

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE FUNGICIDAS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE OJO  
DE GALLO OCASIONADA POR *Mycena citricolor* EN CAFÉ (*Coffea arabica*) EN FINCA  
LA SOLEDAD ACATENANGO, CHIMALTENANGO, GUATEMALA, C.A.

SÓSTENES EDUARDO LEAL TRUJILLO

200515086

Guatemala, octubre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE FUNGICIDAS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE OJO DE GALLO OCASIONADA POR *Mycena citricolor* EN CAFÉ (*Coffea arabica*) EN FINCA LA SOLEDAD ACATENANGO, CHIMALTENANGO, GUATEMALA, C.A.

TESIS

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

POR

SÓSTENES EDUARDO LEAL TRUJILLO

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRÓNOMO EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

Guatemala, octubre 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR MAGNÍFICO

Lic. Carlos Estuardo Gálvez Barrios

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Dr. Lauriano Figueroa Quiñonez
VOCAL I	Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL II	Ing. Agr. MSc. Marino Barrientos García
VOCAL III	Ing. Agr. MSc. Oscar René Leiva Ruano
VOCAL IV	Br. Lorena Carolina Flores Pineda
VOCAL V	P. Agr. Josué Antonio Martínez Roque
SECRETARIO	Ing. Agr. Carlos Roberto Echeverría Escobedo

Guatemala, septiembre de 2011

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

Honorables Miembros:

De conformidad con la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de tesis titulado:  
**EVALUACIÓN DE FUNGICIDAS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE OJO DE GALLO OCACIONADA POR *Mycena citricolor* EN CAFÉ (*Coffea arabica*) EN FINCA LA SOLEDAD ACATENANGO, CHIMALTENANGO, GUATEMALA, C.A.**

Presentado como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

En espera de su aprobación, me es grato presentarle mi agradecimiento.

Atentamente,

SÓSTENES EDUARDO LEAL TRUJILLO

## **ACTO QUE DEDICO**

A:

DIOS: Por darme la fuerza divina que me impulsa a seguir adelante.

MIS PADRES: Jhony Leal Benavente y María del Carmen Trujillo Cabrera, gracias por su paciencia, esfuerzo e incansable lucha por nuestra superación y formación en la vida.

MIS HERMANOS: Sulman Beatriz Leal Trujillo por su apoyo, cariño y aliento. Jhony Alexander Leal Trujillo mi fiel amigo, que este triunfo les sirva de ejemplo para su superación. Siempre estaremos juntos en el camino de la vida.

MIS ABUELOS Sóstenes Leal Arriola (QEPD), Claudia Benavente (QEPD), por la enseñanza y consejos de la vida, los extraño. Alejandro Trujillo y Graciela Cabrera, por su cariño y motivación en el largo camino de la vida.

MI FAMILIA EN GENERAL: Por mantener viva la esperanza del triunfo día tras día, y enseñarme el valor de la unión en los momentos difíciles.

MIS AMIGOS: Con aprecio hacia todos, por los buenos y malos momentos compartidos en el transcurso de nuestra formación. Especialmente a la promoción 2005.

A USTED: Con respeto.

## AGRADECIMIENTO

A:

DIOS:

MI PATRIA GUATEMALA

MI BELLO MUNICIPIO SIQUINALA, ESCUINTLA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

LA GLORIOSA FACULTAD DE AGRONOMÍA.

Dr. Edin Francisco Orozco

FINCA LA SOLEDAD, ACATENANGO, CHIMALTENANGO

ANACAFE

A USTED

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 JUSTIFICACIÓN.....	2
3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
4 MARCO CONCEPTUAL.....	3
4.1 MARCO TEÓRICO.....	3
4.1.1 Clasificación taxonómica del café.....	3
4.1.2 Morfología del café.....	3
4.1.3 Características botánicas del café.....	3
4.1.4 Floración.....	3
4.1.5 Especies y variedades.....	4
4.1.6 Clima y suelo.....	6
4.1.7 Manejo del cultivo.....	6
4.1.8 Manejo del suelo.....	9
4.1.9 Fertilización.....	9
4.1.10 Poda del café.....	10
4.1.11 Cosecha del café.....	10
4.1.12 Enfermedad ojo de gallo ocasionada por <i>Mycena citricolor</i> .....	11
4.1.13 Taxonomía de <i>Mycena citricolor</i> .....	11
4.1.14 Ciclo de vida de <i>Mycena citricolor</i> .....	13
4.1.15 Manejo de la enfermedad ojo de gallo.....	14
4.1.16 Fitopatometría.....	19
4.1.17 Cuantificación de una epidemia.....	19
4.1.18 Características de medición basada en incidencia.....	20
4.1.19 Análisis espacial de una epidemia.....	21
4.1.20 Análisis temporal de una epidemia.....	24
4.2 MARCO REFERENCIAL.....	32
4.2.1 Finca La Soledad.....	32

4.2.2	Características .....	32
5	HIPÓTESIS .....	33
6	OBJETIVOS .....	33
6.1	OBJETIVO GENERAL.....	33
6.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	33
7	METODOLOGÍA.....	33
7.1	Metodología experimental.....	33
7.1.1	Variedad de café.....	33
7.1.2	Fungicidas y productos biológicos evaluados.....	34
7.1.3	Diseño experimental .....	34
7.1.4	Unidad experimental .....	35
7.2	Cuantificación de la enfermedad de ojo de gallo en café ( <i>C. arabica</i> ) .....	36
7.2.1	Incidencia y severidad de la enfermedad .....	36
7.3	Análisis espacial de la enfermedad .....	37
7.4	Estudio de los principales factores epidemiológicos que favorecen el desarrollo de ojo de gallo. ....	38
7.5	Descripción de síntomas asociados a la enfermedad ojo de gallo.....	38
7.6	Aparecimiento de síntomas de ojo de gallo .....	38
7.7	Número de lesiones .....	39
7.8	Diámetro de lesión.....	39
7.9	Defoliación.....	39
7.10	Área foliar enferma.....	39
7.11	Número de lesiones por hoja caída y estructuras del hongo .....	39
7.12	Prácticas de manejo de ojo de gallo comunes en el experimento .....	40
7.12.1	Podas de sombra.....	40
7.12.2	Aplicación de lombricompost más boro y zinc .....	40
7.12.3	Control de malezas .....	40
7.12.4	Secuencia de aplicación.....	40
7.13	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	41
7.13.1	Para análisis temporal .....	41
7.13.2	Determinación del modelo a que corresponde el conjunto de datos de la intensidad de la enfermedad colectados en el tiempo (lecturas mensuales) .....	41
7.13.3	Análisis de varianza para diseño completamente al azar .....	41

7.13.4	Análisis espacial .....	41
8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
8.1	Evaluación del uso de fungicidas y agentes de control biológico como parte de manejo de la enfermedad de ojo de gallo en café en Acatenango, Chimaltenango, Guatemala. ....	42
8.2	Descripción de los síntomas asociados a la enfermedad ojo de gallo en las condiciones de Alotenango, Chimaltenango, Guatemala. ....	43
8.3	Cuantificación de la enfermedad de ojo de gallo en café <i>Coffea arabica</i> .....	45
8.3.1	Número de hojas enfermas.....	45
8.3.2	Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) .....	47
8.3.3	Tasa de incremento de la enfermedad ojo de gallo .....	48
8.3.4	Análisis de varianza para la variable incidencia de ojo de gallo .....	48
8.3.5	Prueba de medias LSD Fisher .....	49
8.3.6	Correlación de factores asociados al clima, hospedero y patógeno .....	50
8.3.7	Análisis de forma y diámetro de lesiones ocasionadas por <i>Mycena citricolor</i> .....	51
8.3.8	Análisis de la defoliación causado por <i>Mycena citricolor</i> .....	52
8.3.9	Análisis del área foliar enferma .....	56
8.3.10	Número de lesiones ocasionadas por <i>Mycena citricolor</i> en hojas de café.....	56
8.4	Distribución espacial de ojo de gallo causado por <i>Mycena citricolor</i> .....	58
8.5	Distribución temporal de ojo de gallo causado por <i>Mycena citricolor</i> .....	59
8.6	Principales factores epidemiológicos que favorecen el desarrollo de ojo de gallo en café, Alotenango, Chimaltenango, Guatemala. ....	61
8.6.1	Patógeno <i>Mycena citricolor</i> .....	61
8.6.2	Hospederos de <i>Mycena citricolor</i> .....	62
8.6.3	Ambiente favorable para ojo de gallo .....	62
9	CONCLUSIONES.....	63
10	RECOMENDACIONES.....	64
11	BIBLIOGRAFÍA .....	65
12	ANEXOS .....	69

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Página

Gráfica 1. Curva del progreso de la enfermedad de ojo de gallo causado por el hongo <i>Mycena citricolor</i> , en la evaluación de tratamientos químicos, biológicos y precipitación pluvial en Finca La Soledad Acatenango, Guatemala, 2009. *Las barras indican la precipitación pluvial y líneas suavizadas corresponden a tratamientos evaluados.....	43
Gráfica 2. Curvas de incidencia de ojo de gallo causado por <i>Mycena citricolor</i> (línea oscura corresponde al tratamiento evaluado y la de color claro al testigo). a) Caldo de lombricompost; b) <i>Bacillus</i> sp. alternado con <i>Trichoderma harzianum</i> c) pyraclostrobin más epoxiconazole, y d) caldo viçosa. Las barras corresponden a valores de número de hojas en dos ramas por planta, según tratamiento evaluado en Finca La Soledad Acatenango, Chimaltenango, Guatemala, 2009. *Las flechas indican el momento de aplicación de fungicidas. ....	46
Gráfica 3. Valores de área bajo la curva para la enfermedad de ojo de gallo ocasionado por <i>Mycena citricolor</i> en la evaluación de fungicidas sistémicos y biológicos, en finca La Soledad, Alotenango, Chimaltenango, Guatemala, 2009.....	47
Gráfica 4. Comportamiento del número de hojas en plantas de café con diferentes tratamientos bajo influencia de <i>Mycena citricolor</i> en Finca Soledad, Acatenango, Chimaltenango, Guatemala. Los valores correspondientes a esta gráfica es la sumatoria de las hojas de las dos bandolas por planta, en los 10 puntos de muestreo.....	52
Gráfica 5. Relación entre fructificación de ojo de gallo en hojas de café causada por el hongo <i>Mycena citricolor</i> , precipitación pluvial e incidencia en Finca La Soledad, Acatenango, Chimaltenango, Guatemala, 2009.....	54
Gráfica 6. Relación entre lesiones primarias, lesiones secundarias ocasionadas por <i>Mycena citricolor</i> en plantas de café y precipitación pluvial, bajo condiciones de Finca La Soledad, Acatenango, Guatemala 2009. Plantas aplicadas con caldo de lombricompost (a). Plantas aplicadas con <i>Bacillus</i> sp. alternado con <i>Trichoderma harzianum</i> (b). Plantas testigos (c). Plantas aplicadas con pyraclostrobin más epoxiconazole (d). Plantas aplicadas con caldo viçosa (e). Flechas indican momento de aplicación de los productos.....	57
Gráfica 7. Análisis temporal de ojo de gallo ocasionado por <i>Mycena citricolor</i> . Tratamiento testigo, modelo monomolecular, a. Aplicación de caldo de lombricompost, modelo lineal, b. Aplicación de <i>Bacillus</i> alternado <i>Trichoderma</i> , modelo monomolecular, c. Aplicación de pyraclostrobin más epoxiconazole, modelo lineal d. Aplicación de caldo viçosa, modelo lineal, e. Valores porcentuales representan porcentaje de incidencia de enfermedad y valores horizontales representan fecha de muestreo.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1: Ciclo de <i>Mycena citricolor</i> , según Orozco & Calderón (2010).....	14
---	----

Figura 2. Modelos utilizados para la descripción de curvas de progreso de enfermedades. A) Exponencial, B) Monomolecular, C) logístico, D) Gompertz, E) log-logístico, F) Von Bertalanffy-Richards, según Campbell & Madden (1990).....	31
Figura 3. Croquis de la ubicación de parcelas de donde se evaluaron los tratamientos de fungicidas y productos biológicos en finca la Soledad, Acatenango, 2009. ....	36
Figura 4. Escala descriptiva utilizada en la evaluación de productos químicos y biológicos, para el manejo de <i>Mycena citricolor</i> , bajo condiciones de Finca Soledad, Alotenango, Chimaltenango. Figuras superiores indican presencia y defoliación de enfermedad, figuras inferiores indican lesiones del hongo en hojas. La descripción inferior indica el grado de severidad dependiendo de la cantidad de enfermedad presente en plantas de café. ....	37
Figura 5: Síntomas en hojas de café de ojo de gallo causada por el hongo <i>Mycena citricolor</i> en condiciones de Finca Soledad, Acatenango, Guatemala 2009. Lesiones en hoja madura de color gris blanquecino (a). Lesiones en hoja joven de color café oscuro (b). Lesión primaria color café blanquecino, lesión secundaria color café oscura (c). Gemas de reproducción asexual de ojo de gallo, la lesión blanquecina es una lesión primaria y la lesión oscura es una lesión secundaria (d). ....	44
Figura 6. Poda de barreras vivas para el manejo de sombra en plantas de café, práctica utilizada para el manejo de <i>Mycena citricolor</i> , flecha indica dirección de barrera (a). Defoliación severa en planta de café (b). Brotes de hojas nuevas en plantas de café (c), en Finca La Soledad, Acatenango, Guatemala, 2009. ....	55
Figura 7. Mapas bidimensionales que muestran la distribución espacial de ojo de gallo causado por <i>Mycena citricolor</i> , en las parcelas de café según tratamiento indicado en la parte inferior de las columnas, correspondientes a las lecturas realizadas al inicio y final de la investigación en la Finca La Soledad, Acatenango, Chimaltenango, 2009. *Flechas indican barreras vivas dentro del ensayo. Color negro en los mapas indica enfermedad. ....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Total de aplicaciones por tratamiento.....	40
Tabla 2. Tasa de incremento de la enfermedad ojo de gallo causada por <i>Mycena citricolor</i> para cada tratamiento evaluado en Finca Soledad, Acatenango, Guatemala, 2009. ....	48
Tabla 3. Análisis de Varianza para la variable incidencia de ojo de gallo causada por el hongo <i>Mycena citricolor</i> , bajo condiciones de Finca la Soledad, Acatenango, Guatemala, 2009. *Existe diferencia significativa entre tratamientos y entre repeticiones. ....	49
Tabla 4. Prueba de medias LSD Fisher, para la variable incidencia de ojo de gallo causada por <i>Mycena citricolor</i> , bajo condiciones de Finca la Soledad, Acatenango, Guatemala, 2009. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ). ....	50
Tabla 5. Análisis de correlación de las variables incidencia de ojo de gallo, precipitación pluvial, número de lesiones observadas en la planta, fructificación de gemas del hongo, número de hojas totales y número de hojas nuevas, bajo las condiciones de Finca Soledad, Acatenango, Guatemala. Valores menores a 0.05 se consideran correlacionados ( $p \leq 0.05$ ). ..	51

EVALUACIÓN DE FUNGICIDAS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE OJO DE GALLO OCASIONADA POR *Mycena citricolor* EN CAFÉ (*Coffea arabica*) EN FINCA LA SOLEDAD ACATENANGO, CHIMALTENANGO, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

*Mycena citricolor* es un hongo basidiomycete causante de la enfermedad ojo de gallo, principal problema de enfermedades en plantaciones de café, establecidas en áreas altas y húmedas de Guatemala y otros países centroamericanos (Orozco *et al* 2010).

La enfermedad es conocida bajo los nombres de “viruela”, “gotera”, “american leaf spot” y en Guatemala “ojo de gallo”. En general es más seria en áreas con excesiva sombra y altas densidades de siembra y en regiones muy lluviosas (López, 1991; Umaña *et al*, 1990). Se han reportado pérdidas en cosechas superiores al 50 %, en fincas sin programas de control fitosanitario (Vargas, 1984). Estas pérdidas son provocadas debido a la excesiva caída de hojas, lo que ocasiona debilitamiento en las plantas de café, así como la caída apreciable de los frutos (López, 1991).

La presente investigación fue orientada al estudio de tratamientos químicos y biológicos para el hongo *M. citricolor* y estudio de aspectos epidemiológicos de ojo de gallo, bajo condiciones de finca La Soledad, Acatenango, Chimaltenango. Se establecieron cinco parcelas de 8 surcos de 24 plantas donde se aplicaron tratamientos para el manejo de *M. citricolor* en café asperjados en el follaje de las plantas de café. Los tratamientos evaluados fueron: 1) *Bacillus subtilis* alternado con *Trichoderma harzianum*, 2) caldo de lombricompost (tratamientos biológicos); 3) fungicida de contacto caldo viçosa y 4) una mezcla de fungicidas sistémicos basados en pyraclostrobin más epoxiconazole y 5) testigo del agricultor (uso de fungicida sistémico). En la parte epidemiológica, se cuantificó la incidencia de la enfermedad, se estudió la distribución espacial y temporal de la enfermedad en poblaciones de cafetos establecidos, que presentaban historial de problemas causados por *M. citricolor*. También, aspectos de relacionados al hospedero, el patógeno y el ambiente que propicia la enfermedad.

En cuanto a la evaluación de estos productos a lo largo del ensayo (8 meses), se observó diferente efecto en la reducción de la enfermedad. De los tratamientos evaluados, la mezcla de pyraclostrobin más epoxiconazole, fue el más eficiente en reducir los daños de la

enfermedad. Valores totales de incidencia de enfermedad para cada tratamiento fueron: testigo del agricultor 52%, pyraclostrobin más epoxiconazole 33%, caldo viçosa 34%, *Bacillus* sp. alternado con *Trichoderma harzianum* 41% y caldo de lombricompost 47%.

En cuanto a los síntomas observados, en hojas maduras que sobreviven en la planta de café de un año para otro, se presentaron lesiones circulares de aproximadamente medio centímetro y son de color blanquecino y constituye el inóculo primario. Cuando las hojas son maduras y robustas las lesiones tienen a ser circulares, a diferencia que cuando las hojas son jóvenes las lesiones son irregulares. En el inicio de la enfermedad, cuando principian las lluvias, se observa esporulación del hongo en el inóculo primario. Luego, le aparecen pequeñas manchas de color café oscuro, que corresponden a las infecciones del hongo, esta evolucionan de tamaño y forma, en su madurez, se tornan de un color gris blanquecino. Cuando las condiciones son húmedas, se producen sobre la superficie de la lesión, gemas en número variable, las cuales son pequeñas estructuras de color amarillo de forma de alfiler. El número de lesiones y de gemas por hoja es variable.

En el análisis de correlación, los factores relacionados a la incidencia de la enfermedad fueron: fructificación y la precipitación pluvial, para este último la relación es inversa. El número de lesiones está relacionado a la fructificación del café y precipitación pluvial. El número de hojas adultas por rama tiene una relación con el número de hojas nuevas en la misma y tiene una relación inversa a la incidencia. En el lugar se encontraron hospederos alternos del hongo como malezas que crecen dentro del agroecosistema de café, plantas epífitas, así como árboles frutales y algunas especies forestales que predominan en la región. Las condiciones que predominan en la localidad donde se realizó el estudio, humedad relativa superior al 80%, temperaturas cercanas a 20 °C, altitudes entre 800 a 1700 msnm y precipitaciones entre 2000 y 3,000 mm por año.

## 1 INTRODUCCIÓN

El cultivo de café tiene importancia económica en Guatemala por la cantidad de divisas que genera al año producto de las exportaciones, según ANACAFE (2009), se exportan 4.8 millones de sacos de 46 kilos. Guatemala posee condiciones adecuadas para producir café con calidad de grano y características organolépticas superiores a otros países. El café, como otros cultivos tiene enfermedades y plagas que limitan la producción.

En el año 2009, en Guatemala y en la región centroamericana, una de las principales enfermedades del cultivo de café es el ojo de gallo, que es causado por el hongo *Mycena citricolor* (Basidiomycota, Mycenaceae). Este es un hongo que tiene varios hospederos. Incluye el café, varias malezas que crecen en los cafetales, así como árboles frutales y especies forestales. Este hongo predomina en condiciones donde hay alta humedad relativa superior al 80%, temperaturas cercanas a 20 °C, altitudes entre 800 a 1700 msnm y precipitaciones entre 2000 y 5000 mm por año.

En el sur de Guatemala, en la boca costa, la conformación de microclimas proviene de los vientos del océano Pacífico que genera en la región temperaturas entre 14 y 31 °C, humedad relativa de 70 al 80% y precipitación media de 3,000 mm. Este ambiente, es favorable para que *M. citricolor* se desarrolle y cause problemas en el café.

En los cafetos, el daño principal consiste en la defoliación y caída de los frutos. El ataque se observa en plantas de café, en diferente estado de desarrollo y el problema se observa cuando se manifiestan las condiciones ambientales anteriormente indicadas.

Esta investigación fue realizada en la Finca La Soledad, municipio de Acatenango, Chimaltenango. Dicha región presenta condiciones adecuadas para el desarrollo *M. citricolor*. Fue encaminada a presentar opciones de manejo de la enfermedad para los agricultores quienes en su mayoría, no cuentan con prácticas eficientes de manejo integrado de ojo de gallo. Se sabe que prácticas aisladas no tienen incidencia en la reducción de pérdidas. El ensayo consistió en ubicar tratamientos de fungicidas sistémicos y de contacto, uso de agentes biológicos (hongos y bacterias) combinado con prácticas de manejo en parcelas de café de producción comercial del agricultor. También se determinó, el efecto en la calidad de grano y características organolépticas.

## 2 JUSTIFICACIÓN

Acatenango es uno de los municipios de Chimaltenango, donde el 90 % de su economía está basada en el cultivo de café. La mayoría de los agricultores de esta región se dedican a la producción de café de calidad tipo estrictamente duro. Según ANACAFE (2002) constituye la octava región cafetalera del país. Cuenta con 31 beneficios donde hay pequeños, medianos y grandes productores, que en total producen entre 3 a 5 millones de kg de café oro por cosecha. Este contribuye con alrededor de 4 millones de kilogramos de café al año a la oferta exportable del país y genera al menos 15 millones de dólares. Las variedades que predominan en esta zona son bourbon, caturra, catuai, típica y pache común. De éstas, las más susceptibles a *Mycena citricolor* son pache común y catimores. Debido al problema de ojo de gallo, los agricultores están teniendo pérdidas aun no cuantificadas y es necesario investigar para recomendar las prácticas de manejo, que de manera integrada, permitan reducir la enfermedad, evitar daños y continuar con la producción de café. A la vez, disponer a la sociedad de información actualizada sobre este caso.

## 3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El cultivo de café se ve afectado por una serie de fitopatógenos, entre los más importantes en la zona de producción de Acatenango, Chimaltenango, se encuentra *Mycena citricolor* que ocasiona la enfermedad llamada ojo de gallo. Esta enfermedad también está distribuida en las zonas cafetaleras medias y altas de Guatemala, en donde se presentan precipitaciones entre 2000 y 5000 mm, temperaturas alrededor a 20 °C y humedad relativa mayor a 80 %, que son las condiciones favorables para el desarrollo del hongo. Dicho fitopatógeno, causa lesiones en las hojas, defoliación, provoca caída de frutos de forma rápida y severa. Puede atacar plantas en diferente fase de desarrollo y etapa fenológica, siempre que se presente el ambiente propicio anteriormente indicado. Los agricultores, mencionan pérdidas que no han sido cuantificadas. Los factores epidemiológicos de la enfermedad, no han sido bien estudiados en Guatemala. La presente investigación se realizó para proporcionar información para el manejo de dicha enfermedad. El uso de fungicidas y agentes biológicos, servirá para dar recomendaciones de prácticas que puedan adicionarse dentro de un manejo integrado de la enfermedad.

## 4 MARCO CONCEPTUAL

### 4.1 MARCO TEÓRICO

#### 4.1.1 Clasificación taxonómica del café

La planta de café pertenece al reino Plantae, división Magnoliophyta, clase Dicotyledónea, sub-clase Asteridae, orden Rubiales, familia Rubiaceae, género *Coffea* y especie *C. arabica* (ANACAFE, 2006).

#### 4.1.2 Morfología del café

La planta de café tiene un solo eje, en cuyo extremo hay una zona de crecimiento activo que alarga el tallo, formando nudos y entrenudos. Las ramas laterales se alargan y la parte superior del eje vertical continúa creciendo, así se producen nuevas ramas en diversos ángulos y la planta adquiere forma cónica.

El eje central o rama ortotrópica crece verticalmente, sólo produce yemas vegetativas. Las ramas laterales o plagiotrópicas, llamadas “bandolas” son las ramas primarias y dan origen a ramas secundarias o de segundo orden, de las que a su vez pueden salir ramillas terciarias. Las ramas secundarias y terciarias, constituyen lo que se conoce como palmilla de café (ANACAFE, 2006).

La cosecha se concentra en el crecimiento nuevo de ramas inferiores y ramas nuevas del ápice, las axilas florales sólo producen una vez. Por esta razón la producción anual se incrementa durante los primeros 3 ó 5 años, tendiendo luego a disminuir, lo que hace necesario la práctica de la poda o recepa (ICAFE, 1990).

#### 4.1.3 Características botánicas del café

El género *Coffea*, consta de 25 a 40 especies en Etiopía, África; pertenece a la tribu Coffeoideae de la familia Rubiaceae. Géneros relacionados con ella y de valor económico u ornamental incluyen la Quina, *Ixora*, *Pavetta* y *Gardenia*, siendo la primera la fuente para la obtención de quinina (Sánchez, 1990; Wagner, 2001).

#### 4.1.4 Floración

La floración del café arábigo es marcadamente estacional, acontece después de un periodo de estrés o se efectúa generalmente con la presencia de tiempo húmedo, pero la periodicidad puede ser mucho menos distinta donde las condiciones climáticas son

relativamente estables en todo el año. La cantidad de flores producidas y su tamaño dependen de las relaciones de agua prevaletientes. Las condiciones extremadamente húmedas pueden ocasionar la formación de distintas flores estériles de color verdoso, las llamadas "flores-estrella". Las lluvias en la época de la polinización pueden reducir el cuaje de los frutos en forma considerable. Otras especies de café son mucho menos estacionales en sus períodos de floración y también menos sensibles, a las lluvias que evitan la polinización (Sánchez, 1990).

#### 4.1.5 Especies y variedades

En Guatemala se cultivan básicamente variedades de la especie *Coffea arabica*, que es la más difundida en el mundo con un aporte del 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 en Guatemala están las siguientes:

- a. **Typica:** tiene la importancia histórica de ser base del desarrollo de la caficultura en Guatemala y en América tropical. En el campo se le conoce como Arábigo o café Arábigo. Es un arbusto de porte alto 3.5 – 4 m de alto, ramas laterales abundantes dispuestas en un ángulo de 50-70 grados dándoles forma ligeramente inclinada. Los brotes son de color bronceado. Typica es de baja producción y tiene un acentuado comportamiento bianual en su producción (ANACAFE, 2002).
- b. **Robusta:** arbusto grande y vigoroso rebasando los 4 m de altura. Ramas laterales largas y entrenudos largos. Fruto pequeño casi esférico agrupándose en nudos apretados de 15-25 frutos, la pulpa es bastante delgada. Se adapta en altitudes entre 500-1000 msnm (ANACAFE, 2002).
- c. **Bourbón:** comparado con Typica, presenta ligera forma cónica, ramas con ángulo más cerrado y mayor número de axilas florales. Los brotes son de color verde. Es una variedad precoz en su maduración con riesgos de caída de frutos en zonas donde la cosecha coincide con la época de lluvia. Tiene producciones de 20%-30% superior a

Typica. Bourbon es cultivado a altitudes que van de 1100-2000 msnm (ANACAFE, 2002).

- d. **Caturra:** es una planta de porte bajo, eje principal grueso poco ramificado, ramas secundarias abundantes y entrenudos cortos, tiene forma ligeramente angular con buen vigor vegetativo. Se cultiva en la Costa Sur en altitudes de 500–1100 msnm con precipitación de 2500-3500 mm; y en la región central de 1000-1700 msnm; en las Verapaces de 1000-1100 msnm (ANACAFE, 2002).
- e. **Catuaí:** resultado del cruzamiento entre Mundo Novo y Caturra en Brasil. Es variedad de porte bajo, las ramas forman un ángulo de porte cerrado y entrenudos cortos. El fruto no se desprende fácilmente de la rama, lo cual es muy importante para las zonas donde la maduración coincide con la época de lluvia. Se adapta bien en altitudes que van de 700– 1400 msnm en la Boca Costa, de 1100-1700 msnm en la zona central oriental y norte del país (ANACAFE, 2002).
- f. **Mundo Novo:** cafeto de porte alto, con gran vigor vegetativo y mucha producción. Su maduración es un poco tardía comparada con el Bourbon. Se adapta bien a las regiones del Centro y Oriente del país en altitudes de 1,100-1,700 msnm y precipitaciones de 1200-1800 mm anuales (ANACAFE, 2002).
- g. **Maragogype:** es una mutación de Typica descubierta en Brasil. Variedad de porte alto hojas lanceoladas generalmente dobladas hacia abajo. Frutos y semillas de gran tamaño lo caracterizan. Producción baja. Se adapta en altitudes que van de 700-1000 msnm en Cobán (ANACAFE, 2002).
- h. **Pache colis:** es originaria de Mataquesuintla, Jalapa (Guatemala), y fue encontrada dentro de plantaciones de Caturra y Pache Común. Posee frutos rojos y de tamaño grande, hojas elípticas onduladas de consistencia áspera. Presenta cierta tolerancia a *Phoma*. Planta de porte bajo con entrenudos cortos, altura de 0.80 – 1.25 m. Se adapta en altitud de 1000-2000 msnm con temperaturas frescas oscilantes entre 20-21°C (ANACAFE, 2002).
- i. **Otras Variedades:** Pacamara, Catimor.

#### **4.1.6 Clima y suelo**

El café se cultiva en lugares con precipitación que varía desde los 750 mm anuales (7.500 m<sup>3</sup>/ha) hasta 3000 mm (30000 m<sup>3</sup>/ha), si bien el mejor café se produce en aquellas áreas que se encuentran en altitudes de 1200 a 1700 m, donde la precipitación pluvial anual es de 2000 a 3000 mm y la temperatura media anual 16 °C a 22 °C (ANACAFE, 2002).

El café prospera en suelo profundo, bien drenado, que no sea ni demasiado ligero ni demasiado pesado. Los limos volcánicos son ideales. La reacción del suelo debe ser más bien ácida. Una variación del pH de 4.2 - 5.1 se considera lo mejor para el café arábigo (ANACAFE, 2002).

Además, la respuesta fotosintética y síntesis bioquímica de la planta se ve muy influida por el período climático del año. Así los diferentes niveles de clorofilas, carotenóides, etc., se ven modificados en función de las temperaturas, de la intensidad luminosa (ANACAFE, 2002).

#### **4.1.7 Manejo del cultivo**

##### **4.1.7.1 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 existen algunos datos sobre el adecuado almacenamiento de las mismas para impedir su deterioro. Así para *C. arabica* el almacenamiento bajo aire seco se hace a temperaturas de 10 °C con un contenido de humedad del 10-11%.

El vivero de una plantación típica, está situado en el mejor terreno disponible. Si es posible se utiliza sustrato libre de patógenos para minimizar las enfermedades. Cada almácigo se prepara para ser el sostén del vivero limpiándolo de piedras, nivelándolo, etc. Además se sitúa bajo sombra ligera, de hojas de palma o tira de bambú. Dentro del almácigo 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 lo mismo que por su capacidad de alto rendimiento, resistencia a las enfermedades y demás criterios. Cuando las plantas alcanzan altura de 15 a 20 cm, o sea aproximadamente de seis a ocho meses después de la siembra, las plántulas están listas para su trasplante (ANACAFE, 2002).

#### **4.1.7.2 Sombra**

En general, el café necesita menos sombra cuando el suelo es mejor y cuando la humedad del aire es más alta. El efecto de la sombra es indirecto, pero está de acuerdo con el comportamiento ecológico de las plantas de café. En una buena finca cafetalera la primera poda o sea la poda principal, se puede dar al principio de la temporada húmeda, con ligeras podas posteriores de acuerdo con la intensidad de la lluvia y tomando en consideración los nublados imperantes. En Guatemala se utiliza y recomienda sistema de cultivo de café bajo sombra. Las ventajas del mismo son múltiples, y van desde las necesidades eco-fisiológicas de la planta, generación de energía, hasta la de cumplir con requerimientos del mercado en temas ambientales, como protección de suelos y recursos hídricos, conservación de flora y fauna (ANACAFE, 2002).

#### **4.1.7.3 Funciones de la sombra**

- a. Protege la plantación de la acción directa de los rayos del sol, lo que disminuye la pérdida de agua del suelo y de la planta de café.
- b. Regula la temperatura de la plantación y del suelo, permite adecuado desarrollo del follaje y raíces, mejora el aprovechamiento de elementos nutricionales.
- c. Reduce la erosión del suelo y disminuye la población de malezas
- d. Incrementa la cantidad de materia orgánica en el suelo, mejorando niveles de fertilidad.
- e. Protege a la plantación de la acción directa de los vientos.
- f. Proporciona las condiciones de temperatura y humedad para evitar el apareamiento de enfermedades.

#### **4.1.7.4 Características deseables de los árboles de sombra**

Buen crecimiento, larga vida, compatibilidad con el cultivo de café, crecimiento rápido, árboles de copa extendida, sistema radicular profundo, resistente a vientos, regeneración rápida, que mantenga el follaje durante todo el año.

#### **4.1.7.5 Tipos de árboles de sombra**

- a. Provisionales: se usa para proteger al café durante el primer año de establecimiento, se siembran sobre la calle a 1 m de distancia. Las plantas usadas son crotalaria, gandul.
- b. Temporal o semi-permanente: plantas de crecimiento rápido, que brindan sombra a la plantación durante los primeros 4 años de establecido. Las plantas utilizadas son higuerillo, Cuernavaca, banano, y baraja. El distanciamiento varía entre 4 x 4 m a 6 x 6 metros.
- c. Sombra definitiva o permanente: plantas que por su hábito de crecimiento y longevidad conviven con los cafetales, proporcionándoles sombra durante todo el ciclo productivo. Las plantas utilizadas son chalun, guaba, cuje, gravilea, y pito. La distancia de siembra varía entre 6x8 m a 12 x 12 m (ANACAFE, 2002).

#### **4.1.7.6 Épocas de manejo de sombra**

- a. Primera época: en enero a marzo se estandariza la altura de árboles de sombra mediante el corte de fuste a 4-5 m de altura, además se realiza el deshije y aclareo de árboles con el propósito de mejorar la penetración de luz en áreas muy densas.
- b. Segunda época: al inicio de las lluvias (mayo-junio), se realiza la poda de mantenimiento o regulación con el propósito de obtener buena penetración y distribución de la luz dentro del cafetal (ANACAFE, 2002).

#### **4.1.7.7 Densidades de sombra**

- a. Mayor densidad: una plantación necesita mayor densidad de sombra (30-40%) y menor cantidad de luz (70-60%), cuando se cultivan bajo condiciones de alta temperatura, baja humedad relativa y mayor exposición a la luz solar.
- b. Menor densidad: la plantación necesitará menor densidad de sombra (25-30%) y mayor cantidad de luz (75-70%) si es cultivada bajo condiciones de baja temperatura, alta humedad relativa menor exposición a la luz solar y alta humedad natural del suelo (ANACAFE, 2002).

#### 4.1.7.8 Especies de árboles de sombra utilizados en Guatemala

Dentro de las especies botánicas utilizadas en Guatemala se menciona: Gravilea (*Grevillea robusta*), Cushin, fresno español (*Inga laurina*), Chalun (*Inga xalapensis*), (*Inga spuria*), (*Inga berteroana*), Cuje (*Inga fissicalyx*), Guaba (*Inga vera*), Caspirol, Palal (*Inga tetraphylla*), (*Mimosa fagifolia*), Bitze (*Inga punctata*), Pito (*Erythrina* spp.), Madrecacao (*Gliricidia sepium*), Repeto de río (*Inga edulis*), Nacapirol (*Inga prensi*) y otras plantas nativas de cada región en menor escala.

#### 4.1.8 Manejo del suelo

El problema más difícil en el cultivo del café, especialmente en las regiones tropicales de las tierras altas, es la conservación del suelo. El mantenimiento de las reservas adecuadas de humedad del suelo, es importante para el café. En tanto que es benéfico, desde el punto de vista de la floración y la cosecha, que las capas superficiales del suelo se sequen hasta cierto grado antes de la presencia de la temporada lluviosa, al mismo tiempo las raíces más profundas, buscadoras de humedad, que algunas veces penetran a profundidades de 1 a 2 m, deben abastecerse con una cantidad de agua (ANACAFE, 2006).

#### 4.1.9 Fertilización

Está demostrado que los fertilizantes son absolutamente necesarios en el cultivo de café al sol en los suelos de todo el mundo pero especialmente en aquellos de fertilidad media – baja. Existe en el comercio, fertilizantes líquidos o foliares que, aplicados por aspersión a las hojas de las plantas, le suministran los nutrientes complementarios, igual como lo hacen los fertilizantes sólidos aplicados al suelo.

La fertilización foliar tiene innegables ventajas sobre la aplicación de fertilizante al suelo. La principal ventaja es que el fertilizante aplicado a las hojas es absorbido en una elevada proporción, no inferior al 90%. Por el contrario los fertilizantes aplicados al suelo se pierden en un 50% o más, por diferentes motivos. Otras ventajas de la fertilización foliar es que se pueden aplicar fungicidas en la misma solución. Al mismo tiempo se nutre controlando las enfermedades.

Otra ventaja de la fertilización foliar es la aplicación de micro nutrientes o elementos menores cuando se comprueba que hay deficiencia de ellos. Así se recomiendan dos

aspersiones de bórax al 1 por ciento, al año, cuando se presentan deficiencias de boro, o aplicación de 20 gramos de bórax al suelo, por cafeto.

Como desventajas de la fertilización foliar se apunta mayor número de tratamientos o fertilizaciones para asegurar un suministro suficiente de nutrientes a la planta. Finalmente, según estudios de costos y a pesar de las ventajas antes citadas, parece que el empleo de fertilización foliar en cafetales en producción no es recomendable pues comparando la efectividad entre la aplicación al suelo y la aspersión foliar, con el alto costo de los fertilizantes foliares, es una práctica antieconómica en aquellos lugares donde los precios de dichos productos sean elevados.

Ocasionalmente, se pueden presentar deficiencias en boro, calcio, magnesio, nitrógeno, fósforo, potasio y cinc. Sirva como ejemplo el caso del calcio cuya deficiencia tiene importancia sobre la eficiencia fotoquímica, importante en la estabilización de la clorofila (ANACAFE, 2006).

#### **4.1.10 Poda del café**

Existen dos aspectos principales que hay que tomar en consideración en cuanto a la poda del café: primero, la formación de los árboles jóvenes para construir una estructura vigorosa y bien balanceada con buenas ramas de fructificación. Segundo, el rejuvenecimiento periódico de las ramas de fructificación, a medida que envejecen y dejan de producir. La formación se empieza poco después de que las plantas obtenidas de semilla o las clonales, se trasplantan en el campo.

#### **4.1.11 Cosecha del café**

La temporada en la cual las bayas de café maduran y están listas para la cosecha varía de acuerdo con las condiciones del clima y el suelo, las prácticas de cultivo y por supuesto, la especie y la localidad. Donde existe un solo período seco más o menos bien definido, el café puede madurar como una sola cosecha; si la temporada de lluvias está bastante bien distribuida, pueden madurar de dos a tres cosechas con intervalos durante el año. La temporada puede extenderse de desde unas semanas a varios meses, aun dentro de un medio ambiente ideal para el cultivo del café.

La calidad comercial de los granos de café resulta profundamente influida por la forma en que se cosechan y benefician los frutos. Mientras más maduros sean los frutos cuando se recolectan, más elevado será el grado del grano. En forma ideal, los frutos de café se deban cosechar cuando están de color rojo oscuro, sin vestigio alguno de restos verdes. Donde hay disponible suficiente mano de obra y se desea café de calidad selecta, los árboles se recolectan varias veces, recogándose solo las bayas plenamente maduras. El café arábigo y en cierto grado el robusta, tienen la desventaja de tirar su fruta después de que ha madurado más allá de cierto punto.

#### **4.1.12 Enfermedad ojo de gallo ocasionada por *Mycena citricolor***

Esta es una de las enfermedades de mayor importancia para la caficultura guatemalteca, especialmente en plantaciones en las áreas altas y húmedas en Guatemala y en otros países en Centro América (Orozco *et al* 2010, Zúñiga 2002).

La enfermedad se caracteriza por la formación de manchas circulares u ovaladas de 5 a 15 mm de diámetro en las hojas, de color oscuro cuando las lesiones son jóvenes y de color pardo claro cuando son viejas. El daño principal se presenta cuando ocurre defoliación y caída de frutos de forma rápida y severa, originada por la interrupción del flujo normal de auxinas desde la lámina foliar hacia el peciolo (Barquero, 2004). El comportamiento de la enfermedad señala que el inicio del período lluvioso ocasiona un crecimiento de la enfermedad y una caída leve de hojas. Luego, a mitad de año el avance de la enfermedad se reduce un poco; mientras que la mayor precipitación en septiembre y octubre provoca que la enfermedad retome su crecimiento, causando en estos meses la caída de hojas en forma severa (ICAFE, s.f., Orozco *et al.*, 2010).

#### **4.1.13 Taxonomía de *Mycena citricolor***

De acuerdo a Hawksworth, Kirk, Sutton y Pegler (2008) el hongo se clasifica así: Dominio Eukaryota, Reino Fungi, Phylum Basidiomycota, Clase Basidiomycetes, Subclase Agaricomycetidae, Orden Agaricales, Familia Mycenaceae, Género *Mycena*, Especie *M. citricolor*.

El hongo se caracteriza por producir dos tipos de estructuras de reproducción: las gemas y los basidiocarpos. Las gemas son estructuras pequeñas y amarillas en forma de alfiler y constan de dos partes, un pedicelo (tallo largado) y una gema (ápice ensanchado),

son estructuras de la reproducción asexual y corresponden al estado anamórfico del hongo; se puede apreciar tanto por el haz como por el envés de las hojas en lesiones jóvenes y viejas (Bonilla, 1980). Los basidiocarpos son los cuerpos fructíferos de la reproducción sexual y corresponden al teleomorfo; se pueden apreciar en el campo principalmente en las lesiones de hojas caídas cuando existen condiciones de alta humedad, sin embargo si las condiciones de alta humedad y nubosidad permanecen por un tiempo prolongado estas estructuras pueden ser vistas tanto en frutos como en hojas aún en la planta (Barquero, 2004). Sin embargo Orozco *et al.* (2010), menciona que la fase teleomórfica no es importante en Guatemala y raras veces se observa en el campo.

Los cuerpos fructíferos del hongo pueden ser reproducidos además en condiciones artificiales, tanto en cámara húmeda como en medios artificiales, creando de este modo posibilidades para el estudio de aspectos como agresividad, variabilidad genética y sensibilidad a moléculas químicas entre otros (Barquero, 2004; Orozco *et al.*, 2010).

El mecanismo de infección de *M. citricolor* no está claro totalmente, sin embargo en investigaciones realizadas por Rao y Tewari (1987) se cita que el proceso inicia cuando la gema libera ácido oxálico hacia la lámina foliar, el cual favorece el ingreso del patógeno a través del debilitamiento de las paredes celulares. El ácido oxálico modifica el pH del tejido afectado, induce la producción de enzimas que degradan las paredes celulares; además el ácido oxálico es un quelator de cationes bivalentes como el  $\text{Ca}^{2+}$ , lo que causa acumulación de cristales de oxalato de calcio en el tejido necrosado, debido al secuestro del calcio estructural de las paredes celulares, ocasiona por consiguiente debilitamiento de las mismas. El ácido oxálico disturba la función de la célula durante la infección, induciendo la abertura estomacal a través de la acumulación de moléculas osmóticamente activas e inhibiendo el cierre de estomas inducido por el ácido abscísico y suprime directamente la explosión oxidativa asociada a la detección del patógeno por la planta (Barquero, 2004).

Una vez establecido el hongo dentro de la planta, posiblemente éste utiliza el metabolismo de la misma para alimentarse de ella, degradando la energía metabólica contenida en carbohidratos de reserva (Barquero, 2004).

Según estudios realizados en Costa Rica en café con la variedad Caturra se ha determinado que el período de incubación y colonización del patógeno es de dos días, desde

la llegada de la gema a la lámina foliar hasta el desarrollo visual de la lesión (Bonilla, 1980). Posteriormente entre ocho y once días son necesarios para la formación de nuevas gemas. Es decir, desde que inicia la infección de una gema hasta que ésta produce nuevas estructuras de disseminación el desarrollo de la enfermedad tarda de 10 a 14 días bajo condiciones de alta humedad relativa en el ambiente y bajas temperaturas (Barquero, 2004).

Las gemas se desarrollan cuando el patógeno alcanza el estado de madurez y éstas se desprenden del pedicelo con facilidad, especialmente con el impacto del golpeteo causado por las lluvias, dispersándolas horizontalmente y haciéndolas llegar al haz de las hojas. Las gemas se forman únicamente durante la época lluviosa sobre la superficie de las lesiones e incluso del grano y tallos (Quesada, 1996; Vargas, 1994).

#### **4.1.14 Ciclo de vida de *Mycena citricolor***

El ciclo de *M. citricolor* el cual está muy influenciado por la humedad del ambiente (figura 1). La distribución de lluvias diarias, la presencia constante de nubosidad que disminuye la radiación solar y los rayos ultravioleta (UV) durante el día, junto con bancos de niebla durante la mañana y/o la tarde favorecen el desarrollo de la enfermedad. Estas condiciones propician una película de agua tanto sobre las hojas como sobre las lesiones causadas por el patógeno, induciendo la formación de gemas, responsables de mantener o aumentar la presencia de la enfermedad en los cafetales. Estas mismas condiciones ambientales favorecen además la sobrevivencia de las estructuras de reproducción al evitar la desecación de la gema antes de iniciar un proceso de infección nuevo, propiciando el avance acelerado de la enfermedad (Barquero, 2004; García, 2009).

Generalmente a mitad del invierno no se observa desarrollo del hongo y crece de una manera que no es fácilmente perceptible. Con las primeras lluvias el inóculo inicial se estimula y luego de un tiempo inicia una etapa de producción y liberación de gemas, las cuales son responsables del desarrollo de nuevas lesiones, este incremento dependiendo de las condiciones imperantes puede ser de 100%. En la segunda etapa, luego de la canícula, se suma el inóculo residual inicial todas las lesiones nuevas desarrolladas entre mayo y julio, creando condiciones para un avance en la enfermedad de la enfermedad más agresiva y evidente (Barquero, 2004; Avelino, 1990; Orozco & Calderón, G. 2010).

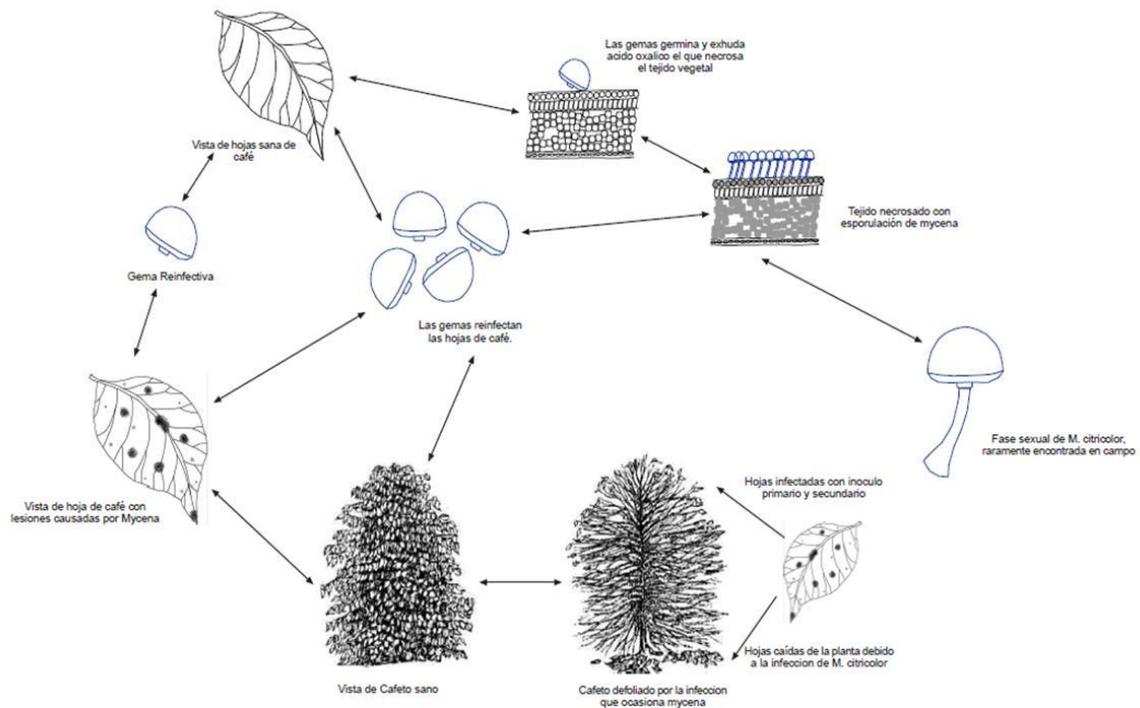


Figura 1: Ciclo de *Mycena citricolor*, según Orozco & Calderón (2010).

#### 4.1.15 Manejo de la enfermedad ojo de gallo

##### 4.1.15.1 Control cultural

Para el control de ojo de gallo se debe procurar una buena nutrición y ventilación que reduzca la humedad y evitar mojado foliar en las hojas en la plantación. Medidas como la poda de plantas muy atacadas y agotadas o poda por hilera, la deshija adecuada, combate de malezas oportuno que crecen dentro y próximas al cafetal que son hospederos del hongo y el arreglo de sombra son estrategias que favorecen una mayor ventilación en la plantación y que disminuyen la humedad excesiva en los cafetales y la enfermedad (ICAFFE, s.f.; Figueroa, 2008).

En zonas donde las condiciones son muy favorables para el hongo, como laderas poco iluminadas y próximas a riachuelos o tomas de agua, es necesario trabajar con distancias de siembra más amplias, con el fin de favorecer una mejor ventilación y luminosidad en la plantación (Barquero, 2004).

#### 4.1.15.2 Control biológico

El control biológico se presenta como otra opción para disminuir el daño de la enfermedad. En Costa Rica se han realizado algunos estudios sobre el uso de *Trichoderma* spp., demostrando la inhibición en la formación de gemas y donde el hongo utiliza como sustrato las gemas ya formadas (Arroyo, 1975; Paez, 1976; Vargas, 1994; Páez, 1976). Se observa una acción positiva de los aislamientos, donde se evidencia destrucción de hifas, tanto en evaluaciones en plato, como en los extractos obtenidos en suspensiones (Arroyo, 1975).

El modo de acción de *Trichoderma* spp. es que parasita directamente en las gemas o estado asexual de *M. citricolor*, provocando su desintegración, o porque actúa sobre el micelio interno, al establecerse en el tejido necrótico de la lesión, donde permanece por largos períodos, incluso de sequía (Vargas, 1984).

Por otro lado, se han aislado bacterias que fueron capaces de afectar directamente las gemas ya formadas e inhibieron la formación de éstas. Estos resultados fueron llevados al campo y encontraron una eficacia relativamente elevada al mezclar las mismas bacterias con almidón y aceite de linaza como adherentes (Mora, 2008).

De acuerdo a Soares (2000), el uso de *Trichoderma* constituye una alternativa de biocontrol para enfermedades de plantas, y ha sido uno de los más estudiados por sus características de antagonismo principalmente en el suelo. De acuerdo al autor es un hongo natural del suelo y como tal ha sido estudiado en el sentido de aumentar la densidad del inóculo como utilización en prácticas agrícolas o simplemente para introducción masal del suelo (Bettiol, 2000).

*Trichoderma* es un hongo que ha sido investigado en ensayos en laboratorio, en invernadero y en pequeñas parcelas en condiciones de campo. El ambiente en general influye en la respuesta que pueda tener para el control. *T. viride* es favorecido en suelos húmedo pero es inhibido en condiciones de excesiva humedad o pH de 5.4 o arriba. *T. harzianum* es más activo como antagonista en pH de 6.5 o más bajo y temperatura de 22°C de acuerdo con Jonson et al. (1987) citado por Soares (2000), *Trichoderma* spp., tiene poco éxito en el control de enfermedades que son más severas bajo condiciones en el intervalo de temperatura de 17 – 30 °C. *T. harzianum* es más común en regiones cálidas (Bettiol, 1991).

Entre otras ventajas, especies de *Trichoderma* se tornan rápidamente resistentes a fungicidas cuando son expuestos a estos. Líneas resistentes y antagónicas a un patógeno particular pueden ser empleadas juntamente con fungicidas para el control de otras enfermedades (Bettiol, 1991). De modo general el hongo *Trichoderma* ha sido encontrando parasitando a una serie de hongos patogénicos, inclusive aquellos formadores de esclerocios, cuyas estructuras son difíciles de ser parasitadas. Entre tanto, *Trichoderma* spp., también tiene sus propios parásitos y por lo tanto es probable que, en algunos casos, su establecimiento en un ambiente sea suprimido por otros organismos ya adaptados (Bettiol, 1991). De acuerdo a Soares el mecanismo de acción de *Trichoderma* es que existe producción de enzimas líticas o enzimas extracelulares que degradan paredes de células fúngicas que han sido estudiadas del punto de vista de biocontrol (Bettiol, 1991). Según el mismo autor, también existe producción de metabolitos extracelulares con actividad antimicrobiana. Un tercer mecanismo es el hiperparasitismo (interacción de hifas), el hiperparasitismo es un fenómeno del hongo de parasitar a otro hongo. Experiencias en el uso de biocontrol de enfermedades del filoplano, han sido realizados a partir de pelets o polvo mojable de *Trichoderma* spp., el polvo es mezclado con agua y pulverizado. Algunos patógenos para los cuales ha sido usado son *Ceratocystis ulmi*, *Crinipellis perniciososa*, entre otras (Bettiol, 1991).

Las ventajas del uso de *Trichoderma* como microorganismo de biocontrol incluye: rápido crecimiento, pocos requisitos nutricionales, produce esporas y clamidosporas, produce enzimas líticas que digieren las paredes celulares de fitopatógenos, produce antibióticos volátiles y no volátiles, produce un factor que regula el crecimiento de plantas, adquiere resistencia a los fungicidas con facilidad, presenta ciclo parasexual conocido en algunas especies, facilitando los estudios de genética clásica, es fácilmente mutable a través de radiaciones ionizantes y no ionizantes y mutagenes químicos, presenta abundantes conidios uninucleados, lo que facilita la obtención de mutantes estables (Bettiol, 1991).

#### 4.1.15.2.1 *Bacillus subtilis*

*Bacillus subtilis* es una bacteria gram positiva, catalasa positiva, aerobio facultativo comúnmente encontrada en el suelo. *B. subtilis* tiene la habilidad para formar endosporas resistentes que permiten al organismo tolerar condiciones extremas de ambiente. Estudios

realizados en Costa Rica por Katan (1987), demuestran que *B. subtilis* puede ser considerada como una buena alternativa de control para *Ralstonia solanacearum*.

#### 4.1.15.2.2 Caldo de lombricompost

El uso de lombricompost, es una técnica utilizada para la fertilización de bajo costo aprovechando productos de desecho para el abonamiento de la tierra. La técnica consiste en utilizar un residuo orgánico con laboreo y compostaje que es puesto como sustrato y hábitat para la lombriz californiana (*Eisenia fetida*), la cual transforma el sustrato mediante su ingesta y excreta en una extraordinaria fuente fertilizadora. El vermicomposteo como también se le reconoce al proceso de conversión de desechos orgánicos en compost por medio de lombrices, es considerado como una actividad eficiente y económica para dar tratamiento a los residuos orgánicos, el proceso biológico que se lleva a cabo, acelera la transformación y estabilidad de un sustrato mediante la crianza de lombrices de tierra. Con su metabolismo natural transforma las sustancias orgánicas en sustancias fertilizantes y productoras de humus de excepcional valor en términos de sus propiedades para el crecimiento de las plantas.

Según Aycachi, Chafloque & Paz (2007), las propiedades nutricionales del lombricompost varían mucho. Esto se debe a factores como: los tipos de desechos utilizados, las proporciones de cada uno, el estado de descomposición de estos materiales, las condiciones a las cuales se lleve a cabo el proceso de lombricompostaje y el tiempo de almacenamiento del humus. Es importante tener presente que el lombricompost contiene, además de los macronutrientes nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio, pequeñas cantidades de micronutrientes como boro, zinc, hierro, manganeso y cobre. Significa que el lombricompost proporciona una dieta completa a las plantas.

Según los mismos autores el caldo de lombricompost o exudados del lombricompostaje, aplicado al follaje de las plantas interviene en favorecer varios procesos fisiológicos de las plantas como son la brotación, la floración, la madurez y el color de las hojas, las flores y los frutos. Su acción antibiótica incide favorablemente en la resistencia de las plantas al ataque de fitopatógenos, como también, proporciona al vegetal macro y micro nutrientes.

#### 4.1.15.3 Control químico

Cuando las condiciones ambientales son favorables para el ojo de gallo y el manejo no ha sido el mejor, es necesario realizar aplicaciones de fungicidas. Anteriormente, el control químico para *M. citricolor* se realizaba con productos a base de arsénico, sin embargo, después de su prohibición debido a la toxicidad que causaba, se han tenido que buscar otras alternativas químicas para su combate (Avelino, Toledo & Medina, 1993).

Existen en el mercado únicamente fungicidas que ofrecen una función protectora para detener la formación de gemas y la germinación de éstas (Barquero, 2004).

En San José, Costa Rica en combate contra la enfermedad “Ojo de Gallo” se realizaron estudios en los cuales se notó el efecto de epoxiconazole y pyraclostrobin sobre la incidencia de la enfermedad *M. citricolor* al pasar de 35.5 % al inicio, a un 28.2% al final del estudio (Vargas & Mora, 1999).

#### 4.1.15.4 Caldo bordelés

El caldo bordelés está constituido por una mezcla de sulfato de cobre, cal y agua. Se utiliza para combatir enfermedades fúngicas. Su nombre lo debe al francés Bouillie Bordelaise, que lo invento pensando en el tratamiento de las enfermedades de la viña (Boyce, 1994).

#### 4.1.15.5 Caldo viçosa

Es un caldo con acción fungicida que se recomienda aplicar de manera preventiva y además brinda algunos micronutrientes para la planta. Se recomienda para roya del café y diversas enfermedades en hortalizas.

En la preparación de 20 litros de caldo se recomienda: sulfato de cobre 100 g, sulfato de zinc 60 g, sulfato de magnesio 60 g, ácido bórico 30 g y cal hidratada 100 g. Adicionalmente, se puede agregar 80 g de urea en dicha preparación.

##### 4.1.15.5.1 Preparación del caldo viçosa

Se recomienda utilizar dos baldes plásticos con capacidad de 20 l, un colador de algodón y una paleta de madera. En su preparación, disolver las sales en un poco de agua tibia y completar con ocho litros de agua. En otro balde, disolver la cal hidratada en 8 litros de agua. Despejar el agua con las sales sobre el recipiente que contiene la cal, nunca lo

contrario. Si después de mezclar, el caldo presenta un aspecto de leche cortada, es porque la cal está muy vieja y no debe ser usada. La preparación deberá ser realizada en el día de la aplicación. Según Sayago (2001) la aplicación de caldo bordelés y caldo viçosa independientemente reducen la incidencia de *H. vastatrix* y *Cercospora coffeicola* en el cultivo de café. Se menciona que para el control químico de *H. vastatrix* a sido eficiente la aplicación de caldo bordelés, caldo viçosa y caldo sulfocálsico (Huayllas, 2007).

#### **4.1.16 Fitopatometría**

Dentro de las diversas aplicaciones que tiene la fitopatometría de acuerdo a Bergamin & Amorin (1996), Mora (2008), se pueden mencionar las siguientes actividades:

- a) Estudiar una curva de progreso de la enfermedad o epidemias.
- b) Evaluar la resistencia de cultivares a patógenos.
- c) Comparar la eficiencia y el momento de la aplicación de fungicidas en el control de enfermedades de plantas.
- d) Estudiar el efecto de métodos culturales y prácticas de manejo en el control de enfermedades de plantas.
- e) Determinar pérdidas de rendimiento de granos en función de la intensidad de la enfermedad (límite de daño económico).
- f) Auxiliar en la prevención de enfermedades de plantas
- g) Determinar razas del patógeno y potencial de inóculo
- h) Evaluar campos de semilla obedeciendo a patrones preestablecidos.
- i) Evaluación de tratamientos de control biológico de patógenos (Bergamin & Amorin, 1996).

#### **4.1.17 Cuantificación de una epidemia**

Según Amorín (1995); Agrios (2002); Zadoks (1979); Campbell & Madden (1990); Juliatti (1999), la cuantificación de enfermedades en plantas es designada por el término fitopatometría, la cual es una tarea importante y frecuentemente difícil de realizar.

En la estimación de la cantidad de las enfermedades de plantas, pueden ser utilizados métodos directos (donde la estimación de la cantidad de la enfermedad es hecha

directamente a través de los síntomas) o métodos indirectos (donde la cantidad de la enfermedad es estimada por la población del patógeno). En general los métodos más utilizados en la cuantificación de las enfermedades son las escalas descriptivas, escalas diagramáticas, conteo del número y diámetro de lesiones, relación incidencia-severidad y sensoriamiento remoto (Bergamin & Amorin, 1996).

Antes de querer cuantificar una epidemia es importante definir en qué consiste este concepto. Epidemia se define como cualquier cambio en la estructura y función de una población de plantas inducida por la población de un patógeno, los cuales interactúan en una comunidad e influenciadas por el ambiente (Mora, 2008; Rivera, 1999; Arauz & Uribe, 1999).

La cuantificación de una enfermedad se realiza principalmente a partir de 2 parámetros que son incidencia y severidad.

a) Incidencia: se define como el porcentaje o proporción de plantas u órganos enfermos en una muestra o población, independientemente del grado de severidad. En otras palabras se cuentan individuos enfermos sin considerar la intensidad de los síntomas de la enfermedad evaluada. En la práctica la incidencia se determina por medio del conteo de las unidades enfermas vrs., las sanas en una muestra determinada (Mora, 2008; Arauz & Uribe, 1999).

#### **4.1.18 Características de medición basada en incidencia**

Tiene las ventajas de mayor exactitud, precisión y reproducción (menor error de medición), eficiencia (fácil y rápido), económico. Como desventaja, no adecuado para ciertos tipos de análisis (estimación de pérdidas, análisis de tipo correlativo), puede no ser adecuada para enfermedades no sistémicas (oídios, manchas foliares).

##### **4.1.18.1 Características de medición basada en severidad**

La severidad se define como el porcentaje o proporción del tejido u órgano del hospedante con síntomas de la enfermedad. La severidad resulta de integrar el número y tamaño de lesiones (Mora, 2008, Arauz & Uribe, 1999).

Se menciona como ventajas: flexibilidad para propósitos analíticos, apropiado para enfermedades no sistémicas (cenicillas u oídios, manchas foliares). Como desventajas se cita mayor error de medición (menor exactitud, precisión y reproducibilidad), menor eficiencia (más lento y difícil), puede ser menos económico.

Existen diversos métodos automatizados para medir la intensidad de una enfermedad como sistemas remotos o sistemas visuales. Entre los sistemas visuales más utilizados están: escalas de severidad y diagramas de severidad.

#### **4.1.18.2 Sistemas visuales de medición de severidad**

- a. **Escala de severidad:** se define por una serie de clases, que contienen rangos hasta un máximo de severidad posible para una determinada enfermedad. Una escala debe tener suficientes clases para proporcionar una resolución adecuada para diferenciar grados de severidad (Mora, 2008).
- b. **Diagramas de severidad:** es una representación pictórica de ciertos grados de severidad, los cuales pueden ser establecidos de diferentes formas dando lugar a diagramas de severidad arbitraria o escalas arbitrarias. Dichos grados de severidad pueden corresponder a intervalos o clases de una escala de severidad, por lo que en la práctica la mayoría de los diagramas de severidad van acompañados de escalas, transformándose en escalas diagramáticas, ya sea arbitrarias, aritméticas o logarítmicas (Mora, 2008).

#### **4.1.19 Análisis espacial de una epidemia**

Las epidemias pueden caracterizarse en su comportamiento espacial utilizando índices de agregación, intensidad de agregación, tamaño, localización, y forma de los agregados, velocidad de expansión de los focos de infección, índices de dispersión, entre otras. La representación de estos estudios es mediante mapas bi- o tridimensionales (Mora, 2008).

Un análisis espacial se hace por medio de la disposición espacial de valores de intensidad de enfermedad por unidad de población. Las variables empleadas para dicho análisis incluyen severidad, incidencia, número de unidades enfermas o sanas (Mora, 2008).

##### **4.1.19.1 Índices de dispersión utilizados para análisis espacial de enfermedades**

Los índices de dispersión o agregación, proveen una medida del grado de agregación espacial en una población. Estos índices, son relativamente simples de calcular e interpretar. Dentro de los índices más utilizados se pueden mencionar: índice de dispersión de la varianza, índice del tamaño de conglomerados, índice de Lloyd, índice de Morisita.

#### 4.1.19.2 Índices de dispersión de la varianza

La dispersión de la varianza (VM), es un índice simple de dispersión para estimar y constituye la base conceptual de muchos otros índices.

El índice es calculado utilizando datos de todos los cuadrantes y dividiendo la varianza por la media de la muestra así:

$$VM = \frac{S^2}{X}$$

Donde  $s^2$ , es la varianza de la muestra y "X", es la media de la muestra. VM, es un estimador de  $\frac{\sigma^2}{\mu}$ , y es expresado para un patrón espacial regular cuando es  $<1$ , para un patrón al azar  $=1$  y cuando el valor de VM  $>1$ , es expresado para un patrón espacial agregado o en focos. El valor esperado de 1 para una estructura aleatoria está relacionado con la idea de que la distribución de Poisson ( $\sigma^2 = \mu$ ), la cual, es apropiada para describir los datos de recuento de frecuencia para una estructura aleatoria (Campbell & Madden, 1990).

#### 4.1.19.3 Índice del tamaño de conglomerados

Este índice, es una variación de la dispersión de la varianza (VM), el cual es a veces utilizado como un índice de agregación, éste índice está dado por:

$$ICS = VM - 1$$

En cuál significa que este, puede estar interpretado como el número de organismos individuales, seleccionados al azar. Además de usar VM ó ICS, como un índice del conjunto de organismos, el investigador puede llevar a cabo un evento formal estadístico de agregación. Esto puede estar mostrado como:

$$C = (n - 1)VM$$

La anterior expresión tiene una distribución jí-cuadrada, ( $x^2$ ) con n-1 grados de la libertad bajo la hipótesis nula de la aleatoriedad.

#### 4.1.19.4 Índice de Lloyd

Este índice de dispersión, también puede ser utilizado para indicar la relativa dispersión o agregación de una población de individuos. Éste índice se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$LIP = \frac{\left(\frac{\bar{x} + s^2}{\bar{x} - 1}\right)}{\bar{x}}$$

Donde  $\left(\frac{\bar{x} + s^2}{\bar{x} - 1}\right)$ , es definida como el índice de la media de Lloyd, el número de media por persona individual de otras personas individuales en el mismo cuadrante. La media de Lloyd puede también ser interpretada como el número de otras personas individuales que son contenidas en un cuadrante que contiene a una persona individual elegida al azar.

La teoría original lógica para LIP, es que el índice representa muchas agregaciones de muchos individuos, sobre el promedio una persona individual, el cual se da si la población cuenta con una estructura aleatoria debido a que, debe aumentar con la media. Sin embargo, como se dijo anteriormente, no hay independencia inherente de LIP y la densidad con los datos legítimos.

La razón biológica fundamental para LIP, es que puede ser aplicable a los agentes patógenos de plantas o a plantas afectadas. El índice es por consiguiente usado empíricamente para los propósitos de comparación solamente y los valores de LIP, tienen interpretaciones similares con respecto al modelo espacial como valores de  $\frac{s^2}{\bar{x}}$

Lloyd (1967), presentó un método para determinar los intervalos de confianza para el índice de la irregularidad sobre la base de la suposición de la distribución binaria negativa y describió los datos de recuento, una suposición que no puede estar siempre justificada.

Reed (1983), ha sugerido un sólido procedimiento para la estimación de los cálculos de intervalo de confianza para algunos índices, incluyendo el índice de la irregularidad de Lloyd (Campbell & Madden, 1990).

#### 4.1.19.5 Índice de morisita ( $i_\delta$ )

Este índice de dispersión, fue propuesto por Morisita (1962), es calculado mediante la utilización de la siguiente expresión:

$$I\delta = \frac{n [\sum x(x-1)]}{\sum x (\sum x - 1)}$$

ó

$$I\delta = \frac{n [\sum (x^2) - \sum x]}{(\sum x)^2 - \sum x}$$

Donde “x” representa el recuento de cada muestra (cuadrante). Morisita, obtuvo éste índice para medir la variabilidad en la densidad entre grupos relativamente grandes de personas individuales usando la teoría de la diversidad ecológica.

Cuando matemáticamente Morisita derivó este índice,  $I_\delta$  resultó ser independiente del tamaño del cuadrante a evaluar.

Luego de calcular para los mismos datos, los valores de  $I_\delta$  y LIP, éstos resultaron ser numéricamente similares (Upton y Fingleton, 1985), consultado por Campbell & Madden (1990).

En dónde el índice de Morisita se representa con la siguiente ecuación:

$$I\delta = \frac{nx(LIP)}{nx - 1}$$

#### 4.1.20 Análisis temporal de una epidemia

Cuando la cantidad de la enfermedad presente en una población de plantas es registrada o valorada varias veces, los resultados pueden ser presentados colectivamente como una curva de progreso de enfermedad (Campbell & Madden, 1990; Mora, 2008).

Se hace por medio de la estimación de valores de intensidad de enfermedad por unidad de tiempo. La información espacial se pierde. La representación de la enfermedad se hace a través de gráficas o curvas de intensidad de enfermedad vrs. el tiempo.

Las variables empleadas para este análisis son: producción, severidad, incidencia, número de unidades enfermas o con daño (Mora, 2008).

#### 4.1.20.1 Modelos para analizar progresos de enfermedades

Según Campbell & Madden (1990) los procesos dinámicos, incluyendo el cambio en la cantidad de la intensidad de enfermedad en una población de plantas con el tiempo, son definidos por un cambio en el rango del tiempo. Si  $y$  es la cantidad de la enfermedad medida como la incidencia o severidad de una epidemia puede ser descrita en términos de  $\frac{dy}{dt}$ , el cambio en  $y$  con un cambio infinitesimal en tiempo  $t$ . Los términos  $\frac{dy}{dt}$  representan el rango absoluto de incremento de la enfermedad.

Para una epidemia con una fase de desarrollo decreciente,  $\frac{dy}{dt}$ , también puede representar el rango absoluto de incremento de la enfermedad. La descripción cuantitativa de las epidemias está consumada expresando  $\frac{dy}{dt}$  como una función de  $y$ ,  $t$  u otras variables. Según Campbell & Madden (1990), la descripción y el análisis de curvas de progreso de las enfermedades han sido revisadas y discutidas extensivamente. Actualmente, el análisis del progreso de las enfermedades, consiste en gran parte usando métodos y modelos adaptados de campo para desarrollar los análisis de curvas de crecimiento y la dinámica de las poblaciones.

Los modelos utilizados en fitopatología son:

##### 4.1.20.1.1 Modelo exponencial

Uno de los modelos más simples es llamado el modelo exponencial. Vanderplank (1963); Campbell & Madden (1990) lo refieren como el modelo logarítmico.

El modelo puede ser escrito como:  $\frac{dy}{dt} = r_e y$

En el cuál  $r_e$ , es un parámetro de rango específico para el modelo exponencial con unidades de tiempo  $-1$ . En la ecuación anterior  $r_e$ , es el rango total del cambio en “ $y$ ” en comparación con el nivel de  $r_e = \left(\frac{dy}{dt}\right) \left(\frac{1}{y}\right)$ . Si  $\frac{dy}{dt}$ , por ejemplo, representa nuevas lesiones por día, entonces  $r_e$ , es igual a nuevas lesiones por lesión por día.

En la interpretación biológica, del modelo exponencial, indica que el rango total del aumento de la enfermedad es directamente proporcional a la cantidad de la enfermedad e indirectamente proporcional a la cantidad de inóculo.

#### 4.1.20.1.2 Modelo monomolecular

El modelo monomolecular, también ha sido llamado el modelo exponencial negativo y ha sido utilizado para describir muchos fenómenos incluyendo las reacciones de cultivos para nutrientes (fertilizantes), y el crecimiento general de plantas y animales (Campbell & Madden, 1990).

El modelo puede estar dado como:  $\frac{dy}{dt} = rM(1-y)$

Donde se asume que la tasa máxima de la enfermedad ( $y_{max}$ ) es 1 igual a 100% de la enfermedad. El término  $(1 - y)$ , representa la proporción de tejido de planta o plantas que están aparentemente libres de la enfermedad. El rango total del cambio en la enfermedad es proporcional al nivel de tejido aparentemente sano o proporción de plantas aparentemente saludables.

El término aparentemente es utilizado porque no todas las plantas infectadas presentan la sintomatología de la enfermedad de una forma inmediata.

La cantidad que  $\frac{dy}{dt}$  declina con el tiempo de un máximo al principio de la epidemia y tiene la forma de una función de densidad de probabilidad exponencial negativa.

En las propuestas de Vanderplank (1963), citadas por Campbell & Madden (1990), el rango del parámetro de  $rM$ , fue visto como el producto de dos términos, la cantidad de inóculo ( $q$ ) y el rango en que este inóculo causa infecciones ( $w$ ). Como en tal caso,  $w$  representa el número de nuevas lesiones o nuevas plantas enfermas por unidad de inóculo en un tiempo determinado (Campbell & Madden, 1990).

#### 4.1.20.1.3 Modelo logístico

El modelo logístico ha sido el más importante para el análisis temporal de enfermedades, debido a su aplicación generalizada y su adecuada forma de describir muchas epidemias (Campbell & Madden, 1990).

Según Campbell & Madden, (1990) fue propuesto originalmente por Verhulst (1838), para describir el crecimiento de la población humana y fue obtenido por separado por M'Kendrick & Pai (1911) y Pearl & Reed (1920) posteriormente para el uso en estudios de crecimiento de poblaciones.

La ecuación diferencial del modelo logístico esta dado como:  $\frac{dy}{dt} = rLy (1 - y)$

Donde  $rL$ , es un rango de parámetros con unidades de tiempo  $-1$  y "y" máximo igual a 1. El parámetro es conocido como el cambio intrínseco en ecología. Según Campbell & Madden (1990), Vanderplank (1963), lo llamó "el cambio evidente de infección" porque lo que es observado en realidad es el tejido aparentemente afectado o sintomático. De acuerdo a Campbell & Madden (1990), en general no es posible observar la cantidad total de tejido afectado visualmente porque no todos los tejidos infectados habrán pasado a través de un período de incubación. Si el período de incubación es constante, uno puede hacer caso omiso de él calculando  $rL$ . Para la conveniencia, el período de infección evidente es escrito a menudo sin unos subíndices. Si el nivel de enfermedad, y por lo tanto, el inóculo de las infecciones iniciales y secundarias, son considerados los factores principales que determinan la epidemia,  $dy/dt$  aumenta cuando  $y$  aumenta. Esto es lo mismo como el modelo exponencial. Sin embargo, cuando más y más plantas son infectadas, las cantidades más grandes de tejido se tornan más afectadas y hay menos tejido disponible para infectar y el índice total disminuye. Esto es lo mismo también para el modelo monomolecular (Campbell & Madden, 1990). En conclusión, cuando  $rL$ , es constante, el gráfico de  $\frac{dy}{dt}$  versus  $t$ , incrementa inicialmente, llega a un máximo y luego desciende a cero. La tasa máxima total, ocurre cuando  $y = 0.5$  o 50 % de enfermedad. El gráfico de  $\frac{dy}{dt}$  versus  $t$ , es simétrica sobre este punto de la tasa máxima total (Campbell & Madden, 1990).

#### 4.1.20.1.4 Modelo gompertz

Según Campbell & Madden (1990), propuso un modelo de crecimiento de población para animales más de una década antes de que Verhulst (1838) propusiera el modelo logístico. En análisis fitopatológico, comparó el modelo de Gompertz con un rango de modelos de crecimiento para describir curvas de progreso de enfermedades y Berger (1981)

reiteró el acierto del modelo de Gompertz sobre el modelo logístico para describir 113 epidemias de enfermedad de planta en nueve patosistemas.

La ecuación diferencial puede ser escrita como:

$$\frac{dy}{dt} = r_{\infty} y [\ln(1) - \ln(y)]$$

$$\frac{dy}{dt} = r_{\infty} y [-\ln(y)]$$

Como ocurre con el modelo logístico, la gráfica de  $\frac{dy}{dt}$  versus  $t$ , aumenta a un máximo (el punto de inflexión) y luego desciende a 0. La curva para  $\frac{dy}{dt}$  versus  $r$  para el modelo Gompertz, a diferencia del logístico, no es simétrico alrededor del punto de inflexión.

La tasa de cambio, se acerca al punto de inflexión más rápidamente y desciende más despacio que en el modelo logístico. En otras palabras, una porción más grande de la zona bajo la curva está a la derecha del punto de inflexión. Como una interpretación biológica de este fenómeno, Waggoner (1986), consultado por Campbell & Madden, (1990), dijo que el modelo de Gompertz demostraba que en los pequeños intervalos iguales de tiempo los organismos patógenos, pierden las proporciones iguales de poder aumentar.

#### 4.1.20.1.5 Modelo log-logístico

El modelo Log-Logístico, según Campbell & Madden, (1990), fue propuesto por Hill (1913) para la saturación de hemoglobina por oxígeno. La ecuación diferencial puede ser

escrita como: 
$$\frac{dy}{dt} = \frac{r_{LL} y(1-y)}{t}$$

El modelo Log-Logístico, es actualmente una generalización del modelo logístico con  $\frac{dy}{dt}$  directamente proporcional para  $y$  y  $1-y$ , es inversamente proporcional para  $t$ .

La presencia de  $t$  en el denominador, indica que el rango absoluto del aumento de la enfermedad desciende cuando el tiempo aumenta si todos otros términos son arreglados. Cuando  $t = 0$ , el modelo es indeterminado.

El gráfico de  $\frac{dy}{dt}$  versus  $t$ , puede tener formas diferentes dependiendo del valor de  $r_{LL}$ . Si  $r_{LL} \leq 1$ , allí éstos no son puntos de inflexión y disminución con el tiempo. Si  $r_{LL} > 1$ ,  $\frac{dy}{dt}$  incrementa en un máximo y luego declina hacia 0 con un punto de inflexión en  $y = (r_{LL} - 1)/2 r_{LL}$  (7).

#### 4.1.20.1.6 Modelo von bertalanffy-richards

De acuerdo a Campbell & Madden, (1990), Von Bertalanffy (1938, 1957), propuso que el cambio en el peso de animal fuera el proporcional a la diferencia en la tasa de anabolismo y catabolismo. Con las ciertas suposiciones sobre las tasas de estos procesos, desarrolló un modelo de crecimiento con un punto de inflexión en  $y < 1/e$ . Richards (1959, 1969), generalizó el modelo de von Bertalanffy para explicar las muchas formas del crecimiento o las curvas de tasas de crecimientos totales, es decir curvas de  $\frac{dy}{dt}$  versus  $t$ .

El modelo de Richards puede ser escrito como: 
$$\frac{dy}{dt} = \frac{r_{RY} (1 - y^{m-1})}{(m-1)}$$

En el cual  $r_R$ , es el rango del parámetro y  $m$ , es un parámetro de manera que puede extenderse de 0 al infinito. Cuando  $m = 0$ , reduce al modelo monomolecular, en  $m = 2$  el modelo logístico y cuando  $m$  se acerca a 1 en el límite, al Gompertz.

La variación en la tasa de  $\frac{dy}{dt}$  versus  $t$  es atribuible no solamente al cambio en “ $y$ ”,  $1 - y$ , ó  $-\ln(y)$ , como en los modelos fijos, sino que depende de una función de “ $y$ ”.

#### 4.1.20.1.7 Modelo weibull

Fisher y Tippet., CL. & Madden, LV. 1990, citado por Izaguirre (2008), desarrollaron una distribución estadística en 1928 que fue obtenida por separado por Weibull (1939) después. Un examen posterior según Campbell & Madden, (1990), es dado a menudo como la cita principal para este modelo y por consiguiente ha sido puesto el nombre de Weibull.

El modelo ha sido usado exhaustivamente en la prueba de vida y los estudios de supervivencia, pero también ha sido aplicado como un modelo de crecimiento (Bailey, 1980; Yang & Smith, 1978, Campbell & Madden, 1990), citado por Izaguirre (2008), un modelo de respuesta a dosis y como un modelo de progreso de enfermedades (Penny-packer et al., 1980; Thal et al., 1984, consultado por Campbell & Madden, 1990).

El modelo de Weibull puede estar escrito como:  $\frac{dy}{dt} = \left(\frac{c}{b}\right) \left[\frac{(t-a)}{b}\right]^{c-1} - \left[\frac{(t-a)}{b}\right]^c$

En donde a, b y c, son los parámetros. El parámetro de ubicación a, representa la ocurrencia de la enfermedad con unidades de tiempo ó la época del inicio de la enfermedad.

El parámetro b, está inversamente relacionado con el período de aumento de la enfermedad (unidades del tiempo). El parámetro de unidad controla la forma de la curva ( $\frac{dy}{dt}$  versus t) y el punto de inflexión. Un amplio rango de formas similares al modelo de Richards, pueden ser obtenidos con el modelo de Weibull mediante la siguiente expresión:

$$y = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-a}{b}\right)^c\right]$$

La cual puede linealizarse con ayuda de:  $\left[\ln\left(\frac{1}{1-y}\right)\right]^{1/c} = \frac{-a}{b} + \frac{t}{b}$ .

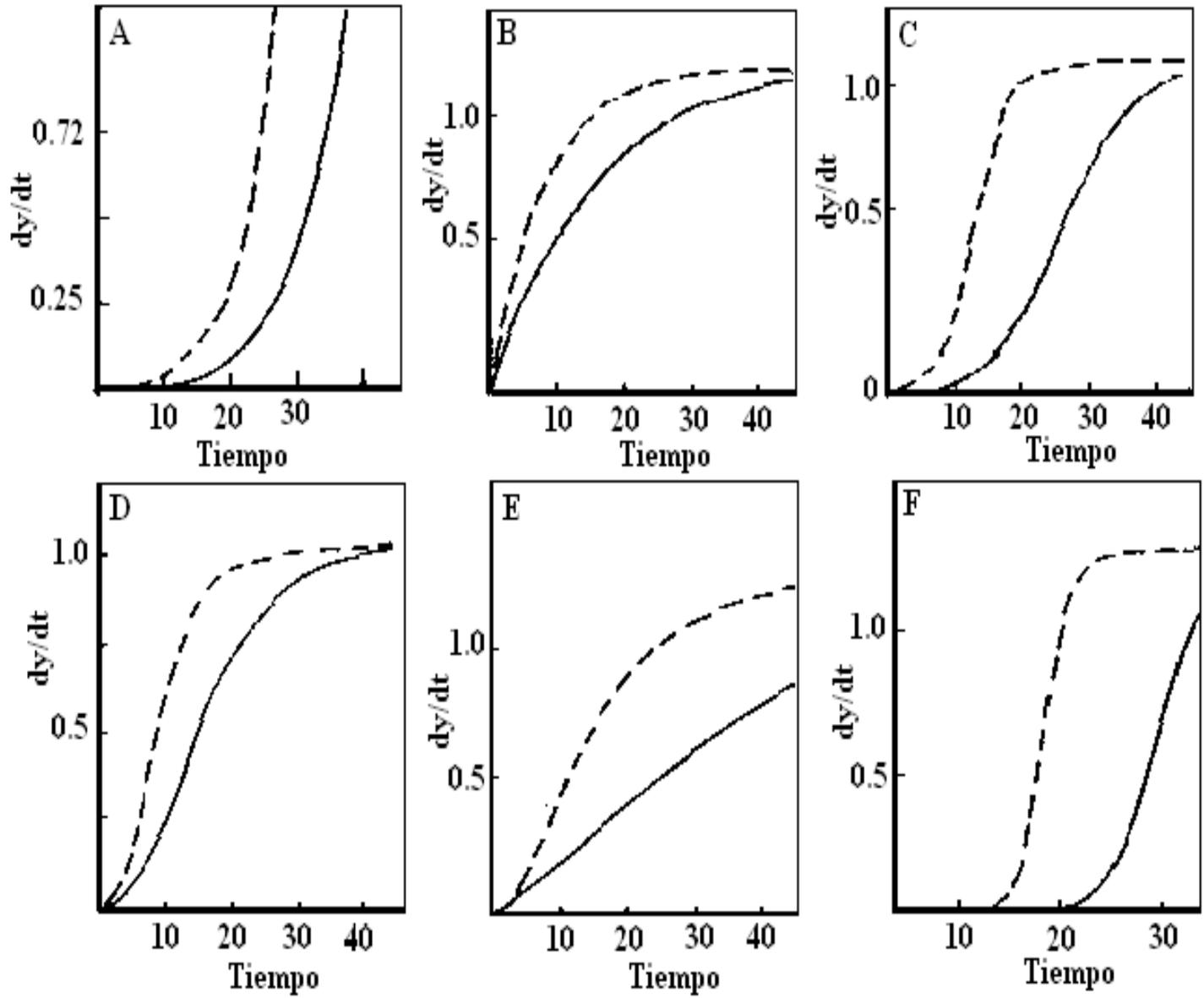


Figura 2. Modelos utilizados para la descripción de curvas de progreso de enfermedades. A) Exponencial, B) Monomolecular, C) logístico, D) Gompertz, E) log-logístico, F) Von Bertalanffy-Richards, según Campbell & Madden (1990).

## **4.2 MARCO REFERENCIAL**

### **4.2.1 Finca La Soledad**

El acceso es por el kilómetro 69 sobre la CA1, se cruza a la izquierda y se recorren 14 km de asfalto en dirección del municipio de Acatenango, se ingresa a una carretera de terracería en dirección de la aldea el Socorro, 10 km y de ahí, otros 22 km hasta llegar al casco de la finca La Soledad.

### **4.2.2 Características**

El suelo es franco arcilloso para toda el área, su altitud es de 1500-1700 msnm. El bosque es húmedo-montano bajo subtropical, bh-MB(s). La elevación varía entre 1400-1800 metros sobre el nivel del mar.

Entre las especies botánicas se encuentran están: Encino (*Quercus* spp.), Ciprés (*Cupressus lusitanica*), Cushin (*Inga* spp.), Gravilea (*Gravilea robusta*), Zapotillo (*Clethra johnstonii*), Estoraca (*Protium sessiflorum*), Jaboncillo (*Myriocarpa obovata*), Chichicaste Blanco (*Breopanax xalapensis*), Mano de León (*Clethra johnstonii*), Higuierillo (*Ricinus comunis*), Sauce (*Salix* spp.), Ilamo (*Alnus jourulensis*), entre otras.

## 5 HIPÓTESIS

La aplicación de fungicidas sistémicos y de contacto, productos biológicos e integración de prácticas culturales serán efectivas en el manejo de la enfermedad ojo de gallo ocasionada por *Mycena citricolor* en café (*Coffea arabica*), bajo condiciones de la finca La Soledad, Acatenango, Chimaltenango.

## 6 OBJETIVOS

### 6.1 OBJETIVO GENERAL

- a. Estudiar el efecto de aplicación de fungicidas y agentes de control biológico como prácticas que pueden adicionarse como parte de manejo integrado de ojo de gallo ocasionada por *M. citricolor* en café (*C. arabica*) en la finca La Soledad, Acatenango, Chimaltenango.

### 6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Cuantificar la enfermedad de ojo de gallo en café (*C. arabica*) según tratamiento utilizado a fin de determinar el análisis temporal y espacial de la enfermedad.
- b. Estudiar los principales factores epidemiológicos que favorecen el desarrollo de ojo de gallo en café (*C. arabica*), para las condiciones de Acatenango, Chimaltenango.
- c. Describir los síntomas asociados a la enfermedad ojo de gallo en las condiciones de Acatenango, Chimaltenango.
- d. Evaluar el uso de fungicidas y agentes de control biológico como parte de medidas de manejo de la enfermedad de ojo de gallo en café en Acatenango, Chimaltenango.

## 7 METODOLOGÍA

### 7.1 Metodología experimental

#### 7.1.1 Variedad de café

En la evaluación, se utilizó la variedad Pache común que es una mutación de Typica encontrada en la finca El Brito, Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa. Es un cafeto de porte bajo con buena ramificación secundaria, de entrenudos cortos y abundante follaje, termina en una copa bastante Plana o "Pache". Esta variedad de café es susceptible a la enfermedad de ojo

de gallo. Se trata de una plantación de café ya establecida en la finca la Soledad, en donde se efectuó una poda de recepa y tiene 13 años de plantado.

### **7.1.2 Fungicidas y productos biológicos evaluados**

- a. Caldo de lombricompost: es un caldo proveniente de cultivo de lombriz coqueta roja desarrollada en pulpa de café en la finca la Soledad, donde se estableció la investigación. Es una actividad que está siendo impulsada en la finca. La dosificación utilizada fue de 1 litro de caldo lombricompost/10 litros de agua.
- b. Pyraclostrobin 13.3 % + epoxiconazole 5% (mezcla de fungicidas sistémicos), en dosificación de 1.5 l/ha.
- c. Caldo Viçosa: en la preparación de 20 litros de caldo se utilizó: sulfato de cobre 100 g, sulfato de zinc 60 g, sulfato de magnesio 60 g, ácido bórico 30 g y cal hidratada 100 g. También, se utilizó 80 g de urea en dicha preparación.
- d. *Trichoderma* spp.: producto proveniente de mezcla de cepas del hongo procedente de la Universidad de el Zamorano, Honduras (365 gramos de esporas / ha).
- e. *Bacillus subtilis*: producto comercial en Guatemala. Se utilizó la dosificación de 2 l/ha.
- f. Tratamiento absoluto: consistió el manejo de la enfermedad utilizado por el agricultor, quien utilizó cyproconazole y aplicaciones de caldo de lombricompost (1/10 l de agua).

#### **7.1.2.1 Evaluación del uso de fungicidas y agentes de control biológico**

#### **7.1.3 Diseño experimental**

Se utilizó el diseño completamente al azar, en donde se evaluaron 5 tratamientos. Las parcelas experimentales por tratamiento consistieron en 8 surcos de 24 plantas de manera secuencial. En este experimento, se contempló la ubicación de 10 repeticiones.

Modelo estadístico:

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

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde:

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

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto del tratamiento i.

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

#### 7.1.4 Unidad experimental

El área total del lote que se estudió fue de 1920 m<sup>2</sup>, dentro del cual se distribuyeron 5 parcelas de 24 m de largo que equivalen a 24 plantas y 16 m de ancho que equivalen a 8 surcos, para un total de 384 m<sup>2</sup> por parcela neta. En la figura 3 se muestra el croquis del experimento evaluado.

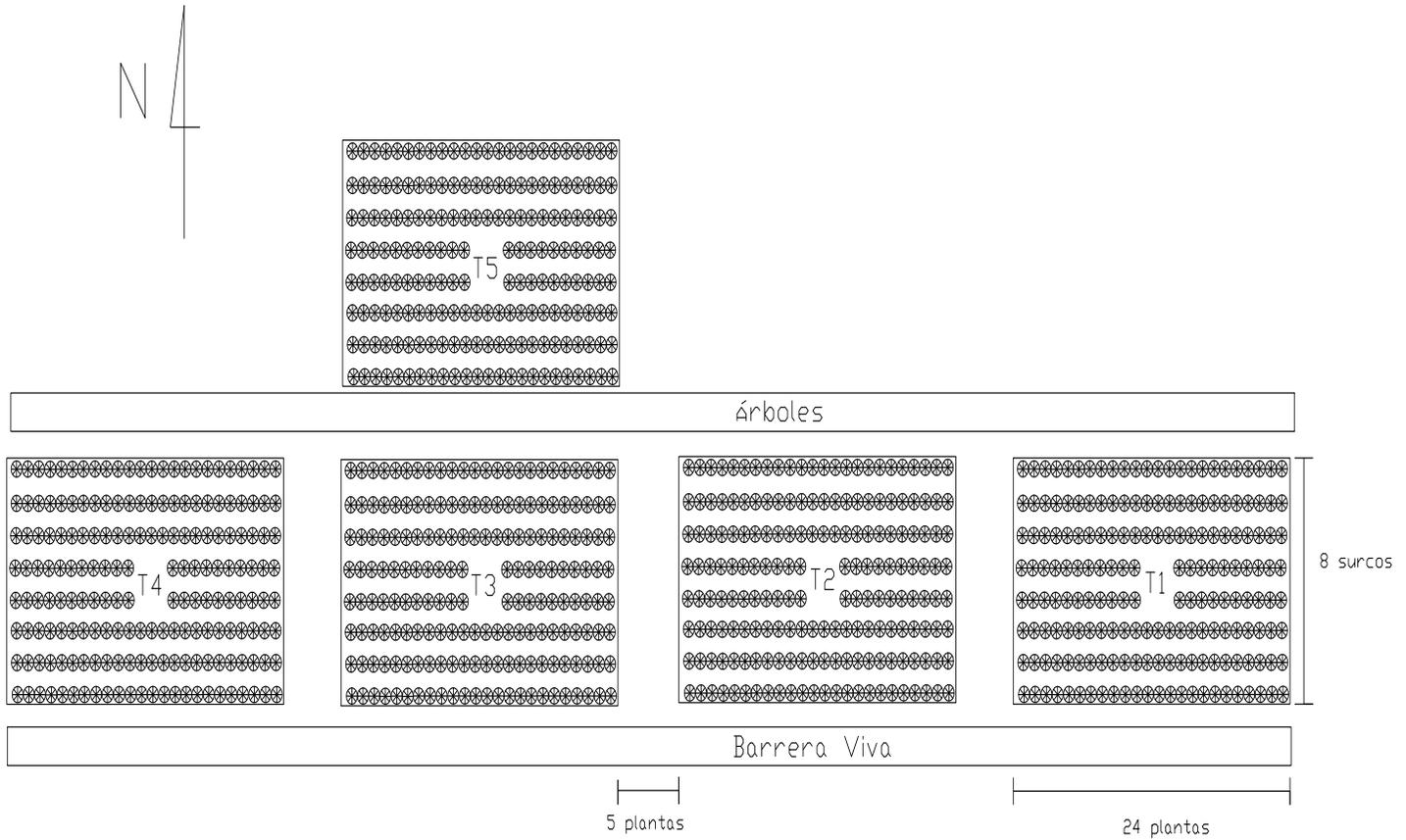


Figura 3. Croquis de la ubicación de parcelas de donde se evaluaron los tratamientos de fungicidas y productos biológicos en finca la Soledad, Acatenango, 2009.

## 7.2 Cuantificación de la enfermedad de ojo de gallo en café (*C. arabica*)

### 7.2.1 Incidencia y severidad de la enfermedad

Para el registro de datos de estas variables, se ubicaron parcelas de 8 surcos continuos y 24 plantas continuas, en donde se cuantificó la enfermedad determinando incidencia y severidad de la enfermedad en las plantas de café durante el periodo que duró la evaluación.

- a. **Incidencia:** se realizaron lecturas de presencia (1) o ausencia de enfermedad (0) por planta, a partir de ello, se determinó la incidencia de la enfermedad en la población indicada.
- b. **Severidad:** se consideró el daño total de la planta, referido a la cantidad de lesiones, defoliación y hojas afectadas por el hongo (figura 4). Cada grado representó un porcentaje de enfermedad en la planta

0	1	2	3	4	5
					
Planta sana	Planta con defoliación entre 0.1 a 20 %	Planta con defoliación entre 21 a 40 %	Planta con defoliación entre 41 a 60 %	Planta con defoliación entre 61 a 80 %	Planta con defoliación entre 81 a 100 %
					
Hoja sana 0 %	Hoja con 0.35% de daño	Hoja con 5.50 % de daño	Hoja con 18.39% de daño	Hoja con 34.45% de daño	Hoja con 43.40% de daño
0	0.01 – 10.30%	10.31 – 21.30 %	22.31 – 32.33%	32.34 – 43.30%	43.31 – 55%

**Figura 4.** Escala descriptiva utilizada en la evaluación de productos químicos y biológicos, para el manejo de *Mycena citricolor*, bajo condiciones de Finca Soledad, Alotenango, Chimaltenango. Figuras superiores indican presencia y defoliación de enfermedad, figuras inferiores indican lesiones del hongo en hojas. La descripción inferior indica el grado de severidad dependiendo de la cantidad de enfermedad presente en plantas de café. Pacheco, A. 2010.

**c. Incidencia por rama:** para determinar la incidencia en las hojas, se ubicaron 10 sitios de muestreo (repeticiones) en cada tratamiento. Cada sitio consistió en una planta de café. En cada cafeto (sitio de muestreo), fueron marcadas dos ramas (“bandolas”) en la parte media y la otra en la parte inferior de la planta de café, identificadas como B1 y B2. En estas, fue cuantificado el total de hojas por rama, la cantidad de hojas con síntomas de ojo de gallo y las hojas sanas en periodos de 20 a 30 días. Esta información fue útil para determinar el análisis temporal de la enfermedad, para cada tratamiento.

### 7.3 Análisis espacial de la enfermedad

Para este objetivo, las parcelas experimentales por tratamiento consistieron en 8 surcos de 24 plantas, ambos de manera secuencial o continua, en donde se determinó la

incidencia de la enfermedad, con ello, se utilizó una matriz de 8X8, que fue utilizada en la construcción de mapas de la enfermedad.

#### **7.4 Estudio de los principales factores epidemiológicos que favorecen el desarrollo de ojo de gallo.**

Para el logro de este objetivo se obtuvo información relacionada al patógeno *M. citricolor*, hospedero (variedad pache común), manejo del cultivo y aspectos climáticos del lugar, entre otros. Fueron analizadas las principales variables para cada uno a fin de determinar las que tuvieron mayor influencia en el desarrollo de la enfermedad.

En el clima fue contemplada la precipitación pluvial (mm) y temperatura ( $^{\circ}$ C). Los datos fueron obtenidos en la finca La Soledad, lugar donde se hizo la evaluación. Se analizó la relación de la precipitación y fue correlacionada con los datos de intensidad de la enfermedad.

En el agroecosistema café, existen varias especies botánicas que son hospederos alternos del hongo. Fueron observadas las malezas, arbustos árboles de sombra y frutales presentes en el sistema de producción, con síntomas de la enfermedad. Material vegetal enfermo, fue trasladado en bolsas plásticas al laboratorio de fitopatología de la FASUAC.

#### **7.5 Descripción de síntomas asociados a la enfermedad ojo de gallo**

Se determinó mediante la cuantificación y medición de lesiones en hojas, descripción de síntomas en brotes nuevos y hojas del año anterior, características de las lesiones, color y formato de lesiones en hoja, tallo y frutos. Defoliación, fructificación del hongo durante el ciclo del cultivo, entre otras.

#### **7.6 Aparecimiento de síntomas de ojo de gallo**

Se realizaron observaciones en periodos críticos de precipitación en hojas nuevas y en las de un año anterior. Se observaron, en las ramas de café seleccionadas para el muestreo de inóculo primario. Se determinó la fecha en que aparecieron los síntomas de ojo de gallo en las hojas nuevas del cafeto.

### **7.7 Número de lesiones**

Para esta variable, se realizó un muestreo al azar de hojas en la plantación de café. La muestra consistió en 100 hojas (destruccion), fueron conducidas al laboratorio de la FAUSAC. En estas, se cuantificó el número de lesiones presentes, con su respectivo dato de presencia o ausencia de gemas (anamorfo) del hongo.

### **7.8 Diámetro de lesión**

A partir de la muestra conformada por las 100 hojas indicadas anteriormente, se realizó medición de diámetro promedio de la lesiones por hoja.

### **7.9 Defoliación**

Para obtención de información de esta variable, se seleccionaron diez plantas dentro de una parcela de 8 surcos y 24 plantas que fueron las mismas utilizadas en cuantificación de la enfermedad. Las lecturas fueron realizadas en dos ramas por planta (10 cafetos por parcela, 20 ramas por tratamiento), las cuales fueron identificadas desde el inicio del ensayo. Se contó el número de hojas en cada lectura (incluye hojas nuevas y viejas). También fueron cuantificadas las hojas sanas (sin ojo de gallo) y enfermas (con ojo de gallo). Por diferencia se obtuvo el número de hojas caídas en cada conteo.

### **7.10 Área foliar enferma**

Se evaluó por el porcentaje de daño causado por la enfermedad ojo de gallo (*M. citricolor*), en la hoja de café. Fue realizado en 25 hojas enfermas por acción del hongo en estudio, estas hojas fueron obtenidas en el campo en las parcelas para cada tratamiento. Este se llevó a cabo con la ayuda del software Photo-Shop.

### **7.11 Número de lesiones por hoja caída y estructuras del hongo**

Para esta variable se contó la cantidad de lesiones causadas por el patógeno por hoja caída y el número de estructuras del hongo presentes en las lesiones. Esta variable permitió observar el número de lesiones por hoja y alguna relación para su defoliación y presencia de esporulación del hongo. Ello, fue realizado en una muestra de 25 hojas y fueron obtenidas debajo de los cafetos en los respectivos tratamientos evaluados.

## 7.12 Prácticas de manejo de ojo de gallo comunes en el experimento

Las labores del cultivo fueron manejadas de acuerdo a lo que se realiza en la finca La Soledad. Las prácticas de manejo del cultivo que inciden en la reducción de la enfermedad para todos los tratamientos incluyeron las actividades siguientes:

### 7.12.1 Podas de sombra

Consistió en la regulación de sombra de árboles y barreras vivas en la plantación de café. Fue realizada en el mes de enero y la segunda en julio de 2009.

### 7.12.2 Aplicación de lombricompost más boro y zinc

Se realizaron tres aplicaciones al en el periodo productivo. Está orientada a corregir deficiencias nutricionales en cafetales.

### 7.12.3 Control de malezas

En la finca se realizaron dos limpiezas manuales con machete.

### 7.12.4 Secuencia de aplicación

La aplicación del producto fue según el grado de severidad que tenía la planta, por lo tanto las aplicaciones no tuvieron una frecuencia sistemática (tabla 1). Para el caso del caldo de lombricompost se realizaron 5 aplicaciones, la primera aplicación fue preventiva (07 de mayo de 2009) la siguientes fueron supresivas la cuales se concentraron en los meses de mayor cantidad de lluvia (junio, julio, agosto y septiembre). De igual manera se realizaron 6 aplicaciones para el tratamiento de *Bacillus* sp. alternado con *Trichoderma harzianum*, 3 aplicaciones con pyraclostrobin + epoxiconazole y 5 aplicaciones de Caldo Viçosa.

**Tabla 1. Total de aplicaciones por tratamiento**

Tratamiento/Fecha	07/05/09	12/05/09	04/06/09	18/06/09	21/07/09	12/08/09	23/09/09	Total aplicaciones
Caldo de lombricompost	x			x	x	x	x	5
<i>Bacillus</i> sp alternado con <i>Trichoderma harzianum</i>	x	x		x	x	x	x	6
Pyraclostrobin + epoxiconazole	x			x		x		3
Caldo Viçosa		x	x		x	x	x	5

## **7.13 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN**

### **7.13.1 Para análisis temporal**

Para el conjunto de datos de enfermedad obtenidos en cada lectura, fue graficado variables relacionadas a enfermedad (incidencia) en el eje “Y” y tiempo en el eje “X” a fin de obtener las curvas de progreso de la enfermedad para cada tratamiento evaluado. Para cada curva obtenida, fue calculada el área bajo la curva de la enfermedad para analizar el efecto de cada tratamiento y efecto de tiempo, patógeno, entre otras variables. El conjunto de datos de incidencia de la enfermedad, fue analizado con ayuda de software de INFOSTAT y EPIMODEL, para obtención de modelos ajustables a los datos con sus respectivos análisis de varianza. Con los valores de enfermedad inicial y enfermedad final, fue calculado “r” que constituye la tasa de incremento de la enfermedad en un periodo de tiempo, correspondiente al modelo seleccionado, para cada tratamiento.

### **7.13.2 Determinación del modelo a que corresponde el conjunto de datos de la intensidad de la enfermedad colectados en el tiempo (lecturas mensuales)**

Fue seleccionado el modelo que mejor describió el fenómeno a partir del mayor coeficiente de determinación “R”, menor cuadrado medio del error y figura de predichos. Por lo tanto los datos obtenidos fueron analizados para los modelos: Exponencial, Monomolecular, Logístico, Gompertz, Log-logístico, Von bertalanffy-richards y Weibull.

### **7.13.3 Análisis de varianza para diseño completamente al azar**

Fue realizado con los datos de incidencia de enfermedad obtenidos en las 10 repeticiones (20 ramas) establecidas en los diferentes tratamientos.

### **7.13.4 Análisis espacial**

Fueron analizados los datos obtenidos a partir de la matriz 8X8. Esta matriz fue obtenida con datos utilizando las plantas de café correspondientes a los 8 surcos y 24 plantas en donde se estudió incidencia de la enfermedad. En el análisis de la información, el conjunto de las 24 plantas, se dividió en sub-parcelas de 3 plantas para conformar 8 sub-parcelas, con ello se completa la matriz de 8X8. A partir de dichos datos, fueron calculados los índices de Lloyd y Morisita para obtener índices de dispersión de la enfermedad. Posteriormente, fueron elaborados mapas de la enfermedad de manera bidimensional en el programa Surfer. Las lecturas se efectuaron a partir del mes de mayo/2009 hasta el momento de cosecha.

## 8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

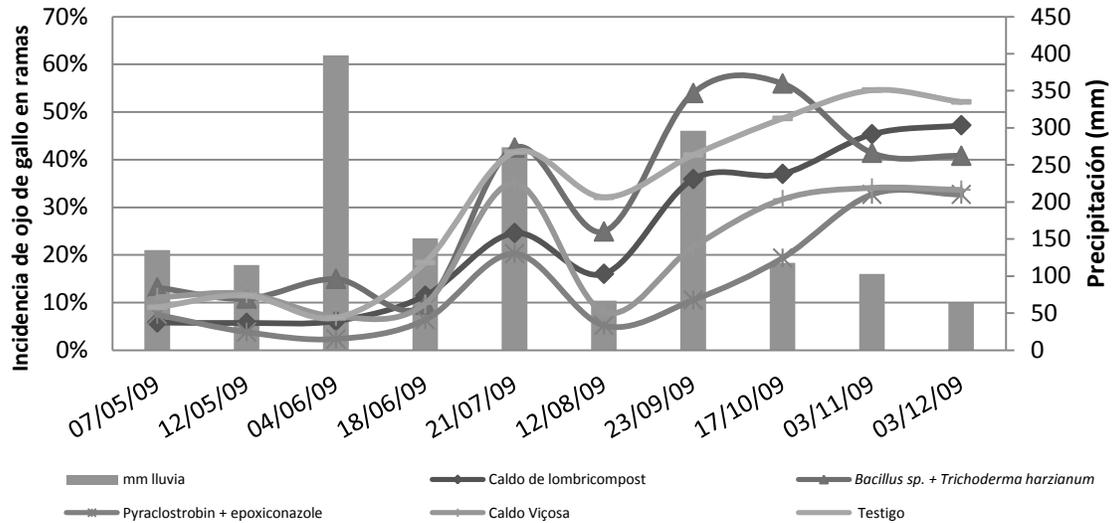
### 8.1 Evaluación del uso de fungicidas y agentes de control biológico como parte de manejo de la enfermedad de ojo de gallo en café en Acatenango, Chimaltenango, Guatemala.

La aplicación de productos fungicidas y biológicos en el manejo de ojo de gallo en café, tuvo diferente efecto de reducción de la enfermedad. Las aplicaciones de productos se iniciaron al inicio de las lluvias, el 7 de mayo del 2009 y se finalizó el 3 de diciembre del mismo. En cuanto a precipitación, del 13 de mayo al 4 de junio del mismo año, se registró lluvia acumulada de 400 mm y fue el dato más alto durante el proceso de evaluación. Esa situación de alta humedad, provocó rápida reproducción de gemas del hongo o estructuras asexuales, a partir del inóculo primario presente en las hojas. Esta situación, incrementó la incidencia y severidad de la enfermedad en el cultivo de café y fue observado en todos los tratamientos evaluados. Según Orozco *et al* (2010) la etapa de sobrevivencia del hongo, durante la época seca, es de noviembre a abril, en la cual sobrevive en las plantas de café que fueron dañadas el año anterior. Cuando las lluvias se intensifican aparecen nuevas lesiones, producto de la esporulación del hongo, intensificándose así, la enfermedad.

De acuerdo a lo observado en ese periodo, del 7 de mayo al 4 de junio fue la fecha en donde se inició la epidemia (Gráfica 1). Al final de la evaluación, plantas de café que fueron tratadas con pyraclostrobin más epoxiconazole, tuvieron menos incidencia de enfermedad (19 % menos, comparado con el testigo). Referido a los tratamientos biológicos, donde fue utilizado el caldo de lombricompost, se observó menos enfermedad (5 %) comparado con el testigo, situación análoga ocurrió con el uso del otro tratamiento biológico y fungicida de contacto (Gráfica 1). Valores totales de incidencia de enfermedad para cada tratamiento, para la fecha 3 de diciembre fueron: tratamiento testigo 52 %, uso de pyraclostrobin más epoxiconazole 33 % (mezcla de fungicidas sistémicos), caldo viçosa con un 34 % (fungicida de contacto), *Bacillus* sp. alternado con *Trichoderma harzianum* 41% y Caldo de lombricompost con 47%.

Atendiendo a estos valores, el tratamiento donde se observó menor daño de la enfermedad en cafetos, fue la aplicación de la mezcla de fungicidas sistémicos, iniciando la primera aplicación antes del inicio de las lluvias. Esto constituye una buena opción para recomendar a los agricultores en el manejo de esta enfermedad, incluyendo los ingredientes

activos. Al respecto, tal como fue demostrado por Vargas & Mora (1999) en investigaciones realizadas en Costa Rica, sobre el efecto que tiene pyraclostrobin más epoxiconazole en la reducción de la severidad de *M. citricolor* en plantas de café.



**Gráfica 1.** Curva del progreso de la enfermedad de ojo de gallo causado por el hongo *Mycena citricolor*, en la evaluación de tratamientos químicos, biológicos y precipitación pluvial en Finca La Soledad Acatenango, Guatemala, 2009. \*Las barras indican la precipitación pluvial y líneas suavizadas corresponden a tratamientos evaluados.

Analizando las curvas de la epidemia de ojo de gallo presentada en la gráfica 1, correspondientes a datos obtenidos en la cuantificación de la enfermedad durante el periodo del 12 de agosto, se observa tendencia negativa. Esto fue debido a que en ese periodo, se presentó el fenómeno conocido en Guatemala como canícula, caracterizado por la disminución de la precipitación pluvial. Así, se desfavorece la producción de gemas o inóculo secundario del hongo en todos los órganos vegetativos enfermos del café.

## 8.2 Descripción de los síntomas asociados a la enfermedad ojo de gallo en las condiciones de Alotenango, Chimaltenango, Guatemala.

El hongo *Mycena citricolor* afecta hojas maduras y jóvenes, brotes nuevos y frutos en todos sus estados de desarrollo. Las hojas afectadas presentan lesiones más o menos circulares que dependen del estado de desarrollo de la hoja. Cuando las hojas son maduras las lesiones tienden a ser circulares de 0.5 cm de diámetro en promedio. Estas en un momento pueden llegarse a unir formando una lesión irregular (figura 5a). Cuando las hojas son jóvenes o brotes nuevos las lesiones son irregulares, no poseen una forma definida y

suelen ser más grandes que las lesiones en hojas maduras (figura 5b), tornándose de un color café oscuro. Esto es debido a la delimitación con las venas según Avelino y Wang (1999).

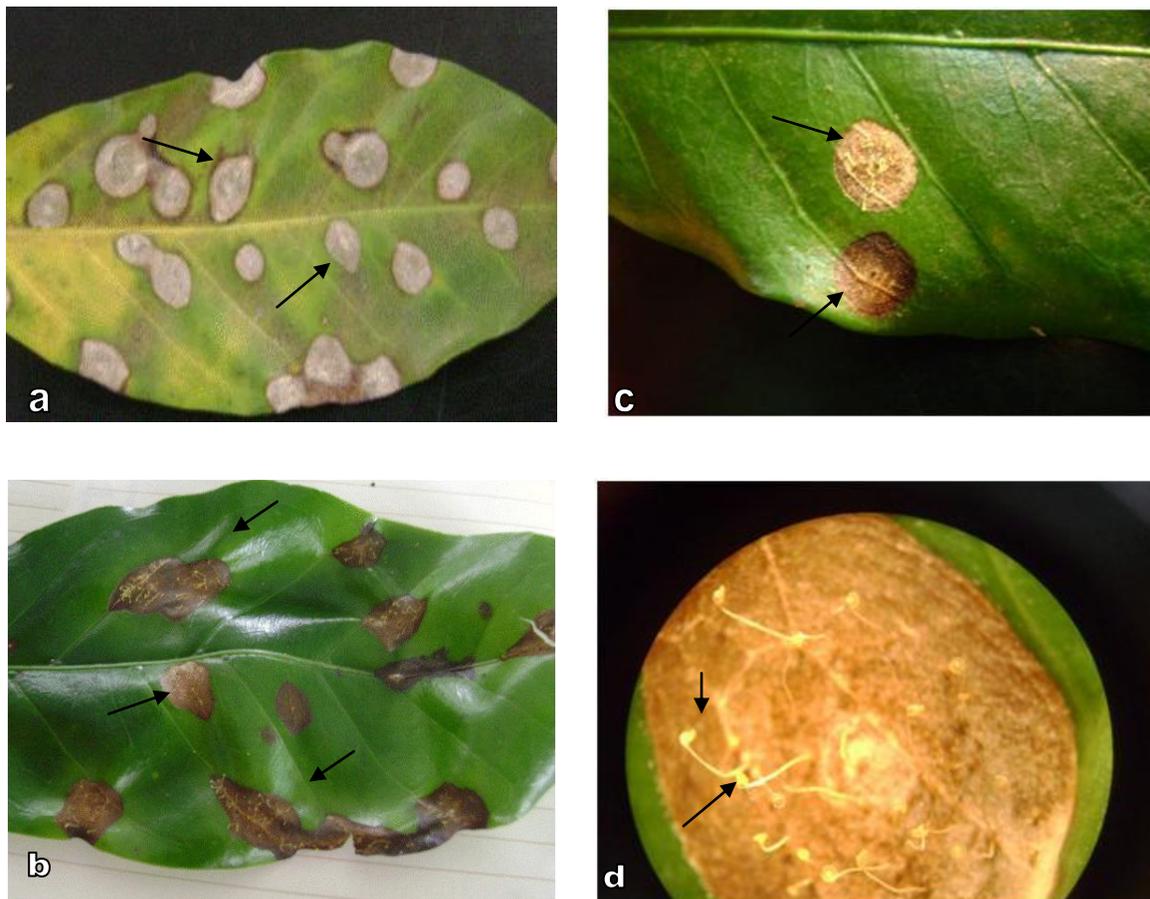


Figura 5: Síntomas en hojas de café de ojo de gallo causada por el hongo *Mycena citricolor* en condiciones de Finca Soledad, Acatenango, Guatemala 2009. Lesiones en hoja madura de color gris blanquecino (a). Lesiones en hoja joven de color café oscuro (b). Lesión primaria color café blanquecino, lesión secundaria color café oscura (c). Gemas de reproducción asexual de ojo de gallo, la lesión blanquecina es una lesión primaria y la lesión oscura es una lesión secundaria (d).

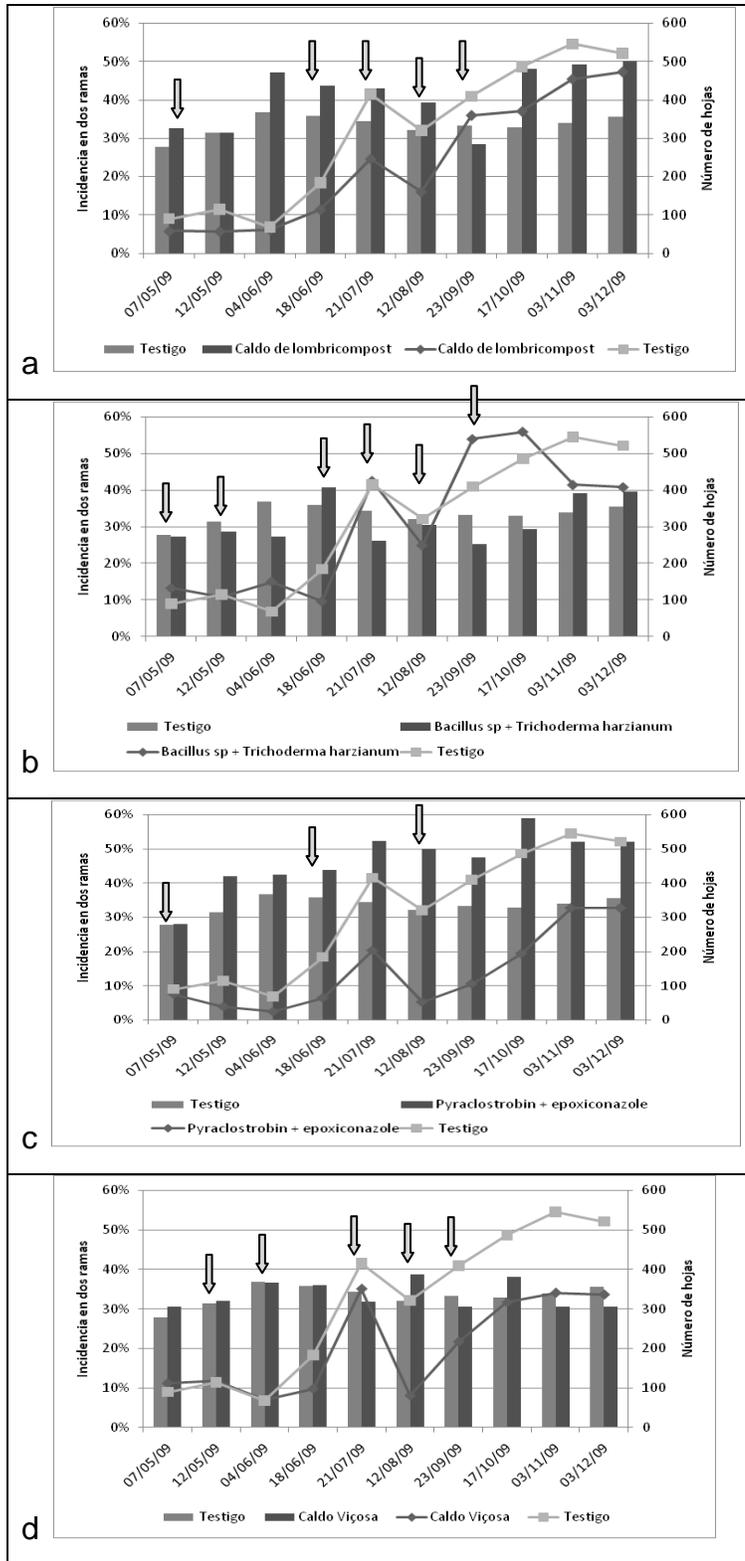
Independiente del estado de la hoja, las manchas al principio son de color café oscuro, cuando han alcanzado su madurez se tornan gris blanquecino (figura 5bc). En este estado avanzado de la enfermedad, los tejidos afectados generalmente caen, en hojas se observan perforaciones, debajo de plantas bastante afectadas, en el suelo se observa abundante acumulación de hojas producto de la defoliación. Síntomas similares son descritas por Orozco *et al*, (2010).

Cuando las condiciones climáticas son húmedas, se producen, sobre la superficie de la lesión, gemas (figura 5d), las cuales son pequeñas estructuras de color amarillo en forma de alfiler, que le permiten al patógeno diseminarse. Consta de dos partes; un pedicelo y una gema la cual se desprende fácilmente cuando está madura. Según Buller (1934) la formación de estas gemas depende de la presencia de la luz, y su máxima producción se da cuando el hongo se expone a longitudes de onda de 310 a 400 nm.

### **8.3 Cuantificación de la enfermedad de ojo de gallo en café *Coffea arabica***

#### **8.3.1 Número de hojas enfermas**

El número de hojas en plantas de café varió de acuerdo al tratamiento aplicado. Cuando la incidencia fue mayor a 40 %, observada en la etapa de mayor intensidad de lluvia, julio a septiembre, el número de hojas se ve afectado por el hongo y se cuantificó pérdida hasta 300 hojas por planta en el tratamiento testigo (Gráfica 2), y fue el tratamiento más afectado. Como consecuencia de esta defoliación, se observó estrés en las plantas y baja fructificación. En la literatura se menciona que la defoliación no depende del número de hojas, sino a la ubicación de las mismas, y una lesión en la vena central, cerca de la base de la hoja, causa epinastia en hojas jóvenes y caída prematura en hojas adultas (Sequeira & Steeves, 1954; Wellman, 1950). Por otro lado, Sequeira y Steeves (1954) encontraron que este fenómeno se debe a la presencia de una enzima oxidativa que impide el flujo normal de auxinas desde la lámina de la hoja al peciolo.

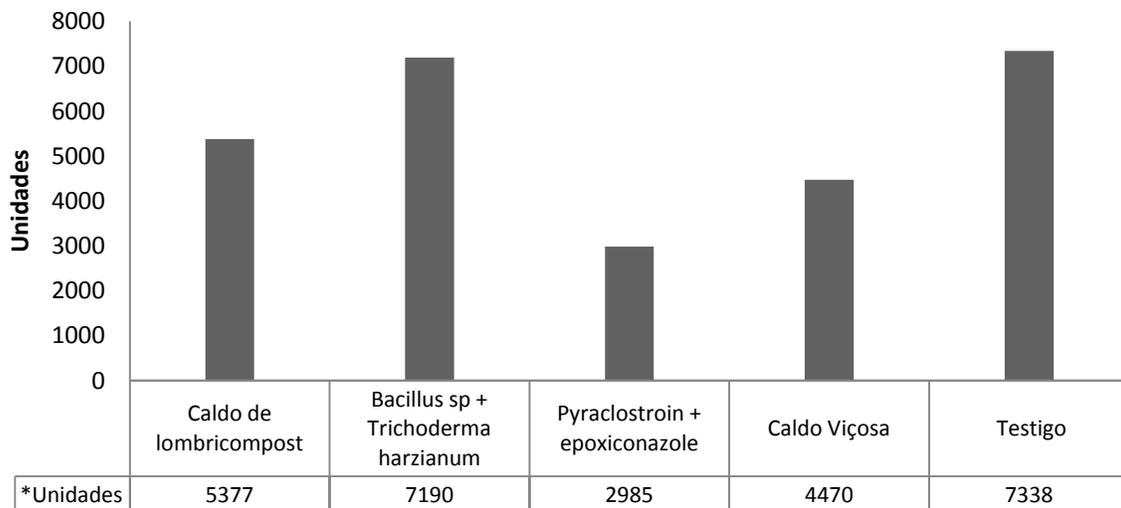


Gráfica 2. Curvas de incidencia de ojo de gallo causado por *Mycena citricolor* (línea oscura corresponde al tratamiento evaluado y la de color claro al testigo). a) Caldo de lombricompost; b) *Bacillus* sp. alternado con *Trichoderma harzianum* c) pyraclostrobin más epoxiconazole, y d) caldo viçosa. Las barras corresponden a valores de número de hojas en dos ramas por planta, según tratamiento evaluado en Finca La Soledad Acatenango, Chimaltenango, Guatemala, 2009. \*Las flechas indican el momento de aplicación de fungicidas.

De acuerdo a lo observado, en la parcela donde fue aplicado pyraclostrobin más epoxiconazole, se observó menos incidencia y severidad de ojo de gallo, menor cantidad de inóculo y menos defoliación, algo observado desde el mes junio hasta los meses de noviembre y diciembre (Gráfica 2c). Así mismo, con las tres aplicaciones de dicho fungicida hubo una diferencia de retención de 160 hojas por planta comparada con el testigo (Gráfica 2c). Como resultado de lo anterior se obtiene mayor área fotosintética y así mayor producción. Vale mencionar que la aplicación de caldo de lombricompost en plantas de café, mostró resultado similar al fungicida sistémico, relacionado al número de hojas por rama, (Gráfica 2a). Por ello, la aplicación de caldo de lombricompost es una buena opción de manejo para incrementar el número de hojas en plantas de café.

### 8.3.2 Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE)

Los valores de área bajo la curva del progreso de la enfermedad fueron diferentes para todos los tratamientos evaluados (Gráfica 3). Los valores del ABCPE fueron; caldo de lombricompost 5377, *Bacillus subtilis* alternado con *T. harzianum* 7190, pyraclostrobin más epoxiconazole 2985, caldo viçosa 4470 y el testigo 7338. En este caso, valores menores de ABCPE, indican menor cantidad de enfermedad. Basado en los resultados anteriores, se concluye que con la aplicación del fungicida sistémico se redujo en 59% la curva de la enfermedad, por lo tanto la fuente de inóculo y la defoliación de las plantas de café.



**Gráfica 3. Valores de área bajo la curva para la enfermedad de ojo de gallo ocasionado por *Mycena citricolor* en la evaluación de fungicidas sistémicos y biológicos, en finca La Soledad, Alotenango, Chimaltenango, Guatemala, 2009.**

### 8.3.3 Tasa de incremento de la enfermedad ojo de gallo

De acuerdo a los datos de tasa de incremento ( $r$ ), los tratamientos donde se aplicaron fungicidas químicos presentaron los valores más bajos de tasa de incremento de la enfermedad, principalmente con el fungicida sistémico con 0.3, lo que indica menor incremento de la enfermedad a través del tiempo y mayor sanidad (Tabla 2). Los valores más altos de “ $r$ ” fueron para el tratamiento testigo (1.8) y uso de lombricompost (1.1).

Tabla 2. Tasa de incremento de la enfermedad ojo de gallo causada por *Mycena citricolor* para cada tratamiento evaluado en Finca Soledad, Acatenango, Guatemala, 2009.

Tratamiento	Tasa de incremento de la enfermedad
Caldo de lombricompost	1.1
<i>Bacillus</i> sp. alternado con <i>Trichoderma harzianum</i>	0.5
Pyraclostrobin + epoxiconazole	0.3
Caldo viçosa	0.4
Testigo	1.8

Los valores de incremento de caldo viçosa y *Bacillus* sp. alternado con *T. harzianum*, fueron similares a los valores de pyraclostrobin más epoxiconazole, lo cual muestra la efectividad de estos tratamiento para el manejo de *M. citricolor*, tal como lo indica Bettiol (1991), Aycachi, Chafloque & Paz (2007).

### 8.3.4 Análisis de varianza para la variable incidencia de ojo de gallo

Con un 84% de  $R^2$  ajustado y con un 5% de significancia, valores de incidencia para los tratamientos: caldo de lombricompost, *Bacillus* sp., alternado con *T. harzianum*, pyraclostrobin más epoxiconazole, caldo viçosa y el testigo, tuvieron diferencia significativa. Revisando la tabla 3, el valor de probabilidad correspondiente a tratamientos es 0.0001 siendo este, menor a 0.05 mostrando así diferencia entre los tratamientos.

Tabla 3. Análisis de Varianza para la variable incidencia de ojo de gallo causada por el hongo *Mycena citricolor*, bajo condiciones de Finca la Soledad, Acatenango, Guatemala, 2009. \*Existe diferencia significativa entre tratamientos y entre repeticiones.

Análisis de Varianza				
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Incidencia	50	0.88	0.84	27.55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
Fuente de variación	Sumatoria de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio del error	F	P-valor
Modelo	1.79	13	0.09	20.44	<0.0001
Tratamientos	0.22	4	0.05	12.24	0.0001*
Repetición	0.95	9	0.11	24.08	<0.0001*
Error	0.16	36	0.0044		
Total	1.33	49			

\*Existe diferencia significativa entre tratamientos

### 8.3.5 Prueba de medias LSD Fisher

Según la prueba de medias, de acuerdo a los valores de incidencia de enfermedad hubo la conformación de 3 grupos (tabla 4). Los tratamientos consistentes en fungicidas químicos de contacto y biológicos fueron inferiores a la aplicación de fungicida sistémico en cuanto a reducir la incidencia de ojo de gallo.

El valor resultante del análisis de medias corresponde al tratamiento de pyraclostrobin más epoxiconazole con 0.14. Este valor indica que estadísticamente el tratamiento es diferente a los restantes. No hubo diferencia significativa entre la aplicación de caldo viçosa y exudados de lombricompost, siendo estos dos tratamientos de poco uso en la caficultura y que pueden implementarse en el manejo de esta enfermedad. Entre tanto, el caldo viçosa de acuerdo a Sayago (2001) y Huayllas (2007) mencionan que la aplicación de caldo bordelés y caldo viçosa independientemente reducen la incidencia de *Hemileia vastatrix* y *Cercospora coffeicola* en el cultivo de café.

Tabla 4. Prueba de medias LSD Fisher, para la variable incidencia de ojo de gallo causada por *Mycena citricolor*, bajo condiciones de Finca la Soledad, Acatenango, Guatemala, 2009. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

Tratamiento	DMS= 0.07139			Alfa=0.05	
	Media	n			
Testigo	0.32	10	A		
<i>Bacillus</i> sp. alternado con <i>Trichoderma</i> spp.	0.31	10	A		
Caldo de lombricompost	0.24	10		B	
Caldo viçosa	0.2	10		B	
Pyraclostrobin más epoxiconazole	0.14	10			C

### 8.3.6 Correlación de factores asociados al clima, hospedero y patógeno

Se correlacionaron las variables: precipitación pluvial, incidencia de la enfermedad, número de lesiones observadas en las hojas, fructificación de gemas del hongo, número de hojas totales en la planta y número hojas nuevas, para establecer su relación, tabla 5.

En la matriz se observa en la parte inferior y superior de la diagonal conformada por unos (1), aparecen los coeficientes de correlación que indica el grado de asociación, entre variables. El número negativo explica una asociación negativa y los positivos una asociación positiva.

Al analizar el valor de las variables correlacionadas se puede concluir que hubo correlación entre las variables: precipitación pluvial versus fructificación (-0.04), indica que la precipitación crea condiciones favorables para el desarrollo del hongo y favorece su dispersión; con correlación negativa (-0.09), incidencia de ojo de gallo con el número de hojas totales por bandola, explica que a mayor incidencia de enfermedad hay menor número de hojas, esto es debido a la defoliación de hojas enfermas de la planta provocada por *M. citricolor*, entre las correlaciones positivas, el número de lesiones versus precipitación (0.04), indica que a mayor cantidad de lluvia, existirá mayor número de lesiones en las hojas. Según Avelino y Wang (1999), la precipitación pluvial juega un papel importante en la diseminación del inóculo en plantas de café. Estos autores mencionan que la gema de *M. citricolor*, se desprende fácilmente del pedicelo, cuando la lluvia golpea las hojas, las estructuras del hongo se dispersan y forman nuevos focos de infección en otros órganos vegetativos y de fructificación de la planta. Fructificación del hongo versus número de lesiones en las hojas, es una de las variables fuertemente correlacionada (0.00001), explica que al tener mayor

número de gemas o cuerpos de fructificación del hongo, habrá infecciones y cada infección se convertirá en una lesión. Para ello evitar la fructificación del hongo es importante. En tal sentido, la aplicación de fungicidas de manera preventiva es importante para este patosistema y el enfoque de la aplicación de fungicidas sistémicos antes de la lluvia, para evitar la esporulación del hongo, es una buena medida que evita la epidemia tal como se observó en este estudio para dicho tratamiento. En la correlación de hojas nuevas versus número de lesiones (0.08), indica que al haber mayor área foliar existe mayor probabilidad de que las gemas, puedan adherirse al tejido foliar y ocasionar enfermedad, para ello nuevamente el manejo adecuado de la enfermedad ayudaría a proteger el tejido de la planta.

**Tabla 5. Análisis de correlación de las variables incidencia de ojo de gallo, precipitación pluvial, número de lesiones observadas en la planta, fructificación de gemas del hongo, número de hojas totales y número de hojas nuevas, bajo las condiciones de Finca Soledad, Acatenango, Guatemala. Valores menores a 0.05 se consideran correlacionados ( $p \leq 0.05$ ).**

	Precipitación	Incidencia de enfermedad	Número lesiones	Fructificación de gemas	Número de hojas	Hojas nuevas
Precipitación	1.00000	0.19099	0.04735	0.75094	0.48696	0.12181
Incidencia de enfermedad	-0.18803	1.00000	0.10347	0.08637	0.51424	0.41087
Número Lesiones	-0.28187	0.23298	1.00000	0.00001	0.38756	0.08984
Fructificación de gemas	-0.04603	-0.24501	0.57183	1.00000	0.46322	0.39667
Número de hojas	-0.10060	-0.09442	0.12488	0.10613	1.00000	0.00003
Hojas nuevas	0.22168	0.11889	0.24242	0.12251	0.55201	1.00000

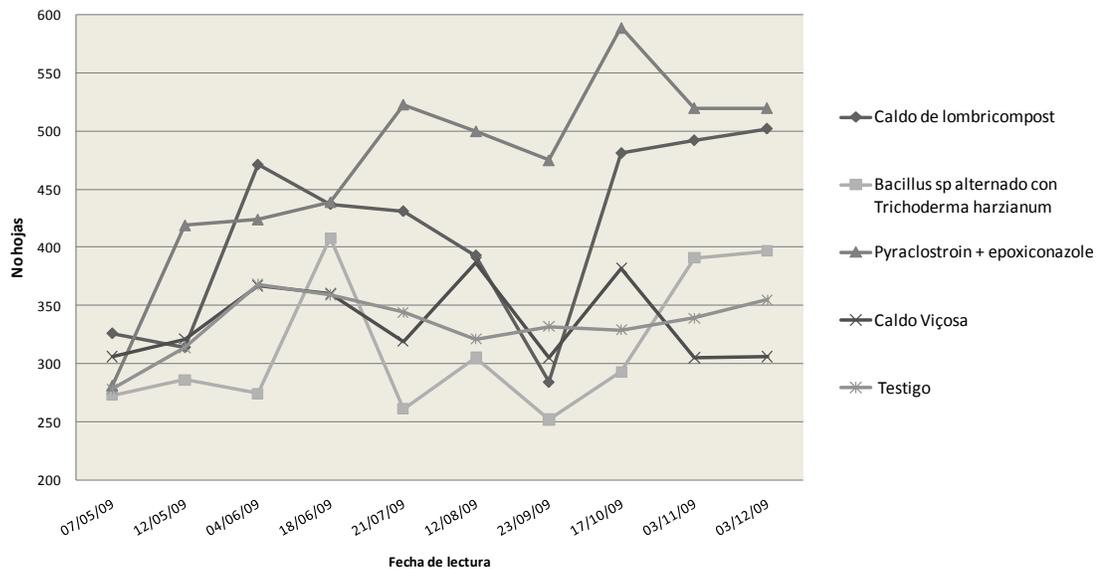
### 8.3.7 Análisis de forma y diámetro de lesiones ocasionadas por *Mycena citricolor*

Las lesiones causadas por *M. citricolor* en las hojas del cafeto, son de forma circular a ovalada en las hojas maduras, la coloración es blanquecina y constituye el inóculo primario. De acuerdo a la mediciones realizadas miden en promedio 0.408 cm, como moda 0.5 cm y también pueden encontrarse lesiones de 0.2 a 0.3 cm que probablemente no alcanzaron su máximo desarrollo al final de la epidemia, pero, existe la tendencia de unión de lesiones y se observan hasta 1 cm de diámetro (figura 5). En las hojas nuevas y tallos afectados el formato es irregular, la lesión es de color café rojizo al inicio y aumenta hasta adquirir su tamaño definitivo (inóculo secundario), información que es concordante a la citada por Sequeira & Steeves, (1954); Wellman, (1950), si la hoja no cae y sobrevive de un año para

otro, dichas lesiones adquieren las características antes mencionadas y se constituyen en inóculo primario.

### 8.3.8 Análisis de la defoliación causado por *Mycena citricolor*

Cuando las hojas del café son severamente afectadas o tienen lesiones ubicadas sobre las venas, provocan su caída independientemente del número de lesiones, esto se quedó demostrado que no hubo correlación en las variables número de hojas versus número de lesiones, tabla 5. Es de esperar que con este fenómeno se reduzca el área fotosintética tal como indica Quesada, 1996. Este mismo autor indica que lesiones localizadas en la vena central de la hoja favorecen la defoliación de la planta, sin embargo, se observó hojas defoliadas con lesiones en la vena central y otras áreas, algo que debe de contemplarse en futuros estudios. Valores del comportamiento de hojas observadas en la aplicación de productos sistémicos y biológicos en plantas de café, se resumen en la gráfica 4.



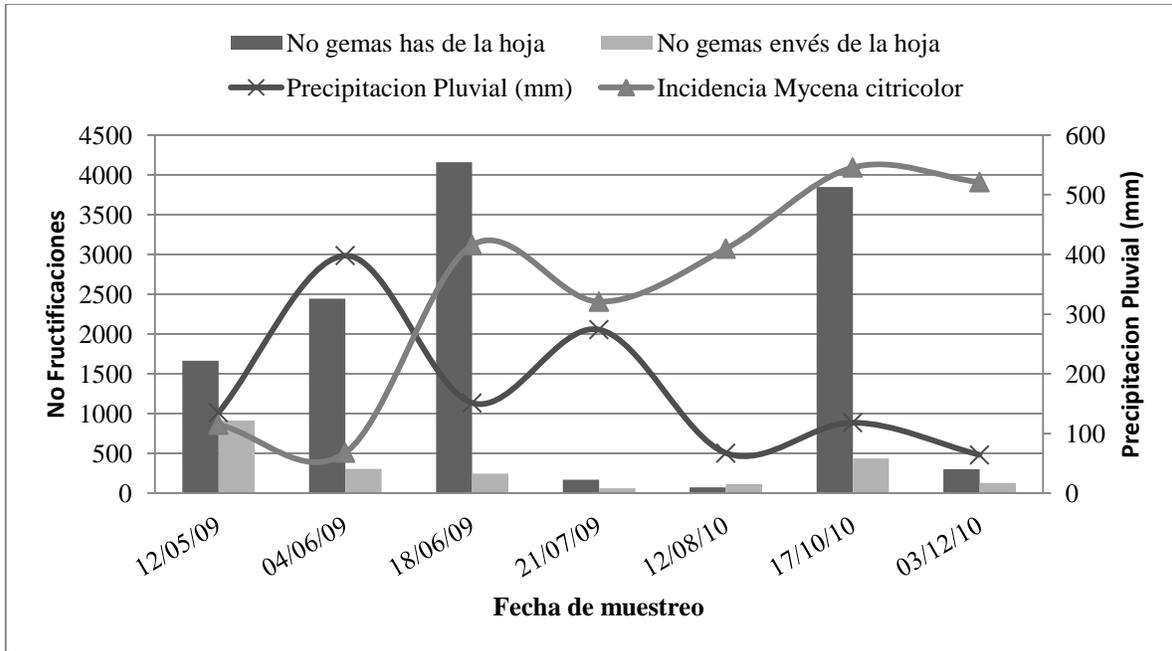
**Gráfica 4. Comportamiento del número de hojas en plantas de café con diferentes tratamientos bajo influencia de *Mycena citricolor* en Finca Soledad, Acatenango, Chimaltenango, Guatemala. Los valores correspondientes a esta gráfica es la sumatoria de las hojas de las dos bandolas por planta, en los 10 puntos de muestreo.**

Analizando el proceso de defoliación basado en el conteo de número de hojas en 20 ramas de café que fueron marcadas en los diferentes ensayos, y en donde se cuantificó dicho proceso en diferentes intervalos de tiempo se puede explicar el proceso de defoliación que ocurrió en las plantas de café (gráfica 4). Para la fecha 7 de mayo, cuando se inició el estudio, el conteo de número de hojas por rama, en todas las parcelas fue similar y se

contaron 260 a 330 hojas en 20 ramas, para esta fecha estos valores son independientes de los tratamientos evaluados. Posterior a la aplicación de los tratamientos a partir de esa fecha, en la octava cuantificación realizada el 17 de octubre, se observó incremento del número de hojas para el tratamiento donde fue realizada la aplicación de fungicida sistémico previo al inicio de la lluvia. Esto evitó la defoliación, algo que no se observó en los otros tratamientos incluyendo el testigo, grafica 4. Para el mismo tratamiento hubo 2.4 hojas perdidas por bandola en 2 meses, el cual se considera bajo para las condiciones de este ecosistema, favorable a ojo de gallo. Para el resto de tratamientos se cuantificó promedio de 7.35 a 7.80 hojas defoliadas por bandola en un mes a dos meses, estos valores son considerando altos y se pierde hasta el 57 % de hojas comparando el tratamiento donde hubo menor y mayor defoliación bajo las condiciones que prevalecieron para la localidad y año de estudio (figura 6b). Con ello, se demuestra el potencial de defoliación de la planta por *Mycena citricolor* y justifica la aplicación de fungicidas sistémicos de manera preventiva para el manejo de dicha enfermedad. Al analizar los diferentes valores de defoliación y producción de hojas en la planta, la integración planificada de todos estos tratamientos en un programa de manejo resultaría en algo beneficioso para recomendar a los agricultores afectados con dicho problema. Además de los tratamientos recomendados para el manejo de la enfermedad, el manejo del cultivo incluyendo sombra y barreras vivas que en los cafetales, es aconsejable contemplarlas dentro las recomendaciones de manejo de ojo de gallo tal como fue contemplado en este estudio (figura 6a).

#### **8.3.8.1 Fructificación del hongo *Mycena citricolor* en café arábica**

La fructificación del hongo *M. citricolor* esta inversamente relacionado a la precipitación pluvial. Quiere decir que cuando la precipitación se incrementa, las gemas del hongo se desprenden y se dispersan por el golpe de las gotas de lluvias en las hojas del café, provocando así una reducción de gemas del hongo en la lesión. Esto puede ser verificado mediante la colocación de trampas adhesivas a través de diferentes distanciamientos para capturar las gemas del hongo. Sin embargo, este fenómeno es una forma favorable para el hongo pues ayuda en su diseminación (Avelino y Wang, 1999). En la gráfica 6 se muestra que la fructificación en los meses de julio y agosto baja y esto debido al régimen de lluvia, pero vuelve a aumentar en el mes de octubre en la cual la cantidad de lluvia baja.



Gráfica 5. Relación entre fructificación de ojo de gallo en hojas de café causada por el hongo *Mycena citricolor*, precipitación pluvial e incidencia en Finca La Soledad, Acatenango, Chimaltenango, Guatemala, 2009.

Las lesiones de *M. citricolor*, se pueden observar tanto en el envés y haz de la hoja de la planta. Una vez ocurrido el daño, el hongo puede fructificar en la parte superior o en la parte inferior de la hoja. El 85 % de fructificación o esporulación del hongo ocurre en el haz de la hoja de la planta y el 15% ocurre en el envés. Esta situación refleja hacia donde tiene que ser dirigidas las aplicaciones de productos foliares, tanto biológicos como químicos. En la grafica anterior (5) se muestra que en los dos puntos máximos de la curva de incidencia, uno mostrado el 18 de junio y el otro el 17 de octubre, también son los puntos más altos de fructificación del hongo. La fructificación está relacionada a la incidencia del hongo (tabla 5, figura 6), pues cuando la fructificación aumenta la incidencia de *M. citricolor*, también aumentó.

La fructificación se dio tanto en lesiones primarias como en lesiones secundarias (figura 5b y 5c). El incremento de las lluvias favoreció las condiciones para el desarrollo del hongo, provocando así la formación de inóculo con potencial de infectar tejido sano. La fructificación del hongo en lesiones primarias o en lesiones secundarias es indiferente. Ambas lesiones tienen la facultad de producir en promedio, en los meses más críticos de lluvias (abril, mayo, junio y julio), de 7 a 8 gemas por lesión con potencial de infectar otras áreas. El hongo puede ocasionar hasta 50 lesiones por hoja en los meses más críticos

(octubre y noviembre), una planta puede convertirse en un potencial de inóculo para la siguiente temporada.

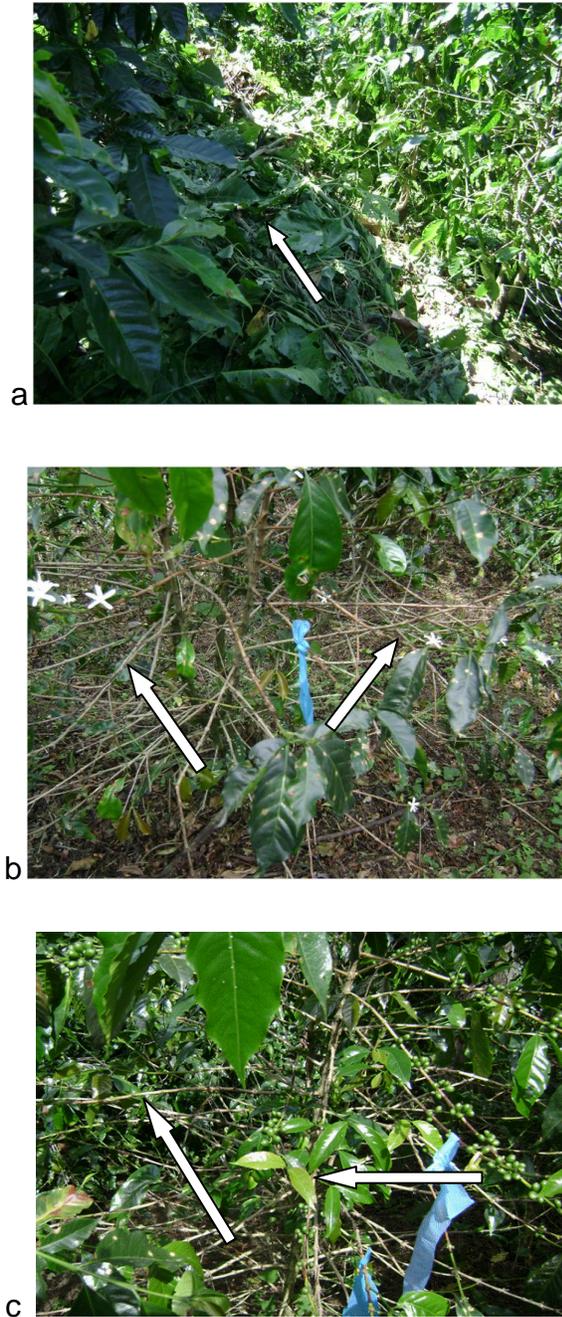


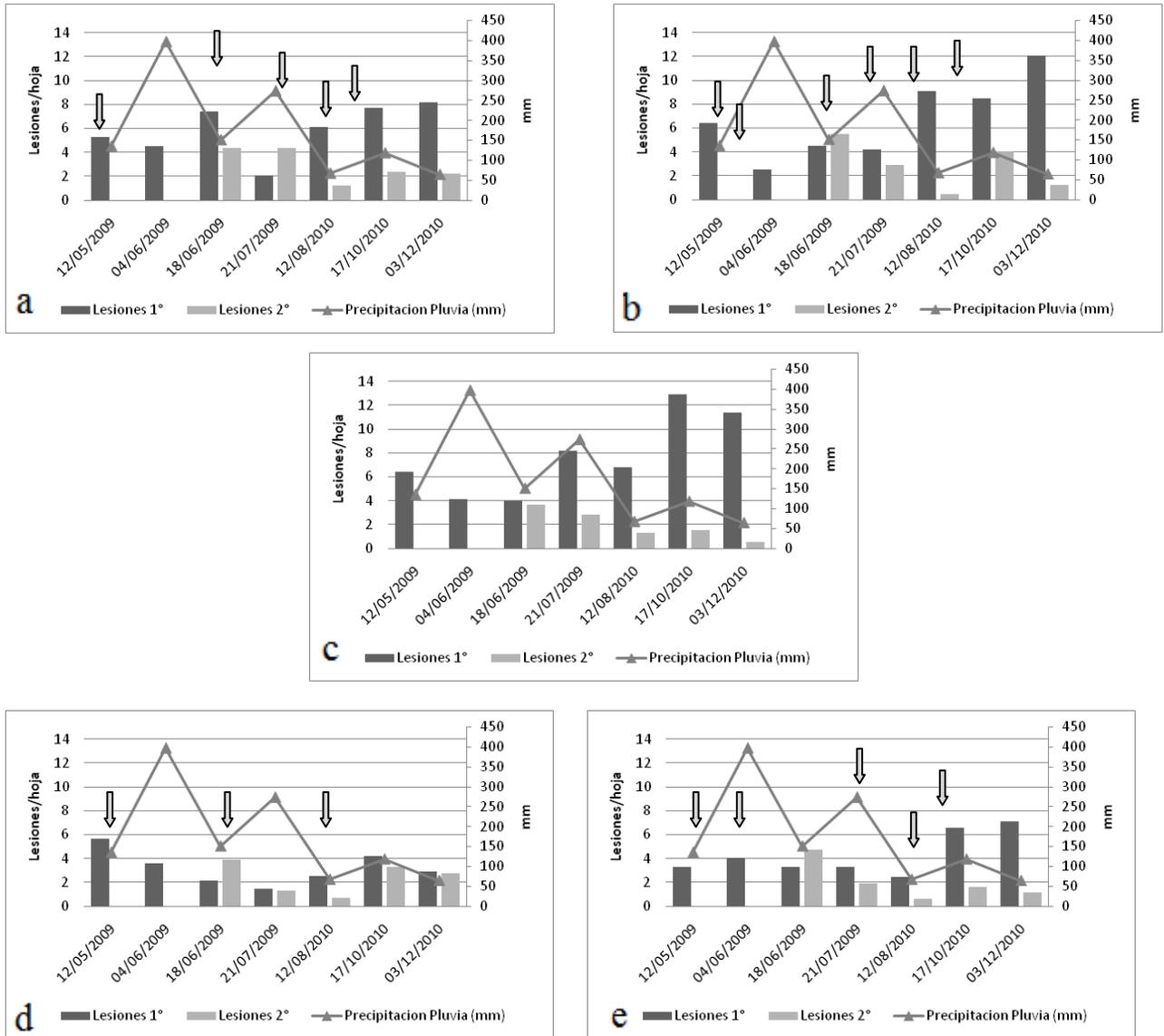
Figura 6. Poda de barreras vivas para el manejo de sombra en plantas de café, práctica utilizada para el manejo de *Mycena citricolor*, flecha indica dirección de barrera (a). Defoliación severa en planta de café (b). Brotes de hojas nuevas en plantas de café (c), en Finca La Soledad, Acatenango, Guatemala, 2009.

### **8.3.9 Análisis del área foliar enferma**

Con el programa PhotoShop se determinó el área foliar afectada por *Mycena citricolor*, en hojas de café para inóculo primario y secundario. Para el caso de las hojas viejas o inóculo primario, representa al 1.33%, en las lesiones en hojas nuevas, el área foliar dañada representó el 8.58 %. Basado en estos datos, el daño foliar en hojas nuevas fue mayor comparado al de hojas viejas, debido a que son más afectadas y las lesiones son mayores, figura 5b. Esta situación fue estudiada por Sequeira & Steeves (1954), Wellman (1950), quienes determinaron que las lesiones en hojas nuevas pueden ser ovaladas debido a la delimitación con las venas, ya que en estas hojas la delimitación de las venas se ve afectada por la composición de fibras de lignina. Esto indica que las hojas adultas son más resistentes por estar lignificadas, además que fenoles son componentes de la lignina y tienen carácter antifúngico.

### **8.3.10 Número de lesiones ocasionadas por *Mycena citricolor* en hojas de café**

El número de lesiones está fuertemente correlacionado al número de fructificaciones del hongo (tabla 5). Por lo tanto, evitar la fructificación en las lesiones primarias, el cual es el inóculo primario, es importante para evitar el desarrollo de la epidemia, es decir, evitar las lesiones secundarias o inóculo secundario. El hongo sobrevive en lesiones causadas un año anterior. Durante los meses de abril a mayo el hongo empezó a fructificar, bajo las condiciones de dicha localidad. Este es el inóculo más importante y el cual se debe manejar para evitar que se convierta en una epidemia. En estas lesiones ocurre la esporulación, las cuales tienen el potencial de infectar y producir más lesiones e innumerables cuerpos fructíferos con posibilidades de infección, siendo esta una enfermedad de tipo policíclica. Además, cuando las lluvias se intensifican aparecen nuevas lesiones producto de la esporulación del hongo y es cuando se observan los mayores ataques del hongo (gráfica 1). Al inicio del ensayo, antes de la esporulación del inóculo primario se cuantificaron en promedio 5.24 lesiones por hoja, pero pueden encontrarse desde 1 hasta 20 lesiones por hoja. Tal como se muestra en la gráfica 5, las lesiones primarias fueron más numerosas que las lesiones secundarias, pues por cada lesión secundaria hay 9 lesiones primarias. Las lesiones secundarias, para el próximo ciclo, se convertirán en lesiones primarias.



Gráfica 6. Relación entre lesiones primarias, lesiones secundarias ocasionadas por *Mycena citricolor* en plantas de café y precipitación pluvial, bajo condiciones de Finca La Soledad, Acatenango, Guatemala 2009. Plantas aplicadas con caldo de lombricompost (a). Plantas aplicadas con *Bacillus* sp. alternado con *Trichoderma harzianum* (b). Plantas testigos (c). Plantas aplicadas con pyraclostrobin más epoxiconazole (d). Plantas aplicadas con caldo viçosa (e). Flechas indican momento de aplicación de los productos.

Sin embargo la acumulación de lesiones primarias y lesiones secundarias al final del ensayo (3 diciembre), fue menor en el tratamiento con plantas aplicadas con pyraclostrobin más epoxiconazole y caldo viçosa. Es importante mencionar que las lesiones secundarias

empiezan cuando la precipitación pluvial aumenta, gráfica 5. Antes de este momento, se debe aplicar fungicida sistémico y biológico, para proveer a la planta una protección preventiva ante el ataque de *M. citricolor*. En el transcurso de desarrollo de la epidemia, la aplicación de productos químicos de contacto y biológicos, ayudan a la planta a disminuir el ataque de dicho hongo. Por ello, es importante la planificación integrada de pyraclostrobin más epoxiconazole, caldo viçosa, y productos biológicos para el manejo de *M. citricolor*.

#### **8.4 Distribución espacial de ojo de gallo causado por *Mycena citricolor***

Para el análisis de la distribución espacial de ojo de gallo, fue necesaria la utilización del programa MorLloyd Ver. 1.0, elaborado por G. Mora, de la Universidad de Chapingo, México, con una matriz 8 X 8 acorde a lo que fue realizado en el campo. De acuerdo al análisis de los datos y basado en los índices de dispersión de Lloyd y Morisita, la epidemia de ojo de gallo causada por *Mycena citricolor*, para las condiciones de Finca Soledad, Acatenango, se manifestó de manera agregada en las plantas de café donde se aplicó caldo de lombricompost, para la fechas 21 abril de 2009, 12 agosto 2009 y 03 diciembre de 2009. En plantas tratadas con *Bacillus* sp. alternado con *T. harzianum*, la enfermedad se manifestó de manera uniforme para la fecha 21 abril de 2009, de manera agregada para la fecha 12 agosto 2009 y uniforme para el 03 diciembre de 2009, esto es comprensible dado que los tratamientos biológicos actúan de manera lenta. En la parcela de café donde fue aplicado pyraclostrobin más epoxiconazole, se determinó comportamiento agregado al principio del ensayo, para la fecha 12 de agosto su comportamiento fue uniforme al igual que la fecha 03 de diciembre. Con el uso de caldo viçosa se observó comportamiento uniforme en la fecha 21 de abril de 2009, agregado para el 12 de agosto y uniforme para el 03 de diciembre. El testigo mostró un comportamiento uniforme el 21 de abril al igual que el 12 de agosto, sin embargo cambia a agregado para la fecha 03 de diciembre. Como se muestra, el comportamiento de *M. citricolor* puede ser agregado o uniforme en el transcurso de desarrollo de la epidemia. Los datos individuales para cada lectura e índices respectivos aparecen en anexo 1.

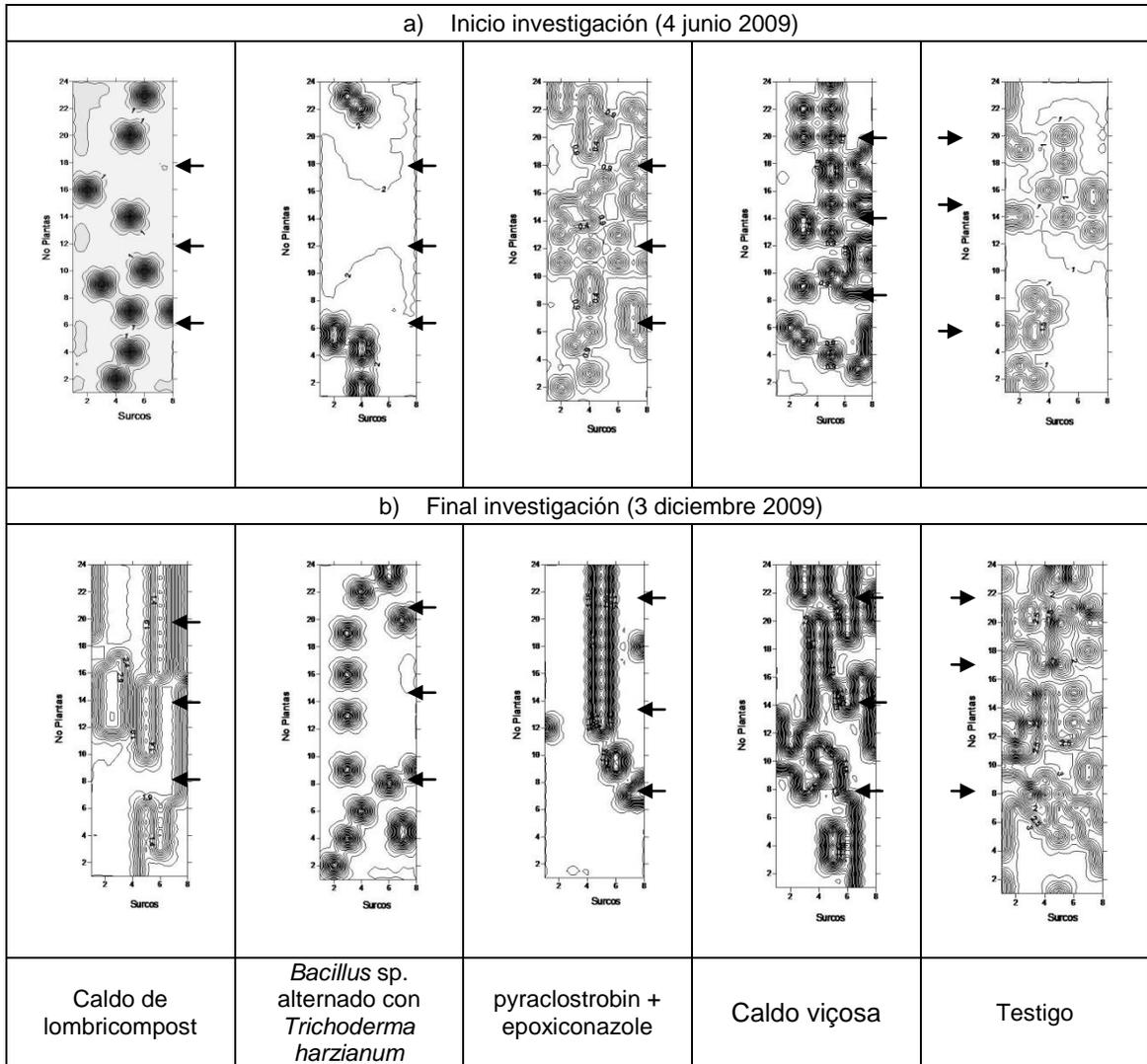


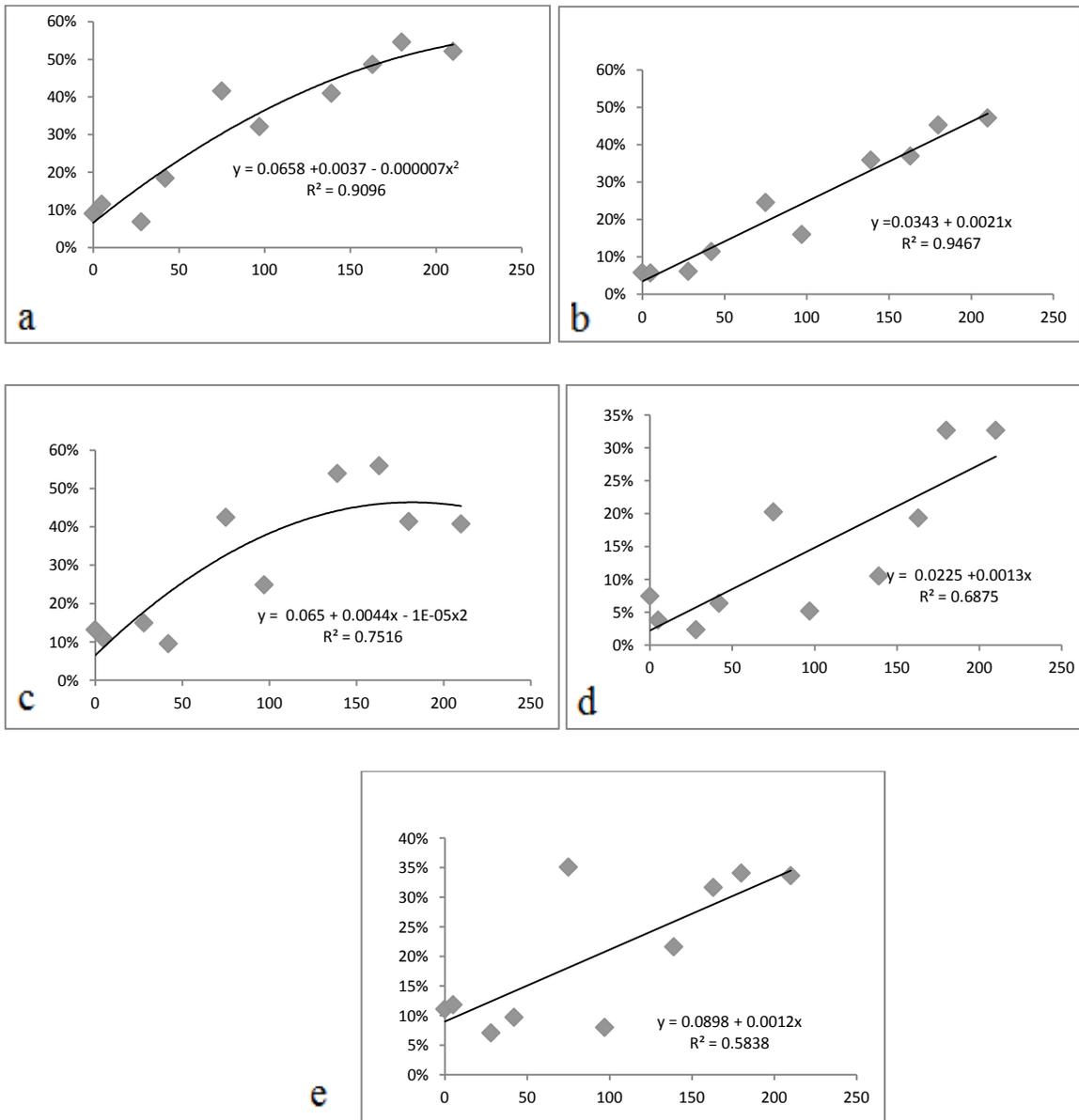
Figura 7. Mapas bidimensionales que muestran la distribución espacial de ojo de gallo causado por *Mycena citricolor*, en las parcelas de café según tratamiento indicado en la parte inferior de las columnas, correspondientes a las lecturas realizadas al inicio y final de la investigación en la Finca La Soledad, Acatenango, Chimaltenango, 2009. \*Flechas indican barreras vivas dentro del ensayo. Color negro en los mapas indica enfermedad.

En la figura 7, se observa como el inóculo residual de un ciclo productivo anterior está presente en plantas de café al momento del inicio de la investigación (4 junio 2009). Este inóculo residual sobrevive en lesiones primarias de hojas dañadas por el hongo, las cuales al encontrar condiciones favorables, fructifican e infectan tejido sano (figura 5c).

### 8.5 Distribución temporal de ojo de gallo causado por *Mycena citricolor*

Conforme al análisis de los datos de incidencia de ojo de gallo ocasionada por *M. citricolor* y mediante la utilización del programa Infostat, los datos correspondientes a incidencia de enfermedad según tratamiento, se ajustan a los siguientes modelos: testigo del agricultor, modelo monomolecular ( $Y = 0.0658 - 0.0037x + 0.000006x^2$ ), tratamiento caldo de

lombricompost, modelo lineal ( $Y = 0.0343+0.0021x$ ), tratamiento *Bacillus* alternado con *Trichoderma*, modelo monomolecular ( $0.065+0.0044x-0.00007x^2$ ), tratamiento pyraclostrobin más epoxiconazole, modelo lineal ( $0.00225+0.0013x$ ), tratamiento caldo viçosa, modelo lineal ( $0.0898+0.0012x$ ). En la gráfica 7, se presenta las curvas del análisis temporal de la enfermedad *M. citricolor* de Finca La Soledad, Acatenango, Chimaltenango, 2009.



Gráfica 7. Análisis temporal de ojo de gallo ocasionado por *Mycena citricolor*. Tratamiento testigo, modelo monomolecular, a. Aplicación de caldo de lombricompost, modelo lineal, b. Aplicación de *Bacillus* alternado *Trichoderma*, modelo monomolecular, c. Aplicación de pyraclostrobin más epoxiconazole, modelo lineal d. Aplicación de caldo viçosa, modelo lineal, e. Valores porcentuales representan porcentaje de incidencia de enfermedad y valores horizontales representan fecha de muestreo.

Según la gráfica 7, al momento de iniciar el ensayo el inóculo presente en plantas de café fue diferente para cada tratamiento en cuanto a la cantidad de inóculo, pero es suficiente para provocar una epidemia. Cuando en el ambiente se presentó mayor humedad ( $\geq 80\%$ ), precipitaciones mayores de 1500 mm, temperaturas entre 18 y 22 grados centígrados y con 50 % de incidencia de *M. citricolor* en la plantas de café, se puede producir una reducción del 18 % del área foliar a causa de la defoliación causada por el hongo. Además con este mismo porcentaje de incidencia existe incremento de 60 % en fructificación del hongo e incremento de 44% en lesiones por hoja. Según Chaves (1996), cuando las condiciones son favorables los niveles de infección del hongo pueden ser mayores de 40 % y provocan pérdidas en cosecha entre 20 y 30 %.

## **8.6 Principales factores epidemiológicos que favorecen el desarrollo de ojo de gallo en café, Alotenango, Chimaltenango, Guatemala.**

### **8.6.1 Patógeno *Mycena citricolor***

El hongo *Mycena citricolor* sobrevive en hojas adultas de café con lesiones y constituyen el inóculo primario. Las poblaciones del hongo asociado al café son diferentes al inicio de la epidemia y se puede encontrar en focos, de manera agregada o uniforme en plantaciones de café que han sido severamente afectadas un año anterior, siendo las más críticas las de carácter uniforme con hojas que presenten muchas lesiones. Una vez que las condiciones ambientales son propicias para el hongo, la emisión de propágulos infectivos conocidos como gemas es abundante. En cuantificaciones realizadas en este estudio se encontró de 0 hasta 60 gemas por lesión y promedio de 20 lesiones por hoja. La fructificación del hongo se produce de junio a diciembre, meses en los cuales ocurren lluvias, gráfica 6. Las horas de mojado foliar son favorecidas por las lluvias y el rocío de la mañana aspectos que contribuyen a la emisión de gemas. Estas condiciones también propician una película de agua sobre las hojas que abarca el tejido foliar enfermo, induciendo la formación de gemas, esto mantiene o aumenta la presencia de la enfermedad en los cafetales. Por otro lado, lluvia y viento son factores que ayudan a la dispersión del hongo, tal como se demuestra en la figura 6.

### 8.6.2 Hospederos de *Mycena citricolor*

*M. citricolor* es el hongo que tiene como hospedero importante las plantaciones de café establecidas en la zona montañosa del estrato más alto localizado de 1000 a 1700 msnm en Guatemala. Para las condiciones de Finca Soledad, lugar donde se hizo la evaluación, se utilizó la variedad de café Pache Común. Es catalogada como susceptible al ataque de dicha especie de hongo debido a los daños que fueron observados. En este estudio también se observaron hospederos alternos tales como: malezas (*Galinsoga quadriradiata*, *Melampodium divaricatum*, *Commelina coelestis*, *Polygonum capitatum*, entre otras), árboles frutales, árboles de sombra y plantas de barrera viva (palo de agua) y helechos que viven asociados a árboles de sombra y bosque adyacente a las plantaciones.

### 8.6.3 Ambiente favorable para ojo de gallo

Se determinó que precipitación abundante y continua favoreció la enfermedad. En el lugar donde se condujo la evaluación se cataloga como un lugar lluvioso (gráfica 6), para el año 2009 se registró precipitación de 1324 mm, de acuerdo al análisis de correlación es una de las variables que está implicada en el incremento de la epidemia, (tabla 5). Durante la época seca, no se observa emisión de gemas, lesiones secundarias y caída de hojas, debido a que no es un ambiente favorable para el desarrollo de la epidemia. La temperatura ideal para el desarrollo del hongo está en  $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ , en el lugar se registró una temperatura promedio de  $22^{\circ}\text{C}$ . En estudios realizados en el laboratorio por Orozco, *et al* (2010), determinaron situaciones análogas bajo condiciones de laboratorio. Terrenos con pendiente y ubicados en posición este-oeste, durante el periodo de la mañana no reciben radiación solar y tienen mayores horas de mojado foliar que es favorable para el desarrollo del hongo. Bajo las condiciones donde se realizó el estudio, se pudo observar que la plantación de café recibe radiación solar hasta las 9 de la mañana. Aunado a los aspectos climáticos, en la zona donde se realizó la investigación existen algunas deficiencias en cuanto al manejo del cultivo, algo que favorece el desarrollo de la epidemia, por ejemplo el deficiente control de malezas, manejo de sombra deficiente, nutrición de la planta, escasa conservación de suelos y programa fitosanitarios deficientes, algo que debe trabajarse con capacitación.

## 9 CONCLUSIONES

En la cuantificación de la enfermedad, la mayor tasa de incremento de ojo de gallo fue en el tratamiento testigo (1.8 hojas por día) y la menor para la mezcla de fungicidas sistémicos (pyraclostrobin más epoxiconazole) con 0.3. Respecto al tejido foliar enfermo se cuantificó 1.3% para lesiones correspondientes a inóculo residual en hojas adultas y 8.58% de área foliar dañada en lesiones secundarias o inóculo secundario. La distribución espacial de *Mycena citricolor*, fue agregada y uniforme según los índices de dispersión de Lloyd y Morisita, en el análisis temporal de la enfermedad, los modelos que se ajustaron a la serie de datos de incidencia de ojo de gallo, fueron monomolecular y lineal.

Relacionado a los factores epidemiológicos, el hongo *Mycena citricolor* sobrevive de un año para otro en lesiones de hojas adultas de café y constituyen el inóculo primario. Se encontraron hospederos alternos como malezas, árboles frutales, árboles de sombra, helechos y plantas de barreras vivas. La producción de unidades infectivas o gemas, correspondientes a la fase asexual del hongo se observan durante la época lluviosa con temperatura  $20^{\circ}\text{C} \pm 2$  y durante la época seca no se observó emisión de gemas ni caída de hojas. La lluvia fue considerada el principal factor de dispersión del hongo. La variedad Pache Común fue catalogada como hospedero susceptible al ataque de *M. citricolor*.

Los síntomas asociados a ojo de gallo fueron: lesiones circulares, color blanquecino, tamaño variable (0.408 cm diámetro promedio, moda 0.5 cm y también lesiones de 0.2 a 0.3 cm) en hojas adultas correspondiente a inóculo primario. En hojas jóvenes e inóculo secundario, las lesiones son irregulares, de color café oscuro al principio y gris blanquecino al final. El 85% de la producción de gemas del hongo ocurre en el haz de la hoja y el 15% en el envés, son de color amarillo. En plantaciones muy afectadas por la enfermedad, se observa caída abundante de hojas, frutos y muerte de brotes jóvenes.

De los tratamientos evaluados, los fungicidas químicos fueron más eficientes en reducir la incidencia de ojo de gallo ocasionada por *Mycena citricolor*, principalmente cuando se utilizó la mezcla de fungicidas sistémicos consistentes en pyraclostrobin más epoxiconazole de manera preventiva, antes del inicio de las lluvias. Se observó reducción 59% de la enfermedad con uso de fungicida sistémico, 39 % con fungicida de contacto caldo viçosa,

27% con uso de caldo de lombricompost y 2% *Bacillus* sp. alternado con *Trichoderma harzianum*.

## 10 RECOMENDACIONES

En plantaciones de café afectadas por ojo de gallo ocasionada por *Mycena citricolor* recomendar la aplicación de fungicidas sistémicos (estrobirulinas, triazoles o mezclas) de manera preventiva, antes de la temporada de lluvia. Posteriormente, realizar aplicación de fungicidas de contacto y productos biológicos (caldo de lombricompost, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus* sp.) en programas de manejo integrado.

Manejo de podas de árboles de sombra de plantas de café, de las barreras vivas, manejo de malezas, evitar hospederos alternos de ojo de gallo, fertilización basada en recomendaciones, son prácticas que también deben de contemplarse dentro de programas de manejo integrado de la enfermedad.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

1. Agrios, NG. 2002. Fitopatología. 4 ed. México, Limusa. 838 p.
2. Amorin, L. 1995. Avaliação das doenças. *In* Bergamin Filho, A; Kimati, H; Amorin, L. (eds.). Manual de fitopatología. 3 ed. Brasil, CERES. p. 647-690.
3. ANACAFE (Asociación Nacional del Café, GT). 1998. Manual de caficultura. 3 ed. Guatemala. 14 p.
4. \_\_\_\_\_. 2002. Manual de caficultura. 2 ed. Guatemala. 169 p.
5. \_\_\_\_\_. 2006. Guia técnica de caficultura. Guatemala. 213 p.
6. \_\_\_\_\_. 2009. Exportaciones 2008/2009 (en línea). Guatemala. Consultado 28 mar 2009. Disponible en: <http://portal.anacafe.org/Portal/Documents/Documents/2008-1/257/176/GRAFEXPO1120022007.pdf>
7. Arauz, C; Uribe, L. 1999. Aplicación de principios epidemiológicos para el combate de ojo de gallo en cafeto. *In* Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales (11, 1999, CR); Congreso Nacional de Entomología (5, 1999, CR); Congreso Nacional de Fitopatología (4, 1999, CR); Congreso Nacional de Suelos (3, 1999, CR); Congreso Nacional de Extensión Agrícola y Forestal (1, 1999, CR). Memorias. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 467 p.
8. Arroyo, T. 1975. Control biológico del ojo de gallo en el café causado por *Mycena citricolor* en época seca. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia. 65 p.
9. Avelino, J. 1990. Epidemiología del ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk & Curt) y evaluación de las pérdidas en la producción de café. *In* Memoria Técnica de Investigaciones en Café. Guatemala, ANACAFE. 125 p.
10. Avelino, J; Toledo, JC; Medina, B. 1993. El caldo bordelés y la recepa en el control del ojo de gallo. Guatemala, ANACAFE. p. 123-128.
11. Avelino, J; Wang, A. 1999. Ojo de gallo del cafeto (*Mycena citricolor*). *In* Bertrand, B; Rapidel, B. (eds). Desafios de la caficultura en centroamerica. , San José, Costa Rica, IICA. p. 243-262.
12. Aycachi, I; Chafloque, A; Paz, C. 2007. Lombricultura. España, Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento Académico de Microbiología y Parasitología. 33 p.
13. Barquero Miranda, M. 2004. Algunas consideraciones sobre el ojo de gallo. Revista Informativa ICAFE (2):11-15.

14. Bergamin Filho, A; Amorin, L. 1996. Doenças das plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico. Brasil, CERES. 299 p.
15. Berger, R. D. (1981). Comparison of the Gompertz and Logistic equations to describe plant disease progress. *Phytopathology* 71:716-719
16. Bettiol, W. 1991. Controle biológico de doenças de plantas. Brasília, DF, Brasil, EMBRAPA. 75 p.
17. Bonilla G, JC. 1980. Estudio del ojo de gallo causado por el hongo *Mycena citricolor*. Turrialba, Costa Rica, IICA. p. 177-188.
18. Boyce, J *et al.* 1994. Café y desarrollo sostenible. Heredia, Costa Rica, EFUNA. 248 p.
19. Buller A, HR. 1934. Researches on fungi. London, Longmans. v. 6.
20. Campbell, CL; Madden, LV. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. US, Willey Press. 532 p.
21. Chaves, OC. 1996. Características biológicas del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en el cultivo de café en Costa Rica y su control. San José, Costa Rica, . Sandoz Agro, Hojas Divulgativas. 4 p.
22. Figueroa, P. 2008. Manejo y control del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en Guatemala. Guatemala, ANACAFE. 11 diapositivas-Power Point.
23. García, J. 2009. Biología de *Mycena citricolor*. Guatemala, ANACAFE. 29 diapositivas-Power Point.
24. Hawksworth, DL; Kirk, PM; Sutton, BC; Pegler, DN. 2008. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. 10 ed. US, CMI Kew. 771 p.
25. Huayllas, OC. 2007. Manejo integrado de enfermedades en el café. Brasil, CERES. 45 p.
26. ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica, CR). s.f. Manejo del ojo de gallo: regional valle central. Costa Rica. 6 p.
27. ICAFE (Programa Cooperativo Instituto del Café de Costa Rica, CR); MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR). 1990. Manejo del cultivo de café. San José, Costa Rica. 122 p.
28. Izaguirre, L. 2008. Epidemiología de la marchitez bacteriana *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de tomate *Lycopersicon sculentum* Mill. en el oriente de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 82 p.

29. Juliatti, FC; Santos, MA Dos. 1999. Métodos de avaliação de doenças de plantas induzidas por fungos e por nematóides. *Rev. Anual de Patología de Plantas* 7:407-445.
30. Katan, J. 1987. Soil solarization. *In* Chet, I (ed.). *Innovative approaches to plant disease control*. US, Wilwy. p. 77-105.
31. López, L. 1991. Manual técnico sobre el cultivo de café (*Coffea arabica* L.). San José, Costa Rica, Instituto Nacional de Aprendizaje, Departamento Técnico Agropecuario. p. 78-79.
32. Lloyd, M. 1967. Mean crowding. *Journal of Animal Ecology* 36:1-30.
33. Morisita, M. 1962. I-index, a mesasure of dispersión of individuals. *Researches on Pupulation Ecology* 4:1-7.
34. Mora A, G. 2008. Epidemiología fundamentos y aplicaciones en patosistemas agrícolas. Guatemala, Universidad Rafael Landivar. 75 p.
35. Orozco, E. 2010. Proyecto: ojo de gallo ocasionado por *Mycena citricolor* en café (*Coffea arabica*), en Guatemala. Guatemala, ANACAFE. 14 diapositivas-Power Point.
36. Orozco, E; Calderón, G. 2010. Biología de *Mycena citricolor* y su asociación en café para Guatemala. 14 diapositivas-Power Point.
37. Orozco, E; Figueroa, P; García, J; Peñate, L; Pacheco, A; Calderón, G. 2010. Características de la enfermedad ojo de gallo. *El Cafetal (Guatemala)* abril:4-7.
38. Páez, P. 1976. Factores que afectan el hiperparasitismo de *Trichoderma* spp. en combate biológico de ojo de gallo causado por *Mycena citricolor*. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 42 p.
39. Quesada, D. 1996. Efecto del adherente y época de la aplicación de una bacteria antagonista en el combate de ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk. & Curt. Sacc.) Tesis Ing. Agr. Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 58 p.
40. Rao, DV; Tewari, JP. 1987. Production of oxalic by *Mycena citricolor*, causal agent of the American leaf spot of coffee. *Phytopathology* 77(6):780-785.
41. Reed, WJ. 1983. Confidence estimation of ecological aggregation índices base don counts-A robust procedure. *Biometrics* 39:987-998.
42. Rivera C, G. 1999. Conceptos introductorios a la fitopatología. San José, Costa Rica, EUNED. 223 p.
43. Sánchez Castillo, JC. 1990. Caficultura moderna y control de la roya. 2 ed. Guatemala, Colofón. 140 p.

44. Sayago, M. 2001. Control fitosanitario en el cultivo de café. Bramón, Estado de Táchira, Venezuela, Centro de Investigaciones Agropecuarias. 112 p.
45. Sequeira, L; Steeves, TA. 1954. Auxin inactivation and its relation to leaf drop caused by the fungus *Omphalia flavida*. Plant Physiol. 29(1):11–16.
46. Soares de Melo, I; Fauli, J. 2000. Parasitism of *Rhizoctonia solani* by strains of *Trichoderma* spp. (en línea). Scientia Agrícola 57(1):2281. Consultado 28 mar 2009. Disponible en [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162000000100010&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162000000100010&script=sci_abstract)
47. Umaña, G; Vargas, AL; González, LM; Vargas, E. 1990. Epidemiología del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en dos zonas cafetaleras de Costa Rica. In Taller regional sobre roya, ojo de gallo y otras enfermedades del cafeto (1990, San José, CR). Resúmenes. Costa Rica, PROMECAFE / UCR / CIID / IICA / AID. 2 p.
48. Vargas, E. 1984. Interacción del tratamiento biológico y químico en el combate del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en el cafeto. Agronomía Costarricense 8(2):91-97.
49. Vargas, E. 1994. Interacción de tratamiento biológico y químico en el combate de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en el cafeto. Agronomía Costarricense 8(2):97-97.
50. Vargas, L; Mora, J. 1999. Evaluación del fungicida sistémico Epoxiconazole en el combate de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en café. In Congreso Agronómico (11, 1999, GT); Congreso Nacional de Fitopatología (4, 1999, GT). Guatemala. p. 70-71.
51. Wagner, R. 2001. Historia del café en Guatemala. Guatemala, Asociación Nacional del Café. 223 p.
52. Wellman, FL. 1950. Variation in *Mycena citricolor* of coffee in Costa Rica. Tesis MSc. Alberta, Canadá, University of Alberta. 86 p.
53. Wikipedia.com. 2009. Cultivo de café (en línea). España. Consultado 28 mar 2009. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Caf%C3%A9>
54. Zadoks, JC; Schein, RD. 1979. Epidemiology and plant disease management. US, Oxford University Press. 427 p.
55. Zúñiga Kaufmann, KHAJ. 2002. El control de ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en café (*Coffea arabica*): experiencias en el oriente de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 34 p.

## 12 ANEXOS

Anexo 1. Índice de dispersión de Morisita y Lloyd, proveniente del análisis de datos obtenidos de los 5 tratamientos evaluados en Finca Soledad Acatenango Guatemala, 2009.

21 Abril de 2009			
	Morisita	Lloyd	
Caldo de lombricompost	1.03	1.06	Agregado
<i>Bacillus</i> sp. alternado con <i>Trichoderma harzianum</i>	0.99	0.99	Uniforme
Pyraclostrobin + epoxiconazole	1.02	1.03	Agregado
Caldo Viçosa	0.99	0.98	Uniforme
Testigo	0.97	0.97	Uniforme
12 Agosto de 2009			
Caldo de lombricompost	1.01	1.01	Agregado
<i>Bacillus</i> sp. alternado con <i>Trichoderma harzianum</i>	1.00	1.01	Agregado
Pyraclostrobin + epoxiconazole	0.97	0.97	Uniforme
Caldo Viçosa	1.00	1.01	Agregado
Testigo	1.00	1.00	Uniforme
03 Diciembre 2009			
Caldo de lombricompost	1.01	1.01	Agregado
<i>Bacillus</i> sp. alternado con <i>Trichoderma harzianum</i>	0.99	0.99	Uniforme
Pyraclostrobin + epoxiconazole	0.97	0.97	Uniforme
Caldo Viçosa	1.00	1.00	Uniforme
Testigo	1.00	1.00	Agregado

Anexo 2. Modelos determinados mediante el programa SAS (Statistical Analysis System), en la distribución temporal de la *M. citricolor*, en Finca La Soledad, Acatenango, Chimaltenango, 2009.

MODELO	R-Square	Root MSE
GOMPERTZ	0.828	0.87
LOGARITMICO	0.909	0.27
LOGISTICO	0.894	0.83
MONOMOLECULAR	0.748	0.9
LINEAR	0.943	0.08

**Anexo 3. Datos de Total de hojas por bandola, total de hojas con Mycena citricolor, total de hojas con infecciones primarias y total de hojas nuevas, Finca La Soledad, Acatenango, Guatemala.**

Parcela	Variable/fecha	07-may	12-may	04-jun	18-jun	21-jul	12-ago	23-sep
1	total de hojas/bandola	326	314	471	437	431	393	284
	Total de hojas Mycena	19	18	29	50	106	63	102
	Total de hojas con IP			13	20	0	0	0
2	Total de hojas nuevas			176	159	141	91	71
	total de hojas/bandola	273	286	274	408	261	305	252
	Total de hojas Mycena	36	31	41	39	111	76	136
3	Total de hojas con IP			19	25	0	0	0
	Total de hojas nuevas			73	160	74	111	55
	total de hojas/bandola	281	419	424	439	523	500	475
4	Total de hojas Mycena	21	16	10	28	106	26	50
	Total de hojas con IP			2	9	0	0	0
	Total de hojas nuevas			179	171	139	112	145
5	total de hojas/bandola	306	321	367	360	319	387	305
	Total de hojas Mycena	34	38	26	35	112	31	66
	Total de hojas con IP			5	6	0	0	0
5	Total de hojas nuevas			107	100	49	72	81
	total de hojas/bandola	278	326	355	359	344	321	332
	Total de hojas Mycena	25	36	25	66	143	103	136
5	Total de hojas con IP			6	33	0	0	0
	Total de hojas nuevas			105	119	95	85	67

## Anexo 4. Datos de lesiones por hoja, fructificación por hoja, Finca La Soledad, Acatenango, Guatemala.

parcela	Valores	Fecha									
		12/05/2009	04/06/2009	18/06/2009	21/07/2009	12/08/2010	17/10/2010	03/12/2010			
1	No Lesiones/hoja fructificación/hoja	5.24 31.56	4.52 27.04	11.80 18.12	6.40 10.00	7.32 23.84	10.04 32.76	10.40 5.80			
2	No Lesiones/hoja fructificación/hoja	6.40 24.00	2.52 28.00	10.00 39.28	7.12 1.76	9.60 19.24	12.48 36.08	13.24 9.96			
3	No Lesiones/hoja fructificación/hoja	5.64 12.16	3.56 16.52	6.08 36.92	2.76 0.00	3.24 11.04	7.48 37.72	5.64 0.20			
4	No Lesiones/hoja fructificación/hoja	3.32 6.72	4.08 13.80	8.04 39.48	5.16 1.00	3.08 6.08	8.20 24.48	8.20 0.40			
5	No Lesiones/hoja fructificación/hoja	6.40 28.60	4.16 24.60	7.64 42.40	11.00 3.76	8.08 21.56	14.40 40.36	11.96 0.76			