lo que implica necesariamente la reducción de la productividad de las plantas. De aquí se deduce la importancia que tiene el manejo de la enfermedad tomar medidas preventivas de control encaminadas a evitar la distribución de la enfermedad en el campo.

D. Área bajo la curva de severidad

El cuadro 3.14 muestra las medias y prueba múltiple de medias de ABC de severidad donde se observan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5%. Esto demuestra que para esta variable, todos los tratamientos en los cuales se maneja planes fitosanitarios tienen una eficacia comparativa para el control de roya luego de 45 DAE.

Cuadro 3.14 Análisis de varianza para área bajo la curva de severidad de roya

Fecha de muestreo	01/12/2013	
Días después de la primera aplicación	240 DAA	
Días después de la última aplicación	45 DAE	
Testigo absoluto	2615,41	a
Testigo relativo	1672,07	ab
Plan fitosanitario 1	109,76	b
Plan fitosanitario 2	84,02	b
Plan fitosanitario 3	107,25	b
Plan fitosanitario 4	171,27	b
Tukey's HSD (P=.05)	2282,80	
Desviación Estándar	805,28	
CV	101,51	

DAE= Días después de la quinta aplicación

La figura 3.12 presenta el área bajo la curva de severidad para los diferentes tratamientos. Debido a la significancia encontrada entre los tratamientos, se hizo la comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Al analizar los resultados de esta prueba, se observó la conformación de dos grupos, el primer grupo identificado con la literal a, el cual agrupa el tratamiento testigo absoluto y testigo relativo, con un valor de media de área bajo la curva con 2,615.41 unidades- % de daño y 1,672.07 unidades- % de daño respectivamente. El otro grupo conformado por la literal b, en las cuales se encuentran los planes fitosanitarios 1, 2, 3, y 4 de acuerdo a la prueba no existen diferencias estadísticas significativas entre estos valores.

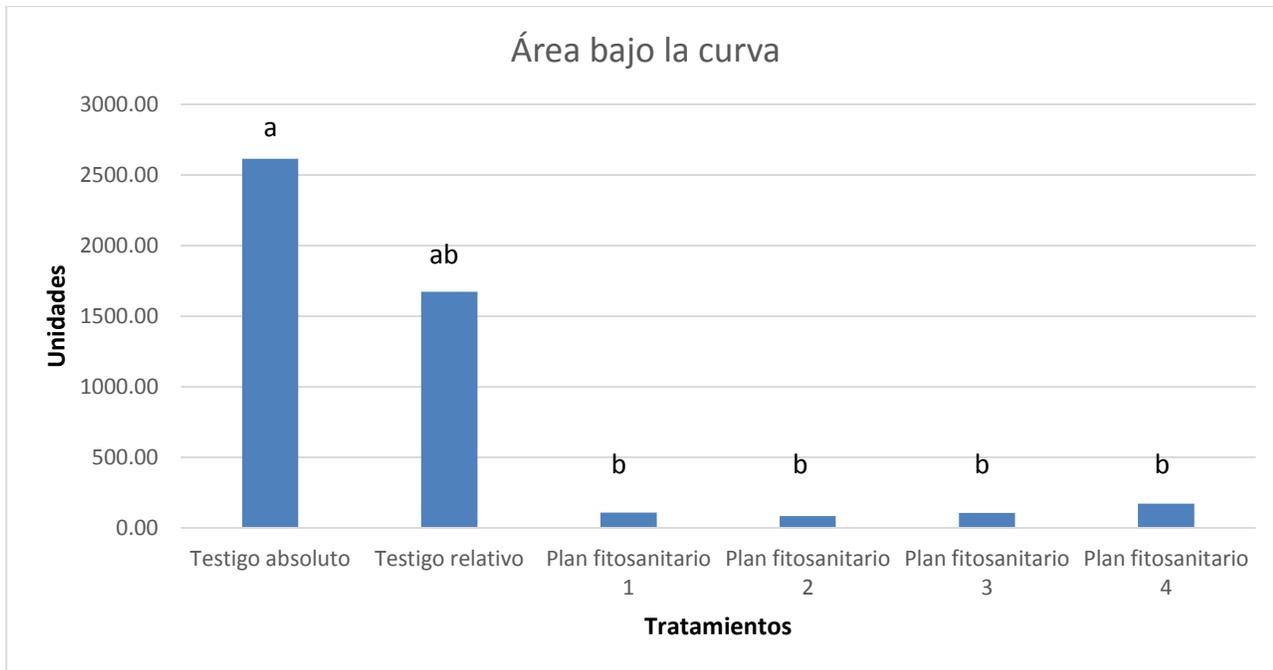


Figura 3.12 Comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para la variable de área bajo la curva de roya del café.

Puede inferirse del análisis anterior que en los tratamientos en los cuales se utilizó planes de manejo fitosanitario presentan eficacia para el control de la roya del café, para la variable severidad, ya que tienen un efecto en reducir la enfermedad evitando una defoliación prematura, hecho que podría tener importancia en la disminución de producción de la planta.

3.3.3.2 Análisis epidemiológico

A. Análisis foliar

a) Hojas totales

La figura 3.13 muestra que todos los tratamientos inician con un incremento en el número de hojas desde el mes de abril al mes de mayo, sin embargo se observa una descenso en el número de hojas a partir del mes de agosto en el testigo relativo, debido a que la infección y severidad de la enfermedad provoca una defoliación prematura en la planta de café afectando el área fotosintética de la misma. En el testigo relativo se observó un descenso en el número de hojas por bandola de 3.78 durante el mes de octubre; esta disminución es provocada por la aplicación de fungicidas en tasas de infección alta, por lo que es importante realizar aplicaciones preventivas para evitar afectar la planta.

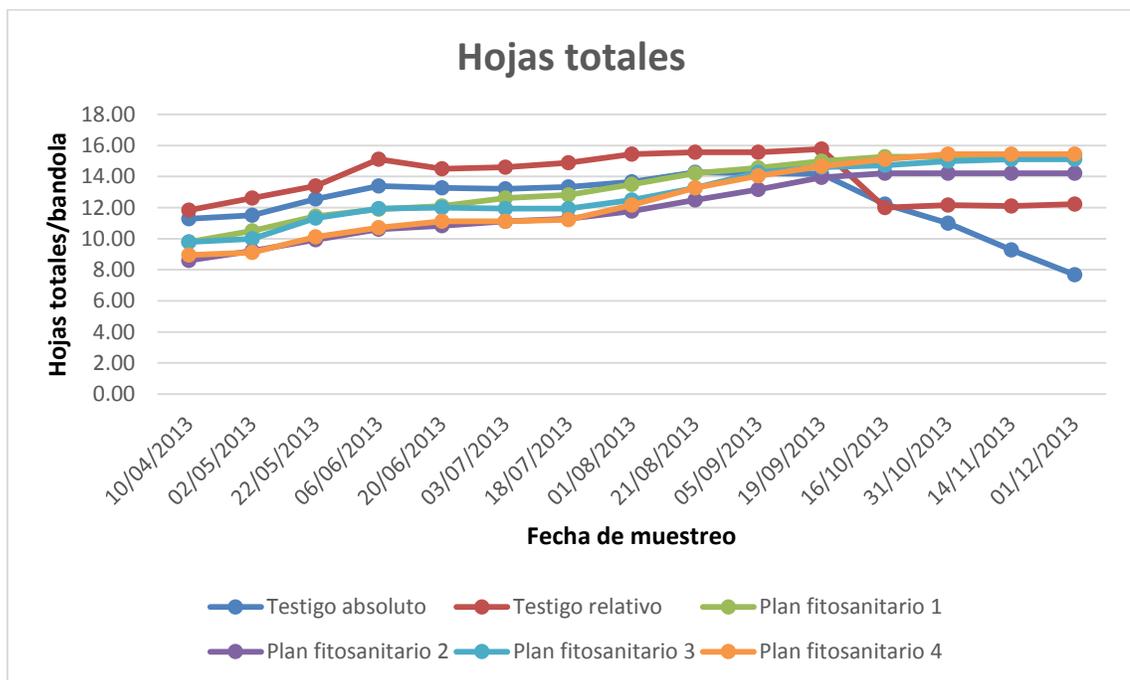


Figura 3.13 Hojas totales por bandola

Además se destaca que el número de hojas por bandola en los planes fitosanitarios evaluados mantuvo un incremento hasta el mes de octubre, el total de hojas durante el mes de noviembre-diciembre permaneció constante debido a que la planta posee baja tasa de infección con lo cual se evita la caída prematura de la misma.

b) Hojas infectadas con roya

La figura 3.14 muestra el número de hojas infectadas por bandola. En el testigo relativo y testigo absoluto se observó un incremento significativo en el número de hojas infectadas por bandola; el cual inicia a partir del mes de agosto llegando al punto más alto en el mes de septiembre a razón de 9.78 hojas infectadas para el testigo absoluto y 9 hojas infectadas para el testigo absoluto; en la cual la finca el Carmen decidió realizar una aplicación el 20 de septiembre de 2,013; está aplicación disminuye drásticamente el número de hojas infectadas pero es debido a la caída de la misma, ya que el número de hojas totales pasó de 15.78 hojas/bandola a 12 hojas/bandola; por lo que una aplicación tardía provoca una defoliación; como consecuencia del grado de parasitismo del hongo, las hojas se caen prematuramente provocando agotamiento paulatino en las planta, lo cual reduce la capacidad fotosintética de la misma, provocando daños al fruto.

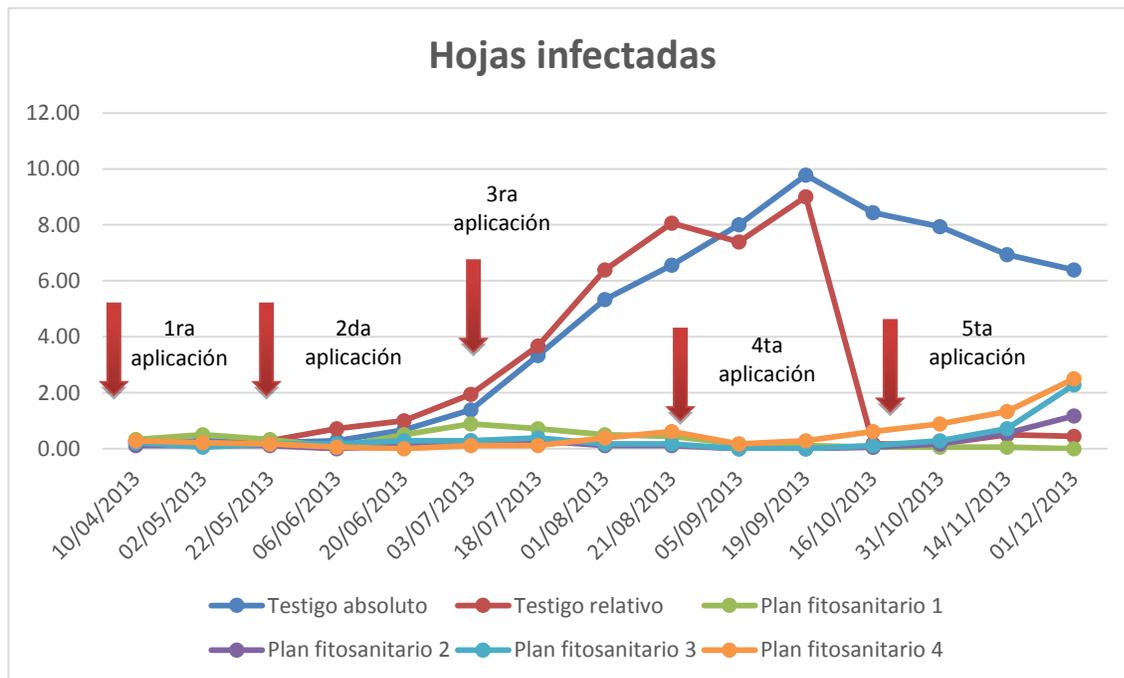


Figura 3.14 Hojas Infectadas

c) Severidad por planta

La figura 3.15 muestra el porcentaje de severidad promedio por planta. En el testigo absoluto se observa un incremento de severidad a partir del mes de junio, el cual se aumenta considerablemente debido a la alta infección ocasionada por la enfermedad. Se observa que en la primera aplicación del testigo relativo realizado en el mes de agosto se tiene un porcentaje de severidad superior al 9%, el cual permanece constante a pesar de otras aplicaciones realizadas, esto debido a que existen plantas en las cuales el grado de severidad es alto, y esto permite que el control no sea eficiente.

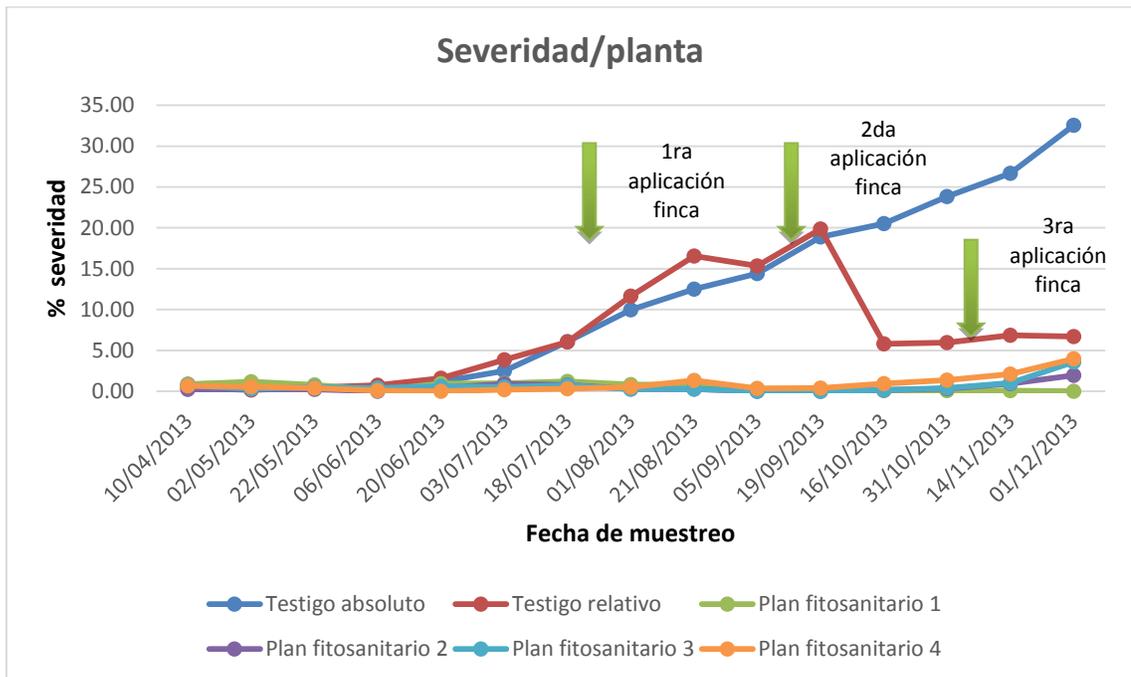


Figura 3.15 Severidad promedio por planta

d) Porcentaje de Defoliación

La figura 3.16 muestra el porcentaje de defoliación promedio por planta. En el testigo relativo se observa un incremento de defoliación a partir del mes de octubre debido al grado de severidad existente durante ese período alcanzando un valor de 24.56%; para el testigo absoluto se observaron porcentaje superiores al 10% en el mes de octubre, logrando su punto más alto en el mes de diciembre con un 23.20% de defoliación respecto a la lectura anterior. En los planes fitosanitarios se observa un porcentaje negativo, esto debido a que existió crecimiento vegetativo durante el ciclo del cultivo.

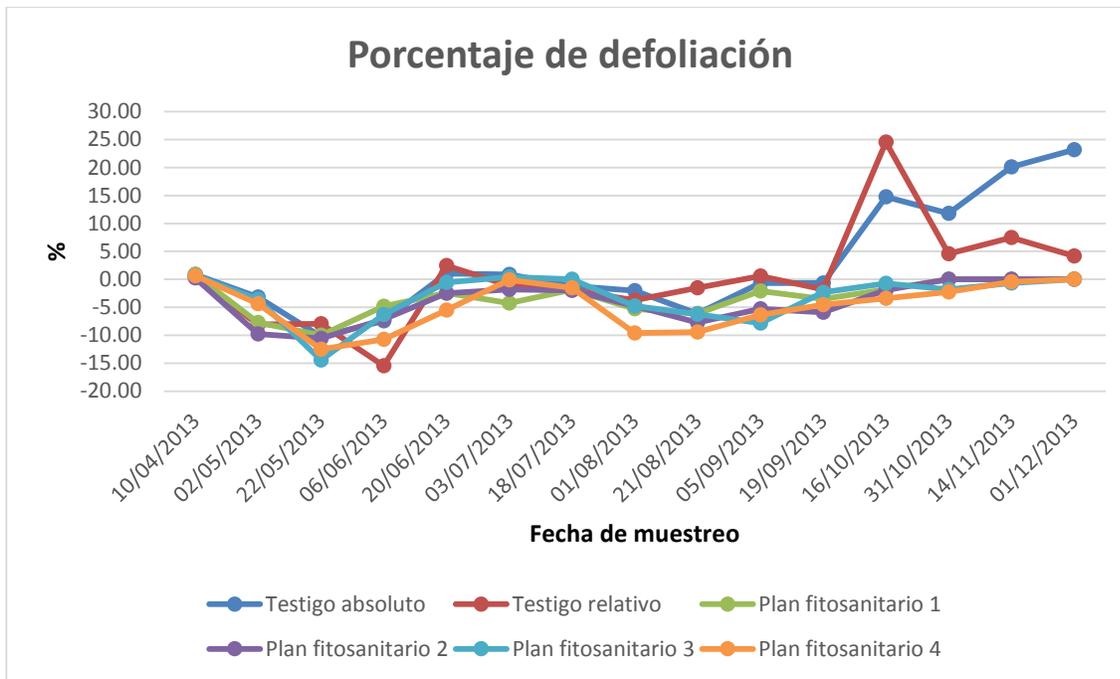


Figura 3.16. Porcentaje de defoliación por planta

3.3.3.3 Costos de aplicación Finca el Carmen

A continuación se detallan los costos de aplicación de los planes fitosanitarios y testigo finca (ver cuadro 3.15 y 3.16).

Cuadro 3.15 Costo de fungicidas/Ha

Producto	Precio	L-Kg/Ha	Costo/Ha
propineb	Q 90,00	1,6	Q 144,00
triadimenol	Q 270,00	0,5	Q 135,00
triadimenol+tebuconazole	Q 490,00	0,5	Q 245,00
trifloxystrobin +ciproconazol	Q 883,00	0,2	Q 176,60
tebuconazol	Q 310,00	0,5	Q 155,00
propiconazol	Q 300,00	0,6	Q 180,00
Bayfolan	Q 58,00	2,5	Q 145,00
Adherente	Q 48,00	0,73	Q 35,04

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.16 Costo de tratamientos/Ha

Tratamientos	Costo/Ha	Quetzales	% Diferencia
Testigo Finca	Q 1.126,78	Q 282,14	25,04
Plan fitosanitario 1	Q 1.973,55	-----	-----
Plan fitosanitario 2	Q 1.408,91	Q 564,64	40,08
Plan fitosanitario 3	Q 1.518,91	Q 454,64	32,27
Plan fitosanitario 4	Q 1.487,16	Q 486,39	34,52

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 3.16 se observa a detalle el costo de aplicación por tratamiento/Ha en el cual es importante mencionar que en todos los planes fitosanitarios Bayer se aplicó un fertilizante foliar como complemento nutricional y un adherente con la finalidad de realizar una eficiente aplicación. En el testigo finca se observa un costo total por Ha de Q. 1,126.78 lo que representa que se necesita invertir un 25.04% para alcanzar el costo de aplicación del plan fitosanitario de menor inversión. En los planes fitosanitarios Bayer se observa que el tratamiento más económico es el plan fitosanitario 2, el cual representa un

40.08% más económico comparado con el tratamiento más costoso. Luego se encuentran los planes fitosanitario 3 con un costo de Q. 1518.91 y el plan fitosanitario 4 con una inversión de Q. 1487.16; que en comparación del programa fitosanitario 1, estos planes fitosanitarios tienen una inversión menor de 34.52% y 32.27%. Debido a que no existen diferencias significativas entre los planes fitosanitarios se recomienda aplicar el plan de manejo fitosanitario 2 el cual posee el costo de aplicación de menor precio con un total de Q. 1,408.91/Ha.

3.3.4 EVALUACIÓN

- *Hemileia vastatrix* al igual que otro patógeno, representan daño hacia un cultivo por lo que ocasiona una pérdida en la producción, lo que se traduce en reducción de la rentabilidad; en la evaluación realizada se observó que los tratamientos de planes de manejo fitosanitario Bayer demostraron ser efectivos para el control de la roya, reduciendo su grado de infección.
- En todos los tratamientos Bayer se observa un comportamiento epidémico similar lo que se traduce en una diferencia estadística no significativa entre planes fitosanitarios.
- El tratamiento del testigo finca resultó ser poco eficaz debido a los factores que involucra subdosificación y época de aplicación, logrando que el nivel de daño se intensifique a lo largo del ciclo del cultivo causando defoliación a niveles representativos.
- Según el análisis de costos realizado se determinó que el plan de manejo fitosanitario más económico y que presenta un efecto de control hacia *Hemileia vastatrix* es el plan de manejo fitosanitario propineb + triadimenol + triadimenol + (azoxystrobin + ciproconazol) con un costo estimado de Q 1,408.91/Ha.

3.4 SERVICIO 3. Evaluación de eficacia de planes de manejo fitosanitario para control de roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), en el cultivo de café (*Coffea arabica*), realizado en finca Sabanetas, Barberena, Santa Rosa, Guatemala C.A.

3.4.1 OBJETIVOS

3.4.1.1 General

- Evaluar la eficacia de cuatro planes de manejo fitosanitario que permitan el control de roya del café (*Hemileia vastatrix*) en la finca el paraíso, Barberena, Santa Rosa, Guatemala C.A.

3.4.1.2 Específicos

- Determinar entre los planes de manejo fitosanitario, el plan fitosanitario que presente la mayor eficacia de control sobre *Hemileia vastatrix*.
- Realizar un análisis temporal sobre el comportamiento de *Hemileia vastatrix* mediante la evaluación de los diferentes planes de manejo fitosanitario.
- Realizar un análisis de costos para los diferentes planes de control fitosanitario.

3.4.2 METODOLOGÍA

3.4.2.1 Identificación de tratamientos

El cuadro 3.17 muestra los tratamientos a evaluar.

Cuadro 3.17 Descripción de tratamientos utilizados

Tratamiento	Aplicación	Dosis/Ha
Testigo absoluto	-----	Sin aplicación
propineb	1ra. Aplicación	1.6 Kg
azoxystrobin + ciproconazol	2da. Aplicación	250 cc
triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
tebuconazol + triadimenol	4ta. Aplicación	700 cc
azoxystrobin + ciproconazol	5ta. Aplicación	250 cc
propineb	1ra. Aplicación	1.6 Kg
triadimenol	2da. Aplicación	700 cc
tebuconazol + triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
azoxystrobin + ciproconazol	4ta. Aplicación	250 cc
propineb	1ra. Aplicación	1.6 Kg
tebuconazol + triadimenol	2da. Aplicación	700 cc
triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
azoxystrobin + ciproconazol	4ta. Aplicación	250 cc
propineb	1ra. Aplicación	1.6 Kg
triadimenol	2da. Aplicación	700 cc
tebuconazol + triadimenol	3ra. Aplicación	700 cc
azoxystrobin + ciproconazol	4ta. Aplicación	250 cc

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.2 Diseño experimental

El diseño que se utilizó en esta investigación fue el de bloques completos al azar. Dadas las condiciones bajo las que se realizó el ensayo de relativa heterogeneidad de las parcelas, en función de la distribución natural de la enfermedad y limitantes propias de la topografía del terreno, se estableció una parcela para cada tratamiento.

Se delimitaron 24 parcelas de 4 surcos y 10 plantas cada una, en cada parcela se dejó 1 surco de borde tanto en la parte superior de la parcela como en la parte inferior, y 4 plantas de borde en cada surco en la parcela neta. De esta manera obtuvimos una parcela neta de 2 surcos y de 3 plantas de café cada una (ver figura 3.17).

A. Diseño de la unidad experimental

X	X	X	X	PARCELA NETA			X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Figura 3.17 Croquis de la parcela experimental

B. Diseño del experimento en bloques al azar

Debido a las condiciones del área experimental, se establecieron cuatro repeticiones de cada tratamiento distribuidos de la siguiente manera (ver figura 3.18).

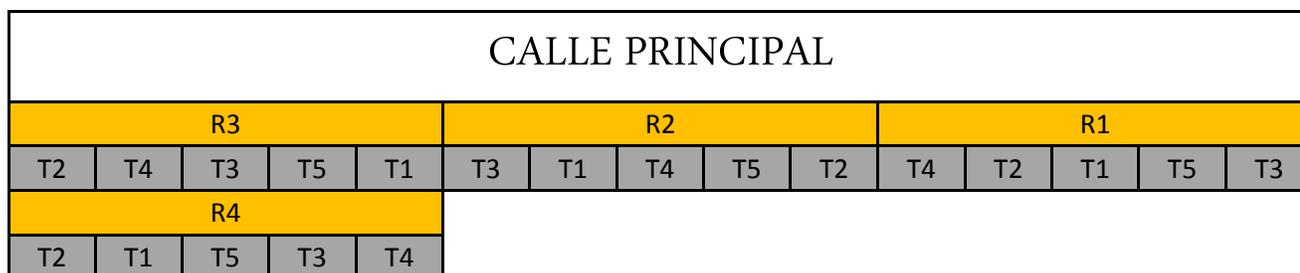


Figura 3.18 Croquis de distribución de tratamientos en el campo

3.4.2.3 Establecimiento del ensayo

A. Aplicación de tratamientos

La aplicación fue terrestre y dirigida al follaje de los cafetos, tratando de lograr una cobertura adecuada. Se utilizó una aspersora de mochila la cual trabaja a 45 psi y con una boquilla de cono hueco (TX-10 Spray System).

El monitoreo de la enfermedad se realizó desde abril hasta noviembre. Las aplicaciones comenzaron en el mes de abril, realizando una aplicación de un fungicida de contacto (propineb) seguido de tres aplicaciones de fungicidas sistémicos aplicados en los meses de mayo, julio, agosto y en un tratamiento se realizó una quinta aplicación durante el mes de octubre (ver cuadro 3.18).

a) Fecha de aplicación

Cuadro 3.18 Fecha de aplicación en planes de manejo fitosanitario

Aplicación de tratamientos	Fecha de aplicación
1ra. Aplicación	12-04-13
2da. Aplicación	27-05-13
3ra. Aplicación	08-07-13
4ta. Aplicación	26-08-13
5ta. Aplicación	21-10-13

Fuente: Elaboración propia

B. Muestreo

a) Identificación de la parcela e identificación de la bandola

Seleccionadas las parcelas se procedió a delimitarlas, para esto se utilizó una cinta color amarilla marcando en cada uno de los extremos de la parcela, además se colocó un rótulo en el ensayo en donde se detalló el nombre de la investigación.

Además se marcaró 1 bandola en cada una de las plantas de la parcela neta, estas identificadas como PTR (en la parte media), en donde P es el número de planta, T es el número de tratamiento y R es el número de repetición, para esto se utilizó tiras de nylon de color azul las cuales se colocaron en cada una de las bandolas identificadas (ver figura 3.19).

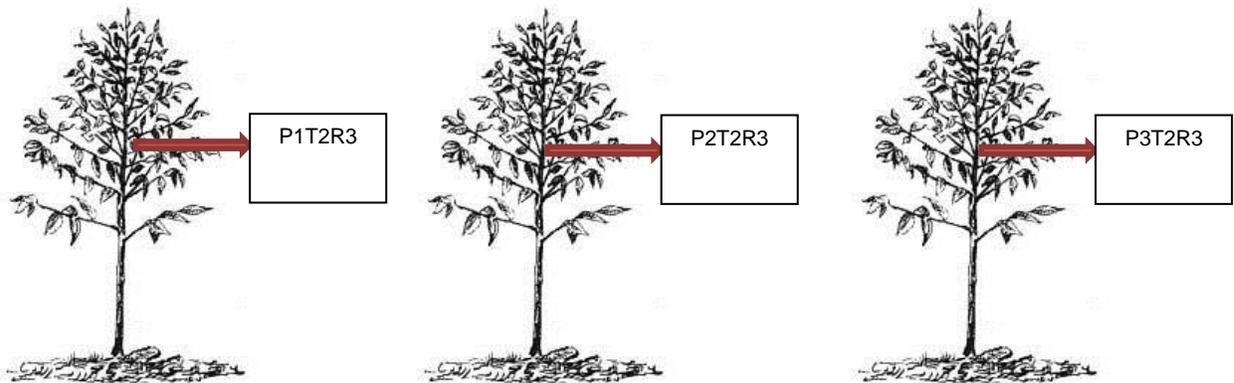


Figura 3.19 Bandola identificada en la parte media de la planta.

3.4.3 RESULTADOS

3.4.3.1 Análisis estadístico

A continuación se muestran los resultados y la discusión, obtenida del análisis de datos generados durante la evaluación de los diferentes planes de manejo fitosanitario para el control de roya.

A. Análisis estadístico de hojas totales

En el cuadro 3.19, se observan los respectivos análisis estadísticos para la variable de hojas totales. En general se presentaron diferencias estadísticas significativas en esta variable durante el mes de diciembre del año 2,013; el inicio de la disminución significativa del número de hojas totales en las plantas evaluadas del testigo absoluto ocurrió en 45 DAE, además que en el testigo relativo se observó una disminución constante en esta variable a lo largo de la investigación 14 DAD; sin embargo con los planes de manejo fitosanitario no presentan diferencias estadísticas significativas y el número de hojas totales en la planta permanece constante. La recuperación que pueda mostrar la planta ante el ataque de la roya es un elemento de importancia a tener en cuenta para el adecuado manejo de la enfermedad y puede ser medido por la emisión de nuevas hojas.

Cuadro 3.19 Medias y prueba múltiple de medias para la variable hojas totales

Fecha de muestreo	23/08/13	09/09/13	23/09/13	18/10/13	04/11/13	18/11/13	03/12/13
Días después de la primera aplicación	133 DAA	150 DAA	164 DAA	189 DAA	206 DAA	220 DAA	235 DAA
Días después de la última aplicación	46 DAC	14 DAD	28 DAD	53 DAD	14 DAE	28 DAE	43 DAE
Testigo absoluto	10,00 b	8,96 b	7,21 b	4,88 b	3,29 b	2,08 b	1,25 b
Plan fitosanitario 1	14,75 a	15,00 a	15,17 a	15,21 a	15,13 a	15,04 a	15,08 a
Plan fitosanitario 2	14,08 ab	14,13 a	14,21 a	14,13 a	14,13 a	14,13 a	14,04 a
Plan fitosanitario 3	14,29 ab	14,63 a	14,79 a	14,75 a	14,75 a	14,83 a	14,75 a
Plan fitosanitario 4	12,96 ab	13,04 ab	12,96 a	12,92 a	12,92 a	12,92 a	12,92 a
Tukey's HSD (P=.05)	4,73	4,85	5,50	5,45	4,83	4,80	4,65
Desviación Estándar	2,10	2,15	2,44	2,42	2,14	2,13	2,06
CV	15,88	16,37	18,96	19,53	17,80	18,03	17,75

(DAA=Días después de la primera aplicación) (DAD=Días después de la cuarta aplicación) (DAE=Días después de la quinta aplicación).

B. Análisis estadístico de hojas infectadas

El cuadro 3.20 y 3.21 muestra los análisis estadísticos para la variable de hojas infectadas y la variable defoliación. Se mostraron diferencias estadísticas significativas en la variable de hojas infectadas durante el período de agosto-diciembre del año 2,013; el inicio de la disminución significativa del número de hojas infectadas en las plantas evaluadas del testigo relativo ocurrió entre 55 DAD y 45 DAC; asociado a un porcentaje de defoliación a lo largo de la evaluación. Comparado con los planes de manejo fitosanitario los cuales no presentan diferencias estadísticas, además de que el número de hojas infectas en las plantas no es significativo; además se observa un porcentaje de defoliación negativo para los planes de control, lo cual indica un porcentaje de crecimiento vegetativo.

Cuadro 3.20 Medias y prueba múltiple de medias para la variable hojas infectadas

Fecha de muestreo	23/08/13	09/09/13	23/09/13	18/10/13	04/11/13	18/11/13	03/12/13
Días después de la primera aplicación	133 DAA	150 DAA	164 DAA	189 DAA	206 DAA	220 DAA	235 DAA
Días después de la última aplicación	46 DAC	14 DAD	28 DAD	53 DAD	14 DAE	28 DAE	43 DAE
Testigo absoluto	5,58 a	6,04 a	5,29 a	3,96 a	2,54 a	1,46 -	0,92 ab
Plan fitosanitario 1	0,13 b	0,17 b	0,33 b	0,79 b	0,21 b	0,04 -	0,13 b
Plan fitosanitario 2	0,67 b	0,13 b	0,04 b	0,17 b	0,25 b	0,54 -	1,63 ab
Plan fitosanitario 3	0,38 b	0,04 b	0,04 b	0,13 b	0,21 b	0,92 -	1,83 ab
Plan fitosanitario 4	0,71 b	0,17 b	0,17 b	0,38 b	0,54 b	1,21 -	2,25 a
Tukey's HSD (P=.05)	3,20	2,01	2,68	2,98	1,99	1,93	2,05
Desviación Estándar	1,42	0,89	1,19	1,32	0,88	0,85	0,91
CV	95,15	68,18	101,27	122,05	117,41	102,44	67,33

(DAA=Días después de la primera aplicación) (DAD=Días después de la cuarta aplicación)

(DAE=Días después de la quinta aplicación).

C. Análisis estadístico para defoliación

Cuadro 3.21 Medias y prueba múltiple de medias para la variable defoliación

Fecha de muestreo	23/08/13	09/09/13	23/09/13	18/10/13	04/11/13	18/11/13	03/12/13
Días después de la primera aplicación	133 DAA	150 DAA	164 DAA	189 DAA	206 DAA	220 DAA	235 DAA
Días después de la última aplicación	46 DAC	14 DAD	28 DAD	53 DAD	14 DAE	28 DAE	43 DAE
Testigo absoluto	4,54 -	11,03 -	24,56 -	47,82 a	53,62 a	71,26 a	79,99 a
Plan fitosanitario 1	-2,36 -	-2,58 -	-0,87 -	-0,74 b	0,17 b	0,17 b	0,20 b
Plan fitosanitario 2	-2,63 -	-1,04 -	-1,19 -	0,23 b	0,01 b	0,00 b	0,80 b
Plan fitosanitario 3	-2,02 -	-2,73 -	-1,68 -	0,32 b	0,00 b	-0,69 b	0,64 b
Plan fitosanitario 4	-0,77 -	-0,83 -	0,62 -	0,52 b	0,39 b	0,00 b	0,00 b
Tukey's HSD (P=.05)	8,22	16,66	27,18	24,50	25,53	28,19	17,23
Desviación Estándar	3,65	7,39	12,05	10,87	11,32	12,50	7,64
CV	0,00	959,68	280,97	112,82	104,45	88,37	46,81

(DAA=Días después de la primera aplicación) (DAD=Días después de la cuarta aplicación)
(DAE=Días después de la quinta aplicación).

Se determinó que los efectos negativos de la roya lo que unida a otros factores, provoca una considerable reducción del área foliar en los meses de mayor incidencia de la enfermedad, y por consiguiente un daño directo sobre los principales procesos de la planta como son fotosíntesis, transpiración, respiración etc., lo que implica necesariamente la reducción de la productividad de las plantas. De aquí se deduce la importancia que tiene el manejo de la enfermedad tomando medidas preventivas de control encaminadas a evitar la distribución de la enfermedad en el campo. Además se observó que todos los tratamientos de manejo fitosanitario evaluados tienen una eficacia comparativa en el control de *Hemileia vastatrix*.

D. Área bajo la curva de severidad

El cuadro 3.22 muestra las medias y prueba múltiple de medias de ABC de severidad donde se observan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al 5%. Esto demuestra que para esta variable, todos los tratamientos en los cuales se maneja planes fitosanitarios tienen una eficacia comparativa para el control de roya luego de 43 DAE.

Cuadro 3.22 Análisis de varianza para área bajo la curva de severidad de roya

Fecha de muestreo	03/12/2013	
Días después de la primera aplicación	235 DAA	
Días después de la última aplicación	43 DAE	
Testigo absoluto	5924,85	a
Plan fitosanitario 1	52,34	b
Plan fitosanitario 2	209,60	b
Plan fitosanitario 3	138,50	b
Plan fitosanitario 4	370,63	b
Tukey's HSD (P=.05)	2835,88	
Desviación Estándar	1257,60	
CV	93,91	

DAE= Días después de la quinta aplicación

La figura 3.20 presenta el área bajo la curva de severidad para los diferentes tratamientos. Debido a la significancia encontrada entre los tratamientos, se hizo la comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Al analizar los resultados de esta prueba, se observó la conformación de dos grupos, el primer grupo identificado con la literal a, el cual agrupa el tratamiento testigo absoluto, con un valor de media de área bajo la curva con 5,924.85 unidades- % de daño. El otro grupo conformado por la literal b, en las cuales se encuentran los planes fitosanitarios 1, 2, 3, y 4 de acuerdo a la prueba no existen diferencias estadísticas significativas entre estos valores.

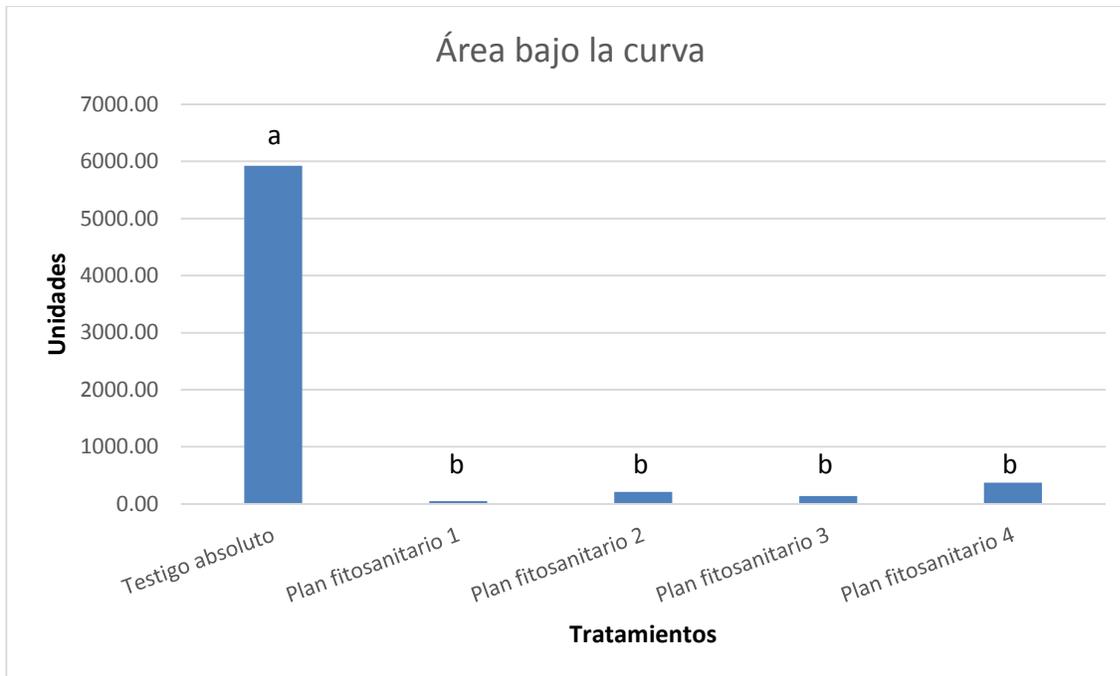


Figura 3.20 Comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para la variable de área bajo la curva de roya del café.

Puede inferirse del análisis anterior que en los tratamientos en los cuales se utilizó planes de manejo fitosanitario presentan eficacia para el control de la roya del café, para la variable severidad, ya que tienen un efecto en reducir la enfermedad evitando una defoliación prematura, hecho que podría tener importancia en la disminución de producción de la planta.

3.4.3.2 Análisis epidemiológico

A. Análisis foliar

a) Hojas totales

La figura 3.21 muestra que todos los tratamientos inician con un incremento en el número de hojas desde el mes de abril, sin embargo se observa una caída en el número de hojas a partir del mes de junio para el testigo absoluto debido al grado de severidad que aumenta a partir de ese mes; provocando una defoliación prematura en la planta de café afectando el área fotosintética de la misma, obteniendo un número de hojas promedio por bandola de 1.25 durante el mes de diciembre, el cual es un indicador claro del porqué debemos realizar aplicaciones para proteger el tejido y evitar que el grado de defoliación no sea significativo y llegue a daños irreversibles en el cual la planta pierda totalmente sus hojas y empiece existir una muerte descendente en la bandola, lo cual provocaría que el grano de café no llene de una forma correcta y el grano pase de un estado verde a seco sin antes existir un proceso de maduración natural.

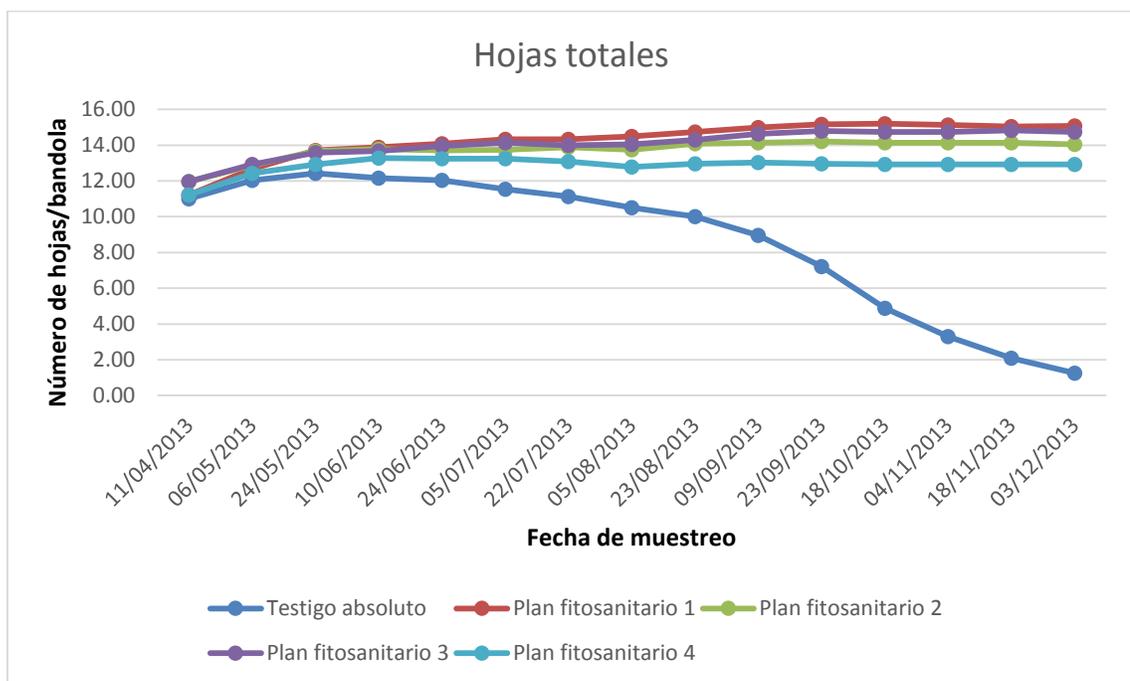


Figura 3.21 Hojas totales por bandola

Es importante destacar que el número de hojas por bandola en los planes fitosanitarios mantuvo un incremento hasta el mes de octubre, luego de eso el total de hojas durante el mes de noviembre se mantiene en la planta debido a que la planta presentó un porcentaje de daño no significativo; evitando la caída de la misma.

b) Hojas infectadas con roya

La figura 3.22 muestra el número de hojas infectadas por bandola. En el testigo absoluto se observó un incremento significativo en el número de hojas infectadas a partir del mes de junio, siendo el más alto de 6.04 hojas infectadas para el mes de septiembre, luego de esto empieza a descender la cantidad de hojas infectadas producto el alto grado de severidad de la enfermedad.

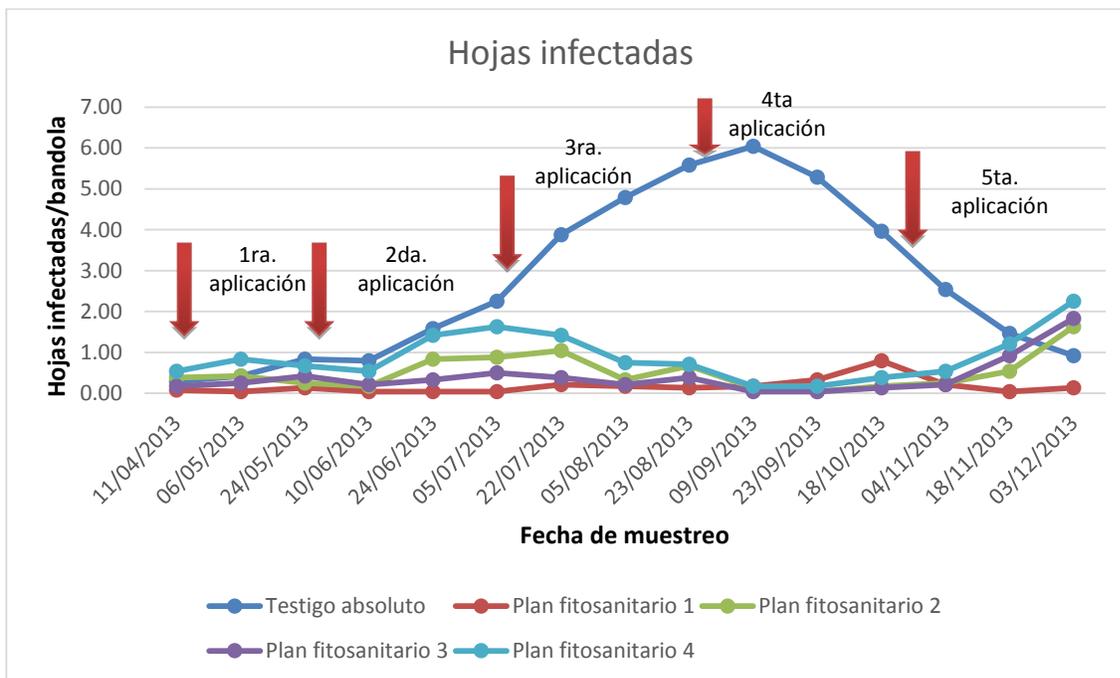


Figura 3.22 Hojas infectadas

c) Severidad por planta

La figura 3.23 presenta el porcentaje de severidad promedio por planta. En el tratamiento en el cual no se realizó ninguna aplicación se observó un incremento de severidad a partir del mes de mayo, el cual mantiene una tendencia al ascenso debido al grado de defoliación existente en ese período; en el cual existen plantas con 0 hojas promedio lo cual hace que el porcentaje de severidad se incremente considerablemente hasta alcanzar un máximo 81.33% al inicio del mes de diciembre; lo cual muestra la importancia de realizar aplicaciones en el período donde la enfermedad no cause daños considerables y poder controlarla de una manera eficaz y evitar que el daño sea significativo al final del ciclo del cultivo. El porcentaje de severidad para los planes fitosanitarios 3 y 4 no supera el 4.2% a lo largo del tiempo y para los planes fitosanitarios 1 y 2 no supera el 2.9% el grado de severidad durante todo el período de evaluación.

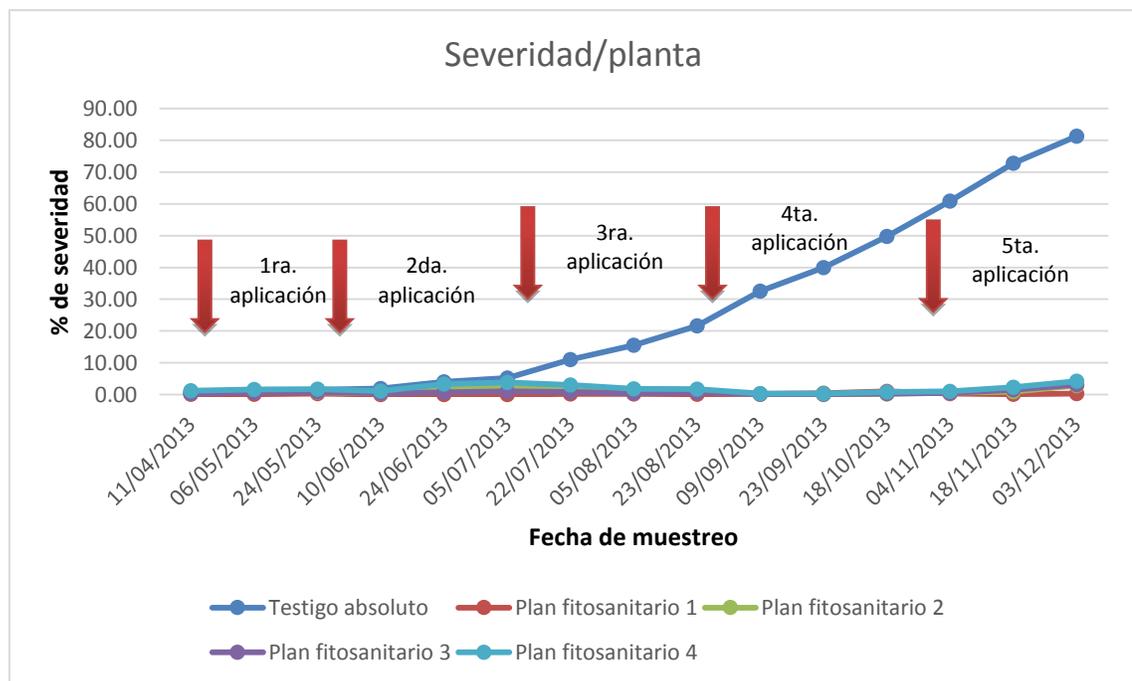


Figura 3.23 Severidad promedio por planta

d) Porcentaje de Defoliación

La figura 3.24 muestra el porcentaje de defoliación promedio por planta. En el testigo absoluto se observa un porcentaje de defoliación a partir del mes de junio que a lo largo del tiempo se incrementa producto del grado significativo de infección y daño de la enfermedad, observando un valor de defoliación superior al 10% a partir del mes de septiembre y alcanzando el mayor porcentaje de defoliación en el mes de diciembre el cual asciende a un valor de 80%. En los planes fitosanitarios se observa un porcentaje negativo, esto debido a que existió crecimiento vegetativo durante el ciclo del cultivo, además el porcentaje de defoliación en los tratamientos en los cuales se aplicó fungicidas no sobrepasa el 0.8% para el mes de diciembre.

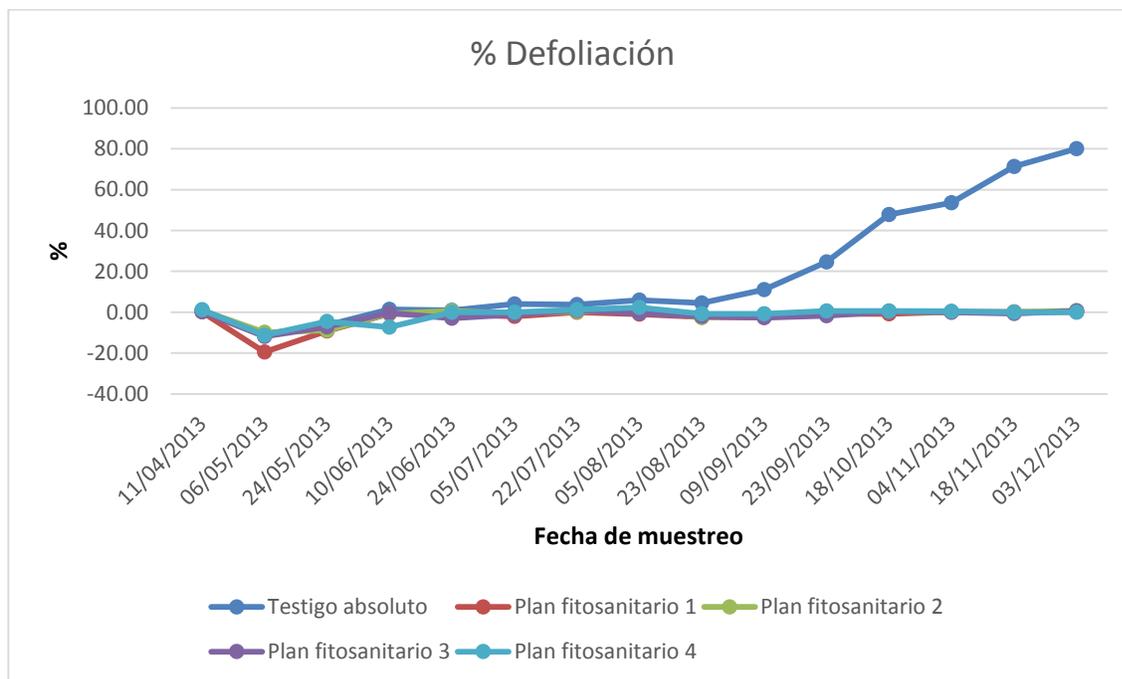


Figura 3.24 Porcentaje de defoliación por planta

3.4.3.3 Costos de aplicación Finca Sabanetas

A continuación se detallan los costos de fungicidas y aplicación de los planes fitosanitarios (ver cuadro 3.23 y 3.24).

Cuadro 3.23 Costo de fungicidas/Ha

Producto	Precio	L-Kg/Ha	Costo/Ha
Propineb	Q 90,00	1,6	Q 144,00
Triadimenol	Q 270,00	0,7	Q 189,00
triadimenol+tebuconazole	Q 490,00	0,7	Q 343,00
trifloxystrobin +ciproconazol	Q 883,00	0,25	Q 220,75
Bayfolan	Q 58,00	2,5	Q 145,00
Adherente	Q 48,00	0,70	Q 33,60

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3.24 Costo de tratamientos/Ha

Tratamientos	Costo/Ha	Quetzales	% Diferencia
Plan fitosanitario 1	Q 2.010,50	-----	-----
Plan fitosanitario 2	Q 1.611,15	Q 399,35	24,79
Plan fitosanitario 3	Q 1.611,15	Q 399,35	24,79
Plan fitosanitario 4	Q 1.611,15	Q 399,35	24,79

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 3.24 se observa a detalle el costo de aplicación por tratamiento/Ha en el cual es importante mencionar que en todos los planes fitosanitarios se aplicó un fertilizante foliar como complemento nutricional y adherente con la finalidad de realizar una eficiente aplicación asegurando la adherencia del producto hacia la hoja. En los planes fitosanitarios evaluados se observa que los tratamiento de menor costo son los planes fitosanitario 2, 3 y 4, el cual representa un 24.79% menor comparado con el programa fitosanitario 1 el cual consistió en 5 aplicaciones; debido a que no existen diferencias significativas entre los planes fitosanitarios se recomienda aplicar el plan de manejo fitosanitario 2, 3 o 4; el cual posee el costo de aplicación de menor costo con un total de Q 1,611.15/Ha.

3.4.4 EVALUACIÓN

- Se determinaron los niveles de eficacia de control con los tratamientos propuestos, como lo muestran las gráficas anteriores, en las cuales los tratamientos de planes de manejo fitosanitario evaluados demostraron ser efectivos para el control de la roya del café, manteniendo una tasa de infección baja.
- En los planes fitosanitarios evaluados se observó un comportamiento epidémico similar lo que se traduce en una diferencia estadística no significativa.
- Según el análisis de costos realizado se determinó que los planes de fitosanitario de menor costo y que presenta un efecto de control hacia *Hemileia vastatrix* son los planes fitosanitarios 2, 3 y 4 con un costo estimado de Q 1,611.15/Ha.