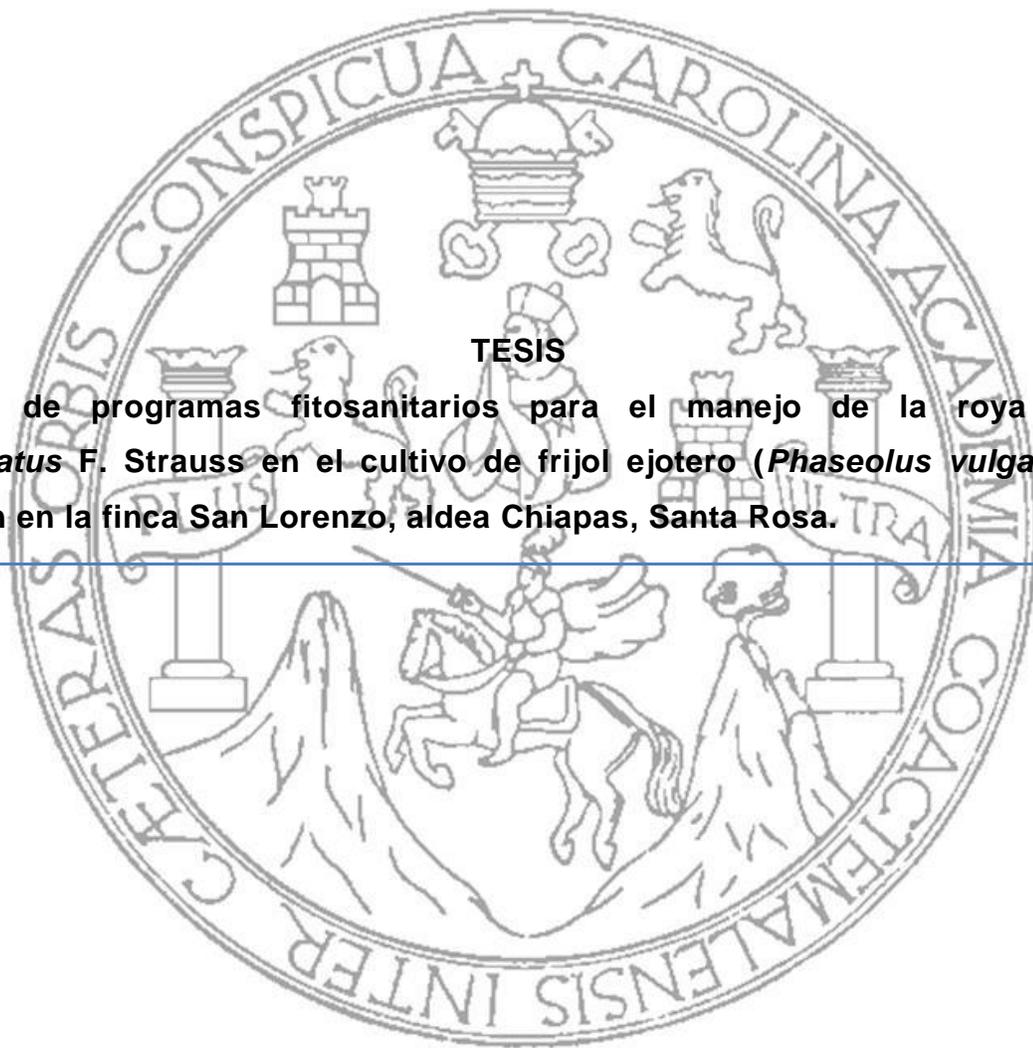


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS



TESIS

Evaluación de programas fitosanitarios para el manejo de la roya *Uromyces appendiculatus* F. Strauss en el cultivo de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) para exportación en la finca San Lorenzo, aldea Chiapas, Santa Rosa.

RAÚL ANDRÉS CÓRDOVA MARTÍNEZ

GUATEMALA ABRIL DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

Evaluación de programas fitosanitarios para el manejo de la roya *Uromyces appendiculatus* F. Strauss en el cultivo de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) para exportación en la finca San Lorenzo, aldea Chiapas, Santa Rosa.

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

POR
RAÚL ANDRÉS CÓRDOVA MARTÍNEZ

En el acto de investidura como
INGENIERO AGRÓNOMO
EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

Guatemala abril de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO DE AGRONOMÍA

RECTOR

DR. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CERZO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO EN FUNCIONES	Dr.	Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL PRIMERO	Dr.	Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. M.Sc.	Cesar Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO	Ing. Agr.	Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	P. Agr.	Josué Benjamín Boche López
VOCAL QUINTO	Br.	Sergio Alexander Soto Estrada
SECRETARIO	Dr.	Mynor Raúl Otzoy Rosales

GUATEMALA, ABRIL DE 2015

Guatemala, abril de 2015

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

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas 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 programas fitosanitarios para el manejo de la roya *Uromyces appendiculatus* F. Strauss en el cultivo de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) para exportación en la finca San Lorenzo, aldea Chiapas, Santa Rosa.”

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola. En el grado académico de licenciado.

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

Atentamente,

RAÚL ANDRÉS CÓRDOVA MARTÍNEZ

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Agradecimientos

A:

Mi Asesor y amigo

Dr. Edin Orozco, por su apoyo inigualable, amistad sincera, su paciencia y su aporte de conocimiento. Gracias por tomarme en cuenta y cumplir el deseo de hacer mi tesis con su persona.

FAUSAC

Mi casa de estudios, por todas las lecciones aprendidas. Por abrir tus puertas y hacerme un profesional competitivo.

Sub-área de Ciencias Químicas

Por mi primer empleo, gracias por la experiencia. En especial a mi mentor Ing. Pedro Armira Atz, y a mi amigo Sr. Gustavo Jacinto. Por su gran apoyo y consejo.

Finca San Lorenzo

Por permitirme realizar mi investigación de tesis, en especial a Manuel del Cid.

Evaluadores

Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez e Ing Agr. Juan Herrera

Contenido

RESUMEN	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1 Marco conceptual	3
3.1.1 Variedades de frijol ejotero cultivadas en Guatemala	3
3.1.2 Patógeno.....	6
3.1.4 Fungicidas y su clasificación.....	10
3.1.3 Control de roya	13
3.2 Marco referencial	14
3.2.1 Localización	14
3.2.2 Clima.....	14
3.2.3 Suelo.....	15
3.2.4 Plagas	16
3.2.5 Producción	16
4. OBJETIVOS.....	17
4.1 Objetivo general.....	17
4.2 Objetivos específicos.....	17
5. HIPÓTESIS.....	17
6. METODOLOGÍA	18
6.1 Programas fitosanitarios	18
6.2 Estudio de la fenología del frijol	20
6.3 Diseño experimental	18
6.3.1 Unidad experimental.....	18
6.4 Variables de respuesta	22
6.4.1 Incidencia de roya	22
6.4.2 Severidad de la roya.....	22
6.4.3 Rendimiento de ejote.....	22
6.5 Análisis de la información.....	22

7	RESULTADOS.....	23
7.1	Desarrollo fenológico del frijol ejotero variedad Claudine	23
7.2	Clima.....	25
7.3	Incidencia de la roya del frijol ejotero.....	27
7.5	Análisis de varianza para la variable rendimiento de ejote	29
7.6	Análisis económico de los programas fitosanitarios	30
8	CONCLUSIONES	32
9	RECOMENDACIONES	32
10	BIBLIOGRAFÍA	33
11	ANEXOS.....	36
	Figura 1 Ejote francés variedad Dynasty.....	3
	Figura 2 Ejote francés variedad 4x4	3
	Figura 3 Ejote francés variedad Blue Lake.....	3
	Figura 4 Ejote francés variedad Claudine	4
	Figura 5 Síntomas de roya en frijol ejotero variedad Claudine	6
	Figura 6 Ciclo biológico del hongo <i>Uromyces appendiculatus</i> (CIAT 1980).....	7
	Figura 7 Uredosporas de <i>Uromyces appendiculatus</i>	8
	Figura 8 Temperatura mínima, media y máxima en °C de Santa Rosa	14
	Figura 9 Clima 2000-2010 de Santa Rosa	15
	Figura 10 Mosaico dorado amarillo	16
	Figura 11 Galerías de <i>Liriomyza</i> sp.....	16
	Figura 12 Maleza <i>Amaranthus</i> sp.....	16
	Figura 13 Condiciones climáticas, febrero - abril 2013, en finca San Lázaro	25
	Figura 14 Clima 2013.....	26
	Figura 15 Planta en etapa V3 con mojado foliar 27/02/13.....	27
	Figura 16 Escala diagramática para medición de severidad de roya en frijol.....	28
	Figura 17 Severidad de roya en los programas evaluados	28
	Figura 28 Rendimiento promedio por programa fitosanitario	30

Cuadro 1	Fenología de la planta de frijol común	5
Cuadro 2	Distribución porcentual de azúcar dentro de los órganos de las plantas	9
Cuadro 3	Sitios de acción de los fungicidas sistémicos	12
Cuadro 4	Comparación entre fungicidas sistémicos y de contacto	13
Cuadro 5	Análisis de suelo	15
Cuadro 6	Programas fitosanitarios evaluados para el control de roya	19
Cuadro 7	Programa fitosanitario tradicional del agricultor	20
Cuadro 8	Actividades de los programas fitosanitarios y estudio fenológico del frijol.....	20
Cuadro 9	Fungicidas aplicados por programa fitosanitario y dosis de aplicación.....	21
Cuadro 10	Escala para la medición de severidad de roya en frijol.....	22
Cuadro 11	Características físicas y desarrollo del frijol ejotero variedad Claudine..	23
Cuadro 12.	Desarrollo fenológico del frijol ejotero variedad Claudine.	24
Cuadro 13	Horas diarias con temperatura mayor a 15°C y HR de 80%.....	26
Cuadro 14	Incidencia de roya en los programas evaluados.....	27
Cuadro 15	Análisis de varianza para el rendimiento de ejote por hectárea	29
Cuadro 16	Costo por programa fitosanitario	31

RESUMEN

El cultivo de frijol ejotero es importante en la economía guatemalteca, por ingreso de divisas y mano de obra en sus diferentes prácticas culturales. El frijol ejotero disminuye su rendimiento al ser afectado por la enfermedad de la roya del frijol, enfermedad provocada por el patógeno *Uromyces appendiculatus*. El presente estudio fue realizado, para el control de roya, en la finca exportadora San Lorenzo, ubicada en la aldea Chiapas, del municipio de Nueva Santa Rosa. Se realizó durante el periodo de febrero a abril del 2013, enfocándose en el manejo químico de la roya. Se utilizó la variedad de frijol ejotero Claudine debido a su calidad de producción de ejote, y es utilizada comúnmente para exportación. Sin embargo, esta variedad es susceptible a roya del frijol.

Fueron evaluados 6 programas fitosanitarios. Se utilizó como testigo relativo el programa tradicional de la finca San Lorenzo. En los programas se incluyeron fungicidas sistémicos y de contacto. Las aplicaciones se realizaron a los 20, 30 y 40 días después de la siembra. Durante la época de estudio la temperatura osciló entre valores de 20°C a 24°C durante 20 horas al día y la humedad relativa con valores mayores a 80% durante 12 horas. Los programas fitosanitarios fueron efectivos. La incidencia de roya en las plantas, donde se aplicaron los programas evaluados fue baja. No existió diferencia significativa para la variable rendimiento de ejote para los programas evaluados. Sin embargo, los 5 programas de manejo de roya propuestos, permiten bajar los costos de aplicación con respecto al programa tradicional de la finca. El programa fitosanitario con menor costo, consistió en el uso de pyraclostrobin, difenoconazol y azoxistrobina en mezcla con chlorothalonil, aplicados a los 20, 30, y 40 días después de siembra en su orden. Dicho programa redujo el 72% del costo con respecto al programa testigo. Se recomendó implementar este nuevo programa al manejo de roya en la producción de frijol ejotero. Con el cuidado de no iniciar aplicaciones tempranas por sus efectos fitotóxicos específicamente del triazol.

1. INTRODUCCIÓN

La finca San Lorenzo está ubicada en la aldea Chiapas del departamento de Santa Rosa a 1100m de altitud. Ahí se produce frijol ejotero de exportación. El cultivo presenta algunas enfermedades propias de la zona, pero la principal enfermedad para el periodo 2012-2013 fue la de la roya del frijol.

Las condiciones climáticas del lugar presentan: humedad relativa promedio de 81%, temperatura media de 23°C y precipitación media de 1679mm según INSIVUMEH. Estos factores favorecen al desarrollo de *Uromyces appendiculatus*, patógeno causante de la enfermedad de la roya del frijol.

El principal enfoque de control de *U. appendiculatus* en la finca es hacer un manejo químico del patógeno. Para esto se realizan aplicaciones de distintos fungicidas de contacto y sistémicos basados en recomendaciones por agroexportadores. Esta enfermedad afecta todo el ciclo del cultivo, disminuye la producción y calidad. Estos factores ponen en riesgo el mercado del producto ya que la exportación exige producto de alta calidad.

La presente investigación estuvo orientada a evaluar programas de manejo fitosanitario, estudiar la biología del patógeno que ocasiona la roya, caracterizar la fenología de la planta y brindar recomendaciones de manejo de la enfermedad.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Dentro de las principales enfermedades que afectan el cultivo de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris*) en el departamento de Santa Rosa se menciona la roya ocasionada por el patógeno *Uromyces appendiculatus*.

Dicha enfermedad inicia con la dispersión del inóculo primario, esporas que germinan en las hojas del hospedero, en las cuales producen pequeños puntos amarillentos que posteriormente se tornan color de óxido. Tales estructuras del patógeno son denominados soros.

Para el desarrollo de los soros el patógeno utiliza los azúcares producidos por el hospedero, por lo que este es incapaz de enviar los azúcares a las zonas de crecimiento donde son necesitadas, la planta disminuye su desarrollo y por consiguiente su producción. Además la fotosíntesis en las hojas enfermas disminuye debido a la disgregación de los tilacoides de los cloroplastos producida por algunas penetraciones del micelio del patógeno lo cual garantiza otro factor que disminuye la producción de ejote.

En la finca San Lorenzo existe humedad relativa favorable al desarrollo del patógeno, viento que dispersa las esporas del hongo y temperaturas adecuadas para la enfermedad. Estos factores favorecen el crecimiento de la roya. Por lo que lo más práctico es el control químico, dado que incide directamente sobre el hongo y garantiza la calidad y producción del ejote de la enfermedad. Para el área en mención no se han realizado investigaciones relacionadas a este patosistema.

En términos de producción agrícola esta enfermedad produce pérdidas mayores al 25%. Para el año 2013 se reportaron casos en los que infectó las vainas del frijol lo que puede aumentar las pérdidas, no obstante en el lugar donde se realizó el estudio no se observaron casos de tal magnitud.

El frijol ejotero es un producto de exportación de importancia económica, genera el ingreso de divisas y mano de obra. El control de la roya del frijol asegura la calidad del producto y por consiguiente su consumo en los mercados internacionales.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Marco conceptual

A continuación se presentan los conceptos que son necesarios para realizar la investigación.

3.1.1 Variedades de frijol ejotero cultivadas en Guatemala

Ejote francés variedad Dynasty: ejote fino de 12 a 15cm de largo, de 7 a 8 mm de diámetro, color verde oscuro figura 1, su altura de siembra es de 850 a 2,000 metros, días a primeras flores 45 a 50, días a primer corte 55 a 65, semanas de corte 4 a 6, con un rendimiento de 11,600-13,600 Kg de ejote por hectárea (Agrosemillas, 2014).



Figura 1. Ejote francés Dynasty

Ejote francés variedad 4x4: planta robusta erecta con buen follaje que protege las vainas contra quemaduras. Vainas solidas, uniformes en diámetro y longitud, excelente color, verde intermedio, de 10-15 cm de largo, para ejote fino y hasta 18 cm para congelado diámetro 7-8 mm figura 2, semanas de corte 3-4, (concentrados) dos a tres cortes por semana, según temperaturas. Su rendimiento es de 11,700-15,000 Kg de ejote por hectárea (Agrosemillas, 2014).



Figura 2. Ejote francés 4x4

Ejote francés variedad blue lake: primer corte a los 55 a 60 días después de la siembra, vaina verde oscuro, largo de 14-18 cm y de 8-9 mm de diámetro figura 3, rendimiento de 19,500-22,700Kg de ejote por hectárea (Agrosemillas, 2014).



Figura 3. Ejote francés Blue Lake

Ejote francés variedad Claudine: no produce guías ni zarcillos, comúnmente es denominada “arbolito”. Su altura promedio es de 50cm, posee hojas trifoliadas cuyos peciolo presentan 15° de inclinación, lo que permite una correcta captación de luz solar. La variedad Claudine inicia su etapa de floración a los 45 días después de la siembra, las vainas presentan longitudes entre 8-12 cm y diámetro entre 4-7 mm figura 4, el cultivo responde bien en temperaturas de 17-28°C y altitud entre 850-1600m, su rendimiento es de 11,600-13,000 Kg de ejote por hectárea según Solís (2013).



Figura 4. Ejote francés Claudine

3.1.1.1 Fenología de la planta de frijol común

El crecimiento del cultivo es un factor importante en el control de las enfermedades. Conocer el desarrollo presenta una útil herramienta que puede determinar la etapa del cultivo en que la planta es susceptible al ataque de un patógeno en especial, y así tomar decisiones en cuanto al manejo del cultivo ya sea de manera preventiva o curativa. Según ICTA (1984) “las pérdidas en rendimiento son mayores cuando las plantas son infectadas durante los periodos de prefloración a floración”.

El desarrollo fenológico de un cultivo depende del ambiente y el genotipo de éste. Por lo que, la variación ambiental ocupa una gran parte del desarrollo del cultivo. En el CIAT (1987) se explica que, una escala de desarrollo de un cultivo fundamentada en los días después de la siembra no es válida. Debido a las variaciones ambientales y el manejo, un cultivo que presenta el mismo genotipo puede presentar diferentes etapas de desarrollo en un momento determinado. Por esta razón se debe usar una escala que dependa de las etapas fenológicas del cultivo. En el cuadro 1 se presentan las etapas de desarrollo fenológico del frijol, esta escala fue tomada como base y adaptada a las condiciones de la aldea Chiapas, Santa Rosa.

Cuadro 1. Fenología de la planta de frijol común

	Etapa	Descripción	
Vegetativa	V0	Germinación: absorción de agua por la semilla; emergencia de la radícula y su transformación en raíz primaria.	Cada etapa comienza cuando el 50% de las plantas muestran las condiciones que corresponden a la descripción de la etapa.
	V1	Emergencia: los cotiledones aparecen al nivel del suelo y empiezan a separarse. El epicótilo comienza su desarrollo.	
	V2	Hojas primarias: hojas primarias totalmente abiertas.	
	V3	Primera hoja trifoliada: se abre la primera hoja trifoliada y aparece la segunda hoja trifoliada.	
	V4	Tercera hoja trifoliada: se abre la tercera hoja trifoliada y las yemas de los nudos inferiores producen ramas.	
Reproductiva	R5	Prefloración: aparece el primer botón floral o el primer racimo. Los botones florales de las variedades determinadas se forman en el último nudo del tallo o de la rama.	
	R6	Floración: se abre la primera flor.	
	R7	Formación de las vainas: aparece la primera vaina que mide más de 2.5 cm de longitud.	
	R8	Llenado de vainas: comienza a llenarse la primera vaina (crecimiento de la semilla). Al final de la etapa, las semillas pierden su color verde y comienzan a mostrar las características de la variedad. Se inicia la defoliación.	
	R9	Madurez fisiológica: las vainas pierden su pigmentación y comienzan a secarse. Las semillas desarrollan el color típico de la variedad.	

Esta escala fue tomada como base y adaptada a frijol ejotero fuente (Fernández, 1986)

3.1.1.2 *Phaseolus vulgaris* L.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Sub-Clase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Género	<i>Phaseolus</i>
Especie	<i>P. Vulgaris</i> L.

3.1.2 Patógeno

3.1.2.1 *Uromyces appendiculatus* F. Strauss

Taxonomía según Yoshii (1978).

Reino	Fungi
Phylum	Basidiomycota
Sub-Phylum	Pucciniomycotina
Clase	Pucciniomycetes
Orden	Pucciniales
Familia	Pucciniaceae
Género	<i>Uromyces</i>
Especie	<i>U. appendiculatus</i> F. Strauss

A. Sintomatología de la roya del frijol

El hongo ataca principalmente las hojas del frijol, aunque también ataca las vainas y en ocasiones los tallos y las ramas (Polanco Moll, 2009).

Generalmente las infecciones de la roya se manifiestan en el envés de las hojas de frijol, estas infecciones se caracterizan por pequeños puntos amarillentos, que al crecer forman pequeñas elevaciones. Dichas elevaciones denominadas soros traspasan los dos lados de la hoja a los pocos días. Al madurar poseen apariencia de óxido, son de tamaño variable y pueden estar cercadas por un color amarillento CIAT (1980). En la figura 5, se presenta una fotografía de una hoja de frijol ejotero con síntomas de roya tomada en Santa Rosa.



Figura 5. Síntomas de roya en frijol ejotero variedad Claudine Aldea Chiapas, Santa Rosa 11/01/2013.

B. Biología de *Uromyces appendiculatus*

El ciclo del hongo consta de un ciclo primario y uno secundario, figura 6.

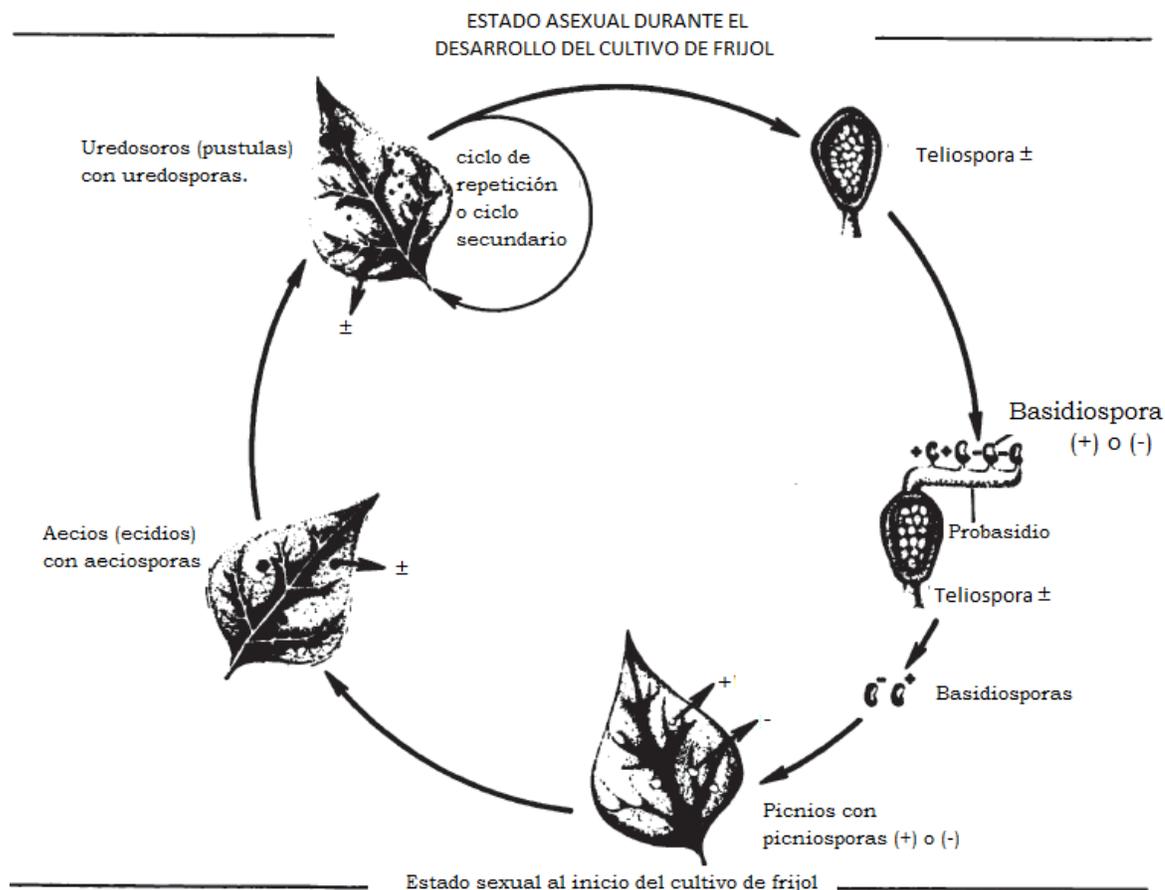


Figura 6. Ciclo biológico del hongo *Uromyces appendiculatus* CIAT (1980)

Ciclo primario: teliosporas que invaden el tejido de las hojas germinan produciendo un probasidio en el cual se originan cuatro esporidias (basidiosporas), dos positivas y dos negativas sexualmente, las cuales llevadas por el viento germinan en las hojas tiernas del frijol y forman los picnios infectando las hojas. Un picnio (+) necesita ser fertilizado con una picniospora (-), al ser fecundado el picnio, su micelio crece atravesando la hoja para desarrollar los aecios en el envés de la hoja, estos últimos tienen forma de copa y producen aeciosporas. Las aeciosporas a su vez germinan dando lugar a cuerpos fructíferos denominados soros en los cuales se forman uredosporas este último es el estado más conocido de la enfermedad (CIAT, 1980).

Ciclo secundario: las uredosporas diseminadas por el viento, caen sobre otras hojas e inician nuevas infecciones con la producción de más soros con uredosporas. Posteriormente inicia la formación de teliosporas en las telias, con lo cual finaliza el ciclo secundario CIAT (1980). En la figura 7 pueden apreciarse las uredosporas del hongo.

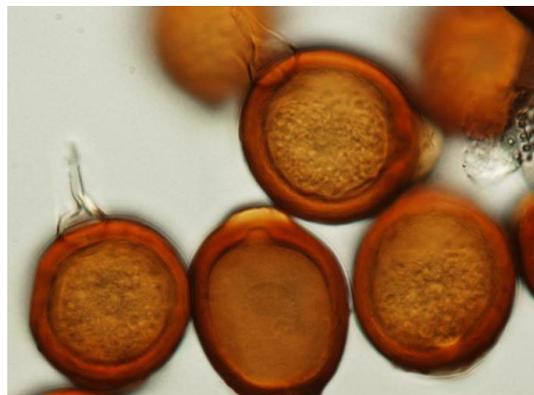


Figura 7. Uredosporas de *Uromyces appendiculatus* F. Strauss, Watt (2012).

El patógeno *U. appendiculatus* penetra en las hojas del hospedero por los estomas. Sarasola (1975) sugiere que dicha penetración surge cuando los estomas se encuentran abiertos. Corden (1962) confirma el pensamiento de Sarasola, al hacer experimentos inoculando plantas de frijol con *U. appendiculatus*. Sus experimentos consistían en aplicaciones de $5 \cdot 10^{-3}M$ de ácido α -hidroxidecano sulfónico, compuesto que cierra los estomas del frijol. Este experimento redujo el número de pústulas, se observó en el testigo un promedio de 391 pústulas/10cm² y un promedio en las plantas tratadas con ácido α -hidroxidecano sulfónico de 2.2 pústulas/10cm².

Posteriormente a la penetración estomática de las esporas, estas tardan alrededor de 8 días en su germinación. Para esto la espora debe tener largos periodos de humedad relativa >80% y temperaturas de 17-27°C Sarasola (1975). Otra opinión acerca del tiempo de germinación de las esporas es la de Smith (1988), quien expone que las esporas de la roya necesitan 6-8 horas con la superficie de la planta mojada y temperaturas de 17-23°C para su germinación.

El patógeno *U. appendiculatus* es un patógeno macrocíclico, autoico y biotrofo. Éste organismo patógeno toma los azúcares de la planta para su desarrollo, impidiendo que el hospedero pueda enviar los azúcares a las zonas de crecimiento y producción donde son necesitadas. Según Arauz (1998), los azúcares se concentran en un 97.9% en las hojas

enfermas del frijol. El cuadro 2 presenta la división porcentual de los azúcares dentro de una planta sana y una planta enferma.

Cuadro 2. Distribución porcentual de los azúcares dentro de los órganos de las plantas

	Tejido foliar sano	Tejido foliar enfermo
meristemos aéreos	5.7%	0.7%
tallo	13.0%	0.4%
raíz	31.0%	1.05%
hojas	50.3%	97.9%

Fuente: Arauz (1998).

Debido a la toma de carbohidratos de parte de los patógenos, el transporte vía floema se ve alterado, puesto que el floema deja de conducir carbohidratos a los meristemos aéreos, el tallo, la raíz y hojas como se observa en el cuadro 2. Arauz (1998), explica que: “la magnitud de esta alteración depende de la severidad de la enfermedad y el momento de la infección, puesto que, las relaciones fuente-sumidero cambian según la fenología de la planta” (transporte vía floema, de las hojas a meristemos, tallo y raíz). “el impacto de una enfermedad foliar sobre la producción es menor si ya se han acumulado suficientes reservas de carbohidrato en el tallo, que si la enfermedad se desarrolla antes de esta acumulación”

C. Epidemiología de *Uromyces appendiculatus* F. Strauss

Según Polanco Moll (2009), son mayores las probabilidades de que se presente una infección del hongo que causa la roya en localidades donde una alta humedad (>80%), persiste durante 8 a 10 horas. En zonas secas la infección rara vez ocurre. Según CIAT (1987), la temperatura que permite el desarrollo de este hongo se encuentra entre 17–27°C. La temperatura mayor de 32°C puede destruir el patógeno y menor de 15°C retarda su desarrollo. Por otra parte en el ICTA (1984), se expone que los periodos prolongados de 10-18 horas con humedades relativas mayores a 95% y temperatura entre los 17-25°C son las condiciones favorables para el patógeno de *U. appendiculatus*.

La producción de esporas aumenta cuando la planta enferma es expuesta a condiciones de alta humedad y existen fotoperiodos de 12 horas llegando a cifras de 106

uredosporas/cm². “La liberación de esporas se lleva a cabo en días templados con temperaturas mayores a 21°C y humedad relativa menor a 60%”(ICTA, 1984).

A los 10-12 días después de iniciada la infección el patógeno llega al tamaño necesario para romper la epidermis, mostrando los síntomas característicos de la enfermedad. El ciclo completo dura de 10-15 días al final de los cuales las esporas son diseminadas por: el viento, insectos e implementos agrícolas (ICTA, 1984).

Las uredosporas pueden sobrevivir bajo condiciones favorables de campo aproximadamente 60 días. Algunas veces la incidencia de roya es menor en monocultivos de frijol que en asociaciones con maíz esta diferencia posiblemente está determinada por la mayor humedad relativa al asocio frijol-maíz (CIAT, 1980).

D. Razas de *Uromyces appendiculatus* reportadas en Guatemala

En el altiplano de Guatemala se encuentra la raza 10 según Vargas (1972). En el sur oriente y el altiplano también se encuentra la raza 28 y razas brasileñas: FM 2, 3, 6, 10 y 11 (Yoshii, 1978).

E. Diseminación de *Uromyces appendiculatus*

Puede ser diseminado a distancias cortas por accesorios agrícolas, insectos y animales vertebrados; a grandes distancias el principal agente diseminador es el viento. El hongo no es transmitido por semilla (Bergamin Filho, 1997).

F. Hospederos alternos

Según Polanco Moll (2009), han sido encontrados susceptibles a la roya del frijol diferentes especies de *Phaseolus* como *P. multiflorus*, *P. polystachyus* y *P. sinuatus*.

3.1.4 Fungicidas y su clasificación

Fungicidas son sustancias químicas que se emplean para impedir el crecimiento o eliminar los hongos perjudiciales para las plantas. Estos deben ser solamente fungitóxicos y de ninguna manera fitotóxicos y tener una buena estabilidad ante diferentes condiciones climáticas (Siqueira, 2007).

A. Fungicidas protectores de contacto

Son efectivos en su totalidad, solo deben ser aplicados antes de la penetración del patógeno en los tejidos del hospedero. Estos productos al ser aplicados garantizan protección solamente contra las infecciones en el lugar de la aplicación. También son denominados protectores de superficie o residuales, este tipo de fungicidas, una vez aplicados en las partes aéreas de las plantas forman una barrera tóxica protectora. De esta forma cuando las esporas son depositadas en los tejidos susceptibles y germinan, el ingrediente activo entra en contacto con el tubo germinativo a través de numerosos mecanismos bioquímicos causando la muerte al protoplasma Kimati (1997). La protección de las plantas es efectiva cuando la pulverización del compuesto provee una correcta protección a las partes susceptibles de las plantas Zambolim (1997), además la eficiencia depende también de la toxicidad del ingrediente activo, el intervalo de aplicación, el número de aplicaciones, la época de aplicación y la eficiencia del equipo de aplicación, Siqueira (2007). Una vez que los patógenos penetran a las plantas, los fungicidas de contacto ya no son eficientes en impedir la colonización del micelio en los tejidos de la planta.

a. Fungicidas protectores erradicantes

Ciertos fungicidas protectores actúan también directamente sobre el patógeno eliminándolo de la superficie de las partes de la planta siendo denominados erradicantes. El sulfato de calcio, los sulfuros, dinocap y dodine son buenos ejemplos de estos fungicidas. Los productos de este grupo, por lo menos teóricamente, curan una infección establecida en el área local de aplicación. Este tipo de fungicidas entran en contacto con la pared celular de las esporas y causan su muerte (Braga, 1993).

B. Fungicidas sistémicos

Los fungicidas sistémicos presentan movilidad en la superficie foliar y principalmente en la planta Hewitt (1998), actúan previniendo el desenvolvimiento de la enfermedad en regiones de la planta distantes a las áreas de aplicación. Para ser considerado sistémico, un fungicida debe presentar principio activo trasladable en la planta capaz de inhibir la infección del patógeno aun así se encuentre distante al área de aplicación. Permiten la recuperación de la planta.

C. Comparación entre fungicidas sistémicos y protectantes

Bajo el punto de vista de su acción un fungicida sistémico sería un fungicida mucho más exitoso que uno protectante ya que posee mayor capacidad de protección de las plantas. Los fungicidas sistémicos pueden curar, tienen menor fitotoxicidad, mayor fungitoxicidad, no se pierden en la atmósfera, tienen mayores efectos protectores, inmunizantes y erradicantes. Paradójicamente la especificidad de acción de los fungicidas sistémicos provee la posibilidad del surgimiento de poblaciones resistentes del patógeno, siendo algunos más vulnerables que otros en ese aspecto. En el cuadro 3 se presentan los sitios de acción de los fungicidas sistémicos.

Cuadro 3. Sitios de acción de los fungicidas sistémicos

Modo de acción bioquímico	Código y sitio de acción		Grupo de fungicidas	Grupo químico	Código frac
Respiración celular	C2	Inhibidor de Succinato deshidrogenasa	carboxamida	carboxin - oxycarboxin	7
			pyridine-carboxamida	boscalid	
	C3	Inhibidores de quinona externos	methoxy-acrilato	estrobilurina	11
			Methoxy-carbamato	estrobilurina	
oximino acetato	Estrobilurina				
Síntesis de lípidos y estructura de la membrana celular	F4	Ácidos grasos, Permeabilidad de la membrana celular	carbamato	propamocarb	28
Biosíntesis de esterol en la membrana celular	G1	C-14 Demetilasa	DMI	triazol	3
Desconocido	Desconocido		fosfonato	fosetyl-Al	33
Multi-sitio	Multi-sitio		cloronitrilo	chlorotalonil	M5

Fuente: FRAC (2013).

El código frac es utilizado para determinar las resistencias cruzadas entre los grupos de fungicidas, este código se basa en el sitio de acción de los fungicidas sistémicos.

En el cuadro 4 se resumen algunas características importantes de los fungicidas sistémicos y de contacto.

Cuadro 4. Comparación entre fungicidas sistémicos y de contacto

Cualidades biológicas	Tipo de fungicida	
	Sistémico	Protector de contacto
Solubilidad	ALTA	BAJA
Translocación	SI	NO
Espectro de acción	ESTRECHO	AMPLIO
Especificidad	ALTA	BAJA
Dosis	MENOR	MAYOR
Resistencia	MAYOR RIESGO	MENOR RIESGO
Adyuvantes	RARAMENTE	COMUNMENTE
Costo	ALTO	BAJO
Modo de acción	ESPECIFICO	NO ESPECIFICO
Efecto curativo	SI	NO
Fitotoxicidad	BAJA	ALTA
Penetración en tejidos de la planta	RAPIDA	NO PENETRA
Persistencia interna	SI	NO
Intervalo de aplicación	MAYOR	MENOR
Numero de aplicaciones	MENOR	MAYOR
Agente de descomposición	LUZ, HUMEDAD, TEMPERATURA	

Fuente Siqueira (2007).

3.1.3 Control de roya

El control de la roya puede realizarse mediante prácticas culturales, aplicación de productos químicos y obtención de resistencia de la planta CIAT (1980). “Un método de control es el desarrollo de variedades resistentes. La existencia de razas fisiológicas de la roya, complica el control por medio del mejoramiento genético pues las variedades no mantienen resistencia por un largo tiempo” (ICTA, 1980).

A. Control Cultural

Rotación de cultivos, debe evitarse la siembra de frijol en áreas que fueron altamente infectadas en el ciclo anterior (CIAT, 1980).

Aireación de cultivo, debe procurarse un espaciamiento ideal entre plantas y mantener esta área libre de malezas. Con este procedimiento se obtiene una adecuada aireación que impide un microclima saturado de humedad que favorezca el ataque de roya (CIAT, 1980).

Eliminación de residuos, los residuos de cosechas anteriores constituyen fuentes de inóculos de uredosporas y teliosporas.

B. Control biológico

Según Kimati (1994), las aplicaciones de *Bacillus subtilis* en concentraciones bajas disminuyen las pústulas en un 80% aproximadamente, de igual manera se reducen en un 70% con aplicaciones de *Arthrobacter* sp.

3.2 Marco referencial

3.2.1 Localización

El experimento se realizó en la aldea Chiapas del departamento de Santa Rosa, se localiza geográficamente en las coordenadas 14°26'21.59" latitud norte y 90°16'59.49" longitud oeste y altitud media de 1100 m. se inició el 08/02/2013 con la siembra de las parcelas experimentales, la cosecha fue distribuida en 5 cortes el último corte se realizó la fecha 22/04/13 con el cual tuvo finalidad la evaluación de los programas fitosanitarios.

3.2.2 Clima

El área pertenece al Bosque húmedo sub tropical templado según el mapa de zonas de vida establecido por Holdridge. Las lluvias son más frecuentes de mayo a noviembre. La biotemperatura oscila entre 20 y 26°C, los terrenos que abarca son de relieve ondulado y accidentado.

A. Temperatura

En la figura 8 se presenta el comportamiento de la temperatura para el departamento de Santa Rosa, referencia datos del INSIVUMEH estación Los Esclavos.

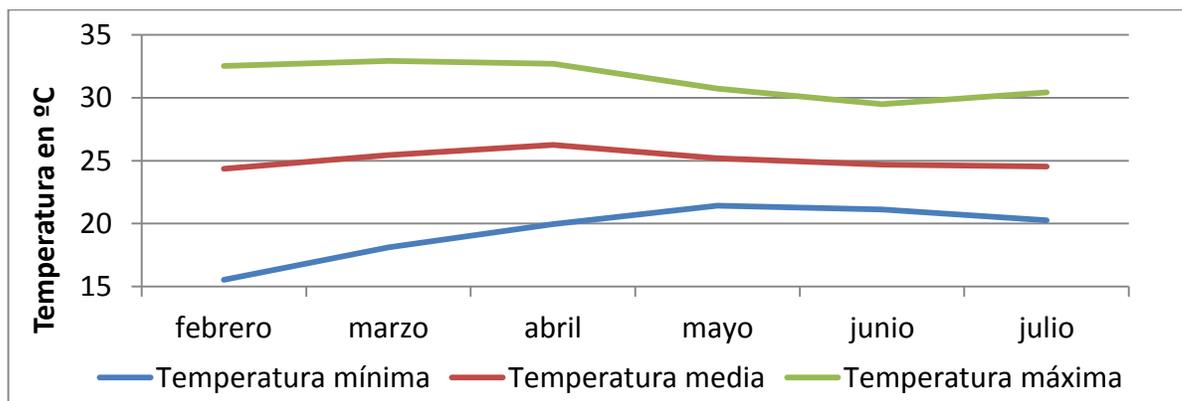


Figura 8. Temperatura mínima, media y máxima en °C de Santa Rosa para los meses de febrero a julio en los años 2000-2010. Fuente: INSIVUMEH: estación Los Esclavos

B. Precipitación y humedad relativa

En la figura 9 se presenta el comportamiento de la humedad relativa y la precipitación mensual para el departamento de Santa Rosa, utilizando como referencia datos del INSIVUMEH estación Los Esclavos.

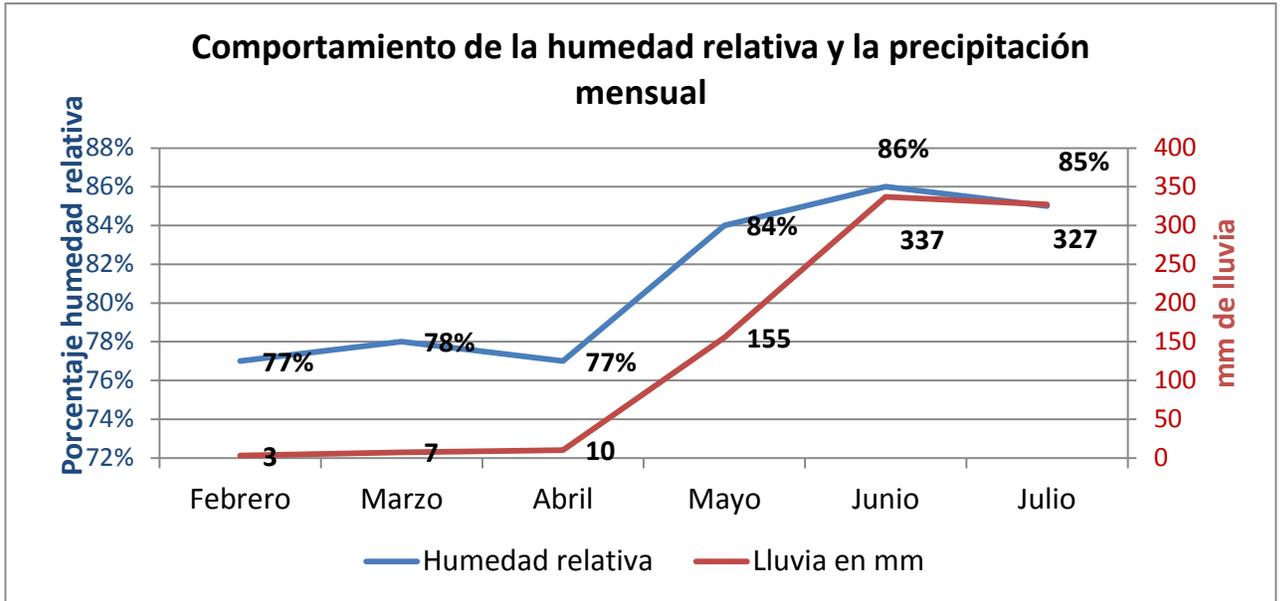


Figura 9. Humedad relativa y precipitación promedio años 2000-2010 de Santa Rosa
Fuente: INSIVUMEH estación Los Esclavos

3.2.3 Suelo

En el cuadro 5 se presentan los resultados de análisis de suelo, del área en que se realizó el experimento.

Cuadro 5. Análisis de suelo

Área	ppm						Meq/100g					%	
	pH	P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB.	M.O
I	6	3.34	1.00	1.50	13.50	10.50	17.50	8.48	2.34	0.09	0.77	66.76	3.78
II	6.2	11.65	2.00	2.00	55.00	19.50	16.25	5.99	2.34	0.10	0.95	57.75	2.42

Área	%			Clase textural
	Arcilla	Limo	Arena	
I	27.80	25.79	46.41	Franco arcillo arenoso
II	40.40	17.39	42.41	Arcilloso

Fuente: Laboratorio de suelos facultad de agronomía (2012).

3.2.4 Plagas

Mosaico dorado amarillo (BGYMV), figura 10 su existencia en el área es un indicador de la presencia de su vector mosca blanca.



Figura 10. Mosaico dorado amarillo

Minador: *Liriomyza* sp. figura 11 su principal daño es la formación de galerías entre el tejido de las hojas, lo que disminuye la capacidad de fotosíntesis.



Figura 11. Galerías de *Liriomyza* sp.

Malezas. Afectan compitiendo con el cultivo por espacio y nutrientes figura 12.



Figura 12. Izquierda maleza *Amaranthus* sp. "quemada" bajo la acción de herbicidas; derecha daño en hoja de frijol por uso de herbicidas

3.2.5 Producción y rentabilidad.

En el año 2012 la producción promedio de la finca San Lorenzo fue de 11,370 Kg de ejote por hectárea Comunicación personal (2013), el precio del kilo de ejote fue de Q7.70 la rentabilidad bruta fue de Q87,550/ha. (Agro Export, 2015)

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar programas de manejo de roya en el cultivo de frijol ejotero, aspectos relacionados a la biología del hospedero y del patógeno para las condiciones de la aldea Chiapas, Santa Rosa.

4.2 Objetivos específicos

- a) Evaluar 6 programas fitosanitarios para el control de la roya de frijol ejotero de exportación y sus respectivos costos.
- b) Estudiar la fenología del frijol ejotero bajo las condiciones climáticas de Santa Rosa.
- c) Estudiar el comportamiento del patógeno y de la roya para la variedad de frijol ejotero Claudine en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo del frijol.

5. HIPÓTESIS

Todos los programas presentarán porcentajes menores de intensidad de roya del frijol ejotero en comparación con el tratamiento testigo, además presentarán valores más altos de rendimiento.

6. METODOLOGÍA

6.1 Diseño experimental

El diseño fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El área total fue de 576 m² (19.2 m de ancho X 30 m de largo). El modelo matemático del experimento es:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij}: rendimiento de ejote en kg por parcela de 6 m².

μ: media general del rendimiento en Kg.

T_i: efecto del i-ésimo tratamiento (programa fitosanitario).

β_j: efecto del J-ésimo bloque (la gradiente de variabilidad considerada fue la dirección del viento, por la dispersión de esporas de roya. Los bloques fueron establecidos perpendiculares a la dirección de éste).

E_{ij}: error asociado a la Ij-ésima parcela experimental.

6.1.1 Unidad experimental

Cada unidad experimental obtuvo una longitud de 5 m, 1.2 m entre surcos y distanciamiento de 20 cm entre plantas. 8 surcos por parcela, los surcos fueron sembrados a doble hilera y cada unidad experimental obtuvo 200 plantas. La parcela neta consistió en 6 surcos de 3.4 m, 17 plantas por surco, con población de 102 plantas.

El ensayo fue establecido en un área con registros de alta incidencia de roya, por lo que no fue necesaria la inoculación del patógeno. El testigo relativo evaluado, fue el programa fitosanitario tradicional del agricultor. No se evaluó un testigo absoluto. El agricultor no permitió dejar áreas expuestas a roya, que involucrarán ser fuentes de inóculo para siembras posteriores.

6.2 Programas fitosanitarios

En el cuadro 6 se presentan los programas que se involucraron en el manejo de la fitoprotección con fungicidas.

Cuadro 6. Programas fitosanitarios evaluados para el control de roya en frijol ejotero

Programa 1: testigo relativo							
DDS	Fungicida	Sitio de acción	Familia	Frac CODE	Riesgo de resistencia	Aprobación EFSA	Tolerancia mg/Kg
8	Propamocarb Fosetyl-Al (Prevalor®)	F4	carbamato	28	Bajo - medio	✓	3
		N.D.	ethyl-fosfonato	33	Bajo	✓	2
14	Azoxistrobina Chlorothalonil (Amistar opti®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✓	3
		Multi-sitio	cloronitrilo	M5	Bajo	✗	5
21	Chlorothalonil (Bravo®)	Multi-sitio	cloronitrilo	M5	Bajo	✗	5
28	Difenoconazol (Score®)	G1	triazol	3	Medio	✓	1
35	Tebuconazole (Folicur®)	G1	triazol	3	Medio	✓	2
41	Pyraclostrobin Epoconazole (Opera®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✗	0.3
		G1	triazol	3	Medio	✓	0.05
49	Azoxistrobina (Amistar wg®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✓	3
56							
63							
Programa 2							
DDS	Fungicida	Sitio de acción	Familia	Frac CODE	Riesgo de resistencia	Aprobación EFSA	Tolerancia mg/Kg
20	Azoxistrobina Chlorothalonil (Amistar opti®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✓	3
		Multi-sitio	cloronitrilo	M5	Bajo	✗	5
30	Pyraclostrobin Epoconazole (Opera®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✗	0.3
		G1	triazol	3	Medio	✓	0.05
40	Azoxistrobina (Amistar wg®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✓	3
Programa 3							
DDS	Fungicida	Sitio de acción	Familia	Frac CODE	Riesgo de resistencia	Aprobación EFSA	Tolerancia mg/Kg
20	Pyraclostrobin Boscalid (Bellis®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✗	0.3
		C2	carboxamida	7	Medio	✗	3
30	Azoxistrobina Difenoconazol (Amistar top®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✓	3
		G1	triazol	3	Medio	✓	1
40	Azoxistrobina (Amistar wg®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✓	3
Programa 4							
DDS	Fungicida	Sitio de acción	Familia	Frac CODE	Riesgo de resistencia	Aprobación EFSA	Tolerancia mg/Kg
20	Azoxistrobina Difenoconazol (Amistar top®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✓	3
		G1	triazol	3	Medio	✓	1
30	Pyraclostrobin Boscalid (Bellis®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✗	0.3
		C2	carboxamida	7	Medio	✗	3
40	Azoxistrobina Chlorothalonil (Amistar opti®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✓	3
		Multi-sitio	cloronitrilo	M5	Bajo	✗	5
Programa 5							
DDS	Fungicida	Sitio de acción	Familia	Frac CODE	Riesgo de resistencia	Aprobación EFSA	Tolerancia mg/Kg
20	Boscalid (Cumora®)	C2	carboxamida	7	Medio	✗	3
30	Difenoconazol (Score®)	G1	triazol	3	Medio	✓	1
40	Azoxistrobina Chlorothalonil (Amistar opti®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✓	3
		Multi-sitio	cloronitrilo	M5	Bajo	✗	5
Programa 6							
DDS	Fungicida	Sitio de acción	Familia	Frac CODE	Riesgo de resistencia	Aprobación EFSA	Tolerancia mg/Kg
20	Pyraclostrobin (Regnum®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✗	0.3
30	Difenoconazol (Score®)	G1	triazol	3	Medio	✓	1
40	Azoxistrobina Chlorothalonil (Amistar opti®)	C3	estrobilurina	11	Alto	✓	3
		Multi-sitio	cloronitrilo	M5	Bajo	✗	5

*DDS = días después de la siembra, Pesticides (2013), FRAC (2013).

6.3 Manejo de los programas fitosanitarios

El programa 1 (testigo), fue manejado por el agricultor realizando sus aplicaciones tradicionales Cuadro 7. El tamaño de las unidades experimentales fue 24 m², las dosis señaladas en el cuadro 7, calculados para un área de 96 m², área correspondiente a las 4 repeticiones del programa. Los ingredientes activos del programa 1 se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 7. Programa fitosanitario tradicional del agricultor

Programa 1		Dosis	
Fecha	Fungicida	cc-g/Ha	cc-g/programa 96 m ² (4 unidades experimentales)
16/02/2013	Prevalor	286	2.7
22/02/2013	Amistar Opti	500	4.8
27/02/2013	Bravo	286	2.7
06/03/2013	Score	300	2.9
13/03/2013	Folicur	300	2.9
20/03/2013	Opera	500	4.8
25/03/2013	Amistar WG	200	1.9
27/03/2013	Amistar WG	200	1.9
03/04/2013	Amistar WG	200	1.9

En el cuadro 8 se presenta la información de las actividades realizadas durante el desarrollo del experimento. Según el cuadro 8, se realizaron 3 aplicaciones, durante febrero y marzo. Dichas aplicaciones fueron exclusivas para los programas 2, 3, 4, 5 y 6. Las lecturas de enfermedad se realizaron buscando síntomas de roya en las hojas del hospedero y cuantificándolas para determinar la incidencia, la severidad fue determinada con la comparación de la escala diagramática del anexo I. La evaluación fenológica se realizó en base a la escala comparativa del cuadro 1.

Cuadro 8. Actividades de los programas fitosanitarios y estudio fenológico del frijol

dds	Fecha	No. Aplicación	Lecturas de enfermedad	Evaluación fenológica
19	miércoles, 27 de febrero de 2013	1	Incidencia/severidad	X
28	viernes, 08 de marzo de 2013	2	Incidencia/severidad	X
40	miércoles, 20 de marzo de 2013	3	Incidencia/severidad	X
47	miércoles, 27 de marzo de 2013		Incidencia/severidad	X
56	viernes, 05 de abril de 2013		Incidencia/severidad	X
62	jueves, 11 de abril de 2013		Incidencia/severidad	X

*dds: días después de la siembra

Los programas propuestos tuvieron un total de 3 aplicaciones a los 20, 30 y 40 días después de la siembra. En el cuadro 9 se detallan las dosis de las aplicaciones realizadas. Las dosis señaladas en el cuadro 9 rinden para un área de 96 m², área correspondiente a las 4 repeticiones de cada programa aplicado. Los ingredientes activos de los programas fitosanitarios se encuentran en el cuadro 6.

Cuadro 9. Fungicidas aplicados por programa fitosanitario y dosis de aplicación

Aplicación 1 27/02/2013		Dosis	
Programa	Fungicida	cc-g/Ha	cc-g/programa (4 unidades experimentales)
Programa 2	Amistar Opti SC	500	4.8
Programa 3	Bellis WG	314	3.0
Programa 4	Amistar top SC	500	4.8
Programa 5	Cumora SC	250	2.4
Programa 6	Regnum EC	160	1.5
Aplicación 2 08/03/2013		Dosis	
Programa	Fungicida	cc-g/Ha	cc-g/programa (4 unidades experimentales)
Programa 2	OPERA	500	4.8
Programa 3	Amistar top SC	500	4.8
Programa 4	Bellis WG	314	3.0
Programa 5	Score EC	300	2.9
Programa 6	Score EC	300	2.9
Aplicación 3 20/03/2013		Dosis	
Programa	Fungicida	cc-g/Ha	cc-g/programa (4 unidades experimentales)
Programa 2	Amistar 50 WG	200	1.9
Programa 3	Amistar 50 WG	200	1.9
Programa 4	Amistar Opti SC	500	4.8
Programa 5	Amistar Opti SC	500	4.8
Programa 6	Amistar Opti SC	500	4.8

6.4 Estudio de la fenología del frijol

En el estudio de la fenología se estudiaron las etapas de desarrollo de la planta de frijol ejotero. Se realizaron visitas a la plantación desde la siembra, durante la etapa vegetativa (V) y reproductiva (R). Luego semanalmente se visitó el área de siembra para determinar el desarrollo fenológico de la planta del frijol, esto se hizo de acuerdo a su morfología, en base a el cuadro propuesto por el CIAT de etapas de desarrollo de la planta de frijol cuadro 1. Esto sirvió para determinar el desarrollo en días después de la siembra de los

estados vegetativos y reproductivos según las condiciones climáticas de Santa Rosa. Se tomó el 50% de la población para definir una etapa de desarrollo.

6.5 Variables de respuesta

6.5.1 Incidencia de roya

Fue tomado el número de plantas con presencia – ausencia de roya, dentro de las 100 plantas de cada unidad experimental y se expresó en porcentaje. Las lecturas de la incidencia se llevaron a cabo en intervalos de 8 días, iniciando a los 8 días después de la siembra.

6.5.2 Severidad de la roya

Se midió el daño causado por la enfermedad presentado por planta, este se hizo a través de la escala mostrada en el cuadro 10.

Cuadro 10. Escala para la medición de severidad de roya en frijol

Clase	Descripción
1 Altamente resistente	Ausencia, a simple vista, de pústulas de roya (inmune).
3 Resistente	Presencia, en la mayoría de las plantas, de solo unas pocas pústulas, por lo regular pequeñas, que cubren aproximadamente el 2% del área foliar.
5 Intermedia	Presencia, en todas las plantas, de pústulas generalmente pequeñas o intermedias que cubren aproximadamente el 5% del área foliar.
7 Susceptible	Presencia de pústulas generalmente grandes y rodeadas, con frecuencia, de halos cloróticos que cubren aproximadamente el 10% del área foliar.
9 Altamente susceptible	Presencia de pústulas grandes y muy grandes, con halos cloróticos, las cuales cubren más del 25% del tejido foliar y causan defoliación prematura.

Puede observarse la escala diagramática correspondiente anexo 1 fuente Tamayo (1995).

6.5.3 Rendimiento de ejote

Fue un dato tomado al final del ciclo del cultivo, los datos fueron expresados en términos de kg ejote/ha.

6.6 Análisis de la información

Fue realizado análisis de varianza, con el cual se analizó cada variable de respuesta (incidencia, severidad y rendimiento), de ejote francés. Debido a que no existió diferencia significativa entre los programas; no fue necesario realizar una prueba de comparación de medias.

7 RESULTADOS

7.1 Desarrollo fenológico del frijol ejotero variedad Claudine

En el cuadro 11 se resume las características observadas de la variedad de frijol ejotero Claudine bajo condiciones de la finca San Lorenzo, aldea Chiapas Santa Rosa para el periodo del 8 de febrero al 22 de abril de 2013. El intervalo de confianza al 90% para rendimiento fue de 8,036-8,595 kg de ejote por hectárea. Se considera un bajo rendimiento comparado con lo reportado por Solís (2013), quien asegura que la variedad rinde entre 11,600-13,000 Kg de ejote por hectárea. En cuanto a la floración, ésta fue en 43 días después de la siembra y de acuerdo a lo relatado por Solís (2013), la floración se lleva a cabo a los 45 DDS por lo que las condiciones del área (sección 7.2 clima, cuadro 5 suelo), son aptos para la variedad Claudine. El periodo de corte de ejote estuvo comprendido entre 56 y 75 días, en donde fueron realizados 5 cortes de ejote con los rendimientos anteriormente indicados. A partir de los 75 días el cultivo fue eliminado, debido a que el objetivo no fue producción de grano.

Cuadro 11. Características físicas y desarrollo de la variedad de frijol ejotero Claudine, en Santa Rosa, 2013.

Variable	Descripción
Altura de la planta	50 cm
Crecimiento	Tipo I (determinado)
Color de la vaina	Verde oscuro
Promedio de vainas/planta	76
Días a floración	43 días después de la siembra
Duración de la floración	20 días
Ciclo del cultivo	Cerca de 75 días, no se llevó hasta madurez fisiológica
Rendimiento promedio	8,036 a 8,595 kg ejote/ha
Días a primer corte	56
Color de flor	Blanco

En el cuadro 12 se resume el desarrollo fenológico del frijol ejotero variedad Claudine para las condiciones de la finca San Lorenzo, Aldea Chiapas Santa Rosa, febrero-abril 2013.

Cuadro 12. Desarrollo fenológico del frijol ejotero variedad Claudine, febrero-abril 2013, aldea Chiapas Santa Rosa.

Descripción	Cronología del desarrollo
<p>Etapa fenológica V2, las hojas primarias se encuentran totalmente abiertas y la planta ha perdido sus cotiledones. El meristemo apical se encuentra a 4 cm de altura, las hojas primarias buscan tener un ángulo de inclinación que asegure la mayor captación de luz. Planta con 8 días después de siembra (figura a).</p>	 <p style="text-align: right;">a</p>
<p>Etapa fenológica V3, se observó la primera hoja trifoliada. Las hojas primordiales aun se conservan sirviendo de ayuda en la fotosíntesis de la planta. El meristemo apical se encuentra a 12 cm de altura. Planta con 19 días después de la siembra (figura b).</p>	 <p style="text-align: right;">b</p>
<p>Etapa fenológica V4, la planta posee tres hojas trifoliadas. La planta ha perdido sus hojas primordiales y realiza la fotosíntesis usando solo sus hojas trifoliadas. El meristemo apical se encuentra a 18 cm de altura. Planta con 28 días después de siembra (figura c).</p>	 <p style="text-align: right;">c</p>
<p>Etapa fenológica R5, se observaron los primeros botones florales, para esta etapa en la variedad Claudine presentó en promedio 11 hojas trifoliadas con las cuales capta energía para el desarrollo de la etapa reproductiva. El meristemo apical se encuentra a 30 cm de altura. Planta con 43 días después de siembra (figura d).</p>	 <p style="text-align: right;">d</p>
<p>Etapa fenológica R7, considerada como frijol ejotero, la madurez y desarrollo de grano fueron etapas omitidas según los objetivos de éste estudio. La planta tiene un promedio de 17 hojas trifoliadas. El meristemo apical se encuentra a 37 cm de altura. Planta con 47 días después de siembra (figura e).</p>	 <p style="text-align: right;">e</p>

7.2 Clima

En la figura 13 se resumen las condiciones climáticas que se presentaron para el área de Santa Rosa de Lima, según la estación meteorológica de ANACAFE. Como puede observarse, las condiciones ambientales en la aldea Chiapas, Santa Rosa permite el desarrollo del agente patógeno *U. appendiculatus* puesto que el patógeno se desarrolla en temperaturas entre 17-27°C y humedad relativa mayor a 80% según CIAT (1987) y Polanco Moll (2009). La figura 13 contiene valores mensuales promedio, sin embargo en la figura 16 se observa que el comportamiento de la humedad relativa varió de 35% a 100% y propició microclima durante la madrugada que provocó mojado foliar por varias horas en el hospedero figura 15.

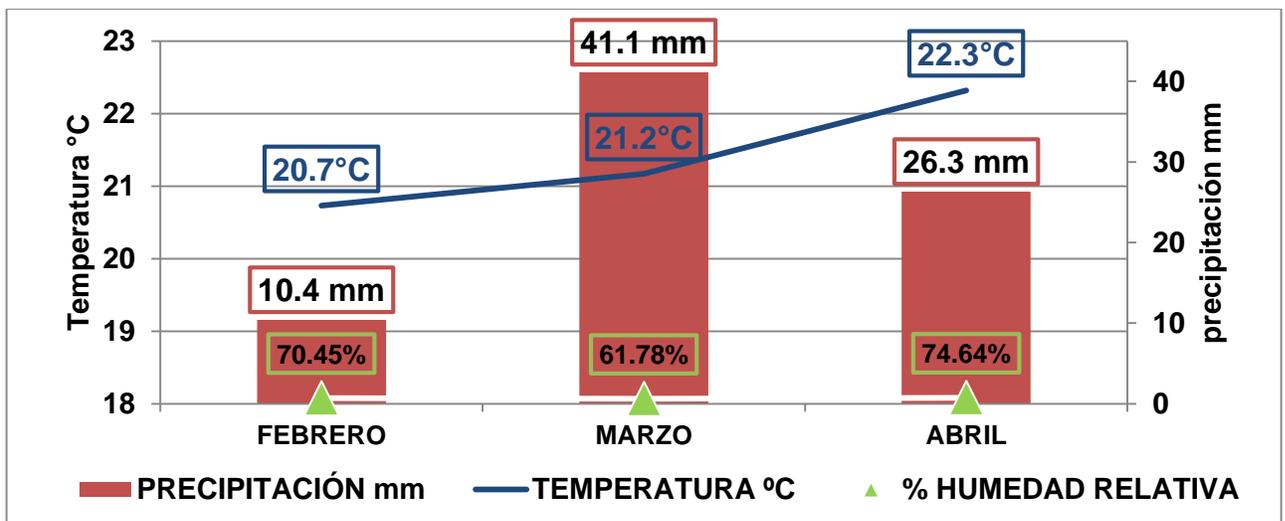


Figura 13. Condiciones climáticas, febrero - abril 2013, en finca San Lázaro
Fuente: ANACAFE Estación Santa Rosa De Lima

El comportamiento de la humedad relativa se resume en la figura 14, dicha variable se encuentra detallada por cada hora del día. Como puede observarse la humedad relativa aumentó a 80% a partir de las 18:00 horas y alcanzó el 100%, alrededor de las 7:00 horas, lo que permite el desarrollo del patógeno en las horas nocturnas, *U. appendiculatus* se desarrolla en un ambiente cuya humedad relativa es mayor a 80% de acuerdo a lo citado por Polanco Moll (2009). En el ICTA (1984) se explica que las pérdidas en rendimiento son mayores cuando el cultivo es infectado en la fase fenológica vegetativa. Dicha fase fue desarrollada en el mes de febrero, en el cual la humedad relativa promedio fue de 87% durante las horas nocturnas y 51% durante las horas diurnas; durante las horas nocturnas

la humedad fue favorable para el hongo. Además de la humedad la temperatura también aseguró condiciones favorables. En el cuadro 13 se presenta el promedio de horas diarias con temperatura mayor a 15°C y 80% de humedad relativa, óptimos para el desarrollo de *Uromyces appendiculatus*. En promedio se obtuvieron 20 horas diarias con temperatura mayor a 15°C y 12 horas con humedad relativa mayor a 80% durante la evaluación de los programas fitosanitarios. ICTA (1984) asegura que prolongados periodos (>10 horas diarias) de alta temperatura y humedad relativa favorecen al hongo que ocasiona la roya del frijol que origina la roya del frijol.



Figura 14. Comportamiento de la humedad relativa, en la estación Santa Rosa De Lima, ANACAFE 2013

Cuadro 13. Promedio de horas diarias con temperatura y humedad relativa mayor de 15°C y 80% de HR

Mes	Acumulado de horas diarias	
	TEMPERATURA > 15 °C	HUMEDAD RELATIVA > 80%
febrero	18	13
marzo	20	10
abril	24	14
Promedio	20	12

Fuente: ANACAFE Estación Santa Rosa De Lima

Según Smith (1988) las esporas de la roya necesitan 6-8 horas de mojado foliar y temperaturas de 17-23°C para su germinación; dichas condiciones favorecen el desarrollo del patógeno. Según los resultados obtenidos, puede concluirse que existieron condiciones ambientales que favorecieron el desarrollo de *U. appendiculatus*.



Figura 15. planta en etapa V3 con mojado foliar 27/02/13

7.3 Incidencia de la roya del frijol ejotero

Los valores de incidencia de roya observados fueron bajos, cuadro 14. Se cuantificó la incidencia de roya hasta el día 47 después de la siembra en todos los programas fitosanitarios. A los 56 días la incidencia de roya fue de 0.83% en el programa 2 (azoxistrobin + chlorotalonil, pyraclostrobin + epoxiconazol, azoxistrobin) y se mantuvo hasta los 62 días. Para el programa 6 (pyraclostrobin, difenoconazol, azoxistrobin + chlorotalonil) la roya presentó incidencia de 0.41% a los 62 días.

El éxito de un programa fitosanitario consiste en su efectividad de control, postergue el apareamiento de la enfermedad en el mayor tiempo posible, que sea económico, evite problemas de resistencia y no ocasione problemas en el ambiente y a los consumidores. Con el programa 2 se logró el menor tiempo de control y existe riesgo en la producción puesto que la planta inició su etapa reproductiva cuando el patógeno completó su periodo de latencia y se observaron uredosporas junto a las hojas figura 16.

Cuadro 14. Incidencia de roya en los programas evaluados

Tratamiento / días después de la siembra	% de incidencia de roya					
	19dds	28dds	40dds	47dds	56dds	62dds
Programa 1	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Programa 2	0%	0%	0%	0%	0.83%	0.83%
Programa 3	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Programa 4	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Programa 5	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Programa 6	0%	0%	0%	0%	0%	0.41%

7.4 Severidad de la roya del frijol ejotero

En la hoja de frijol de la figura 17a, se observan 6 pústulas en total. Se estima que su nivel de daño fue de 5%; según la escala diagramática de la figura 16 se clasifica como clase intermedia. Dicha hoja pertenece al programa fitosanitario 6, la severidad media de la planta fue de 1.67% valores bajos de severidad no provocaron pérdidas en rendimiento. La hoja de frijol de la figura 17b perteneciente al programa 2, presenta 19 pústulas en total. Se estima que su nivel de daño fue de 10%; según la escala diagramática de la figura 25 se clasifica como clase susceptible.

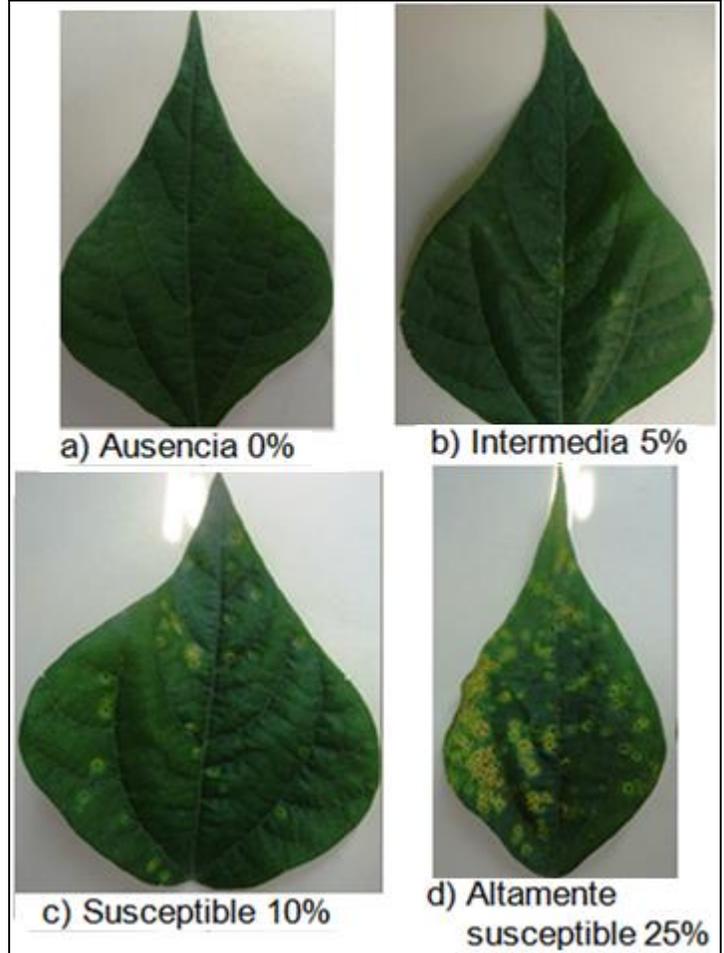


Figura 16. Escala diagramática para medición de severidad de roya en frijol, Santa Rosa 27/02/13.

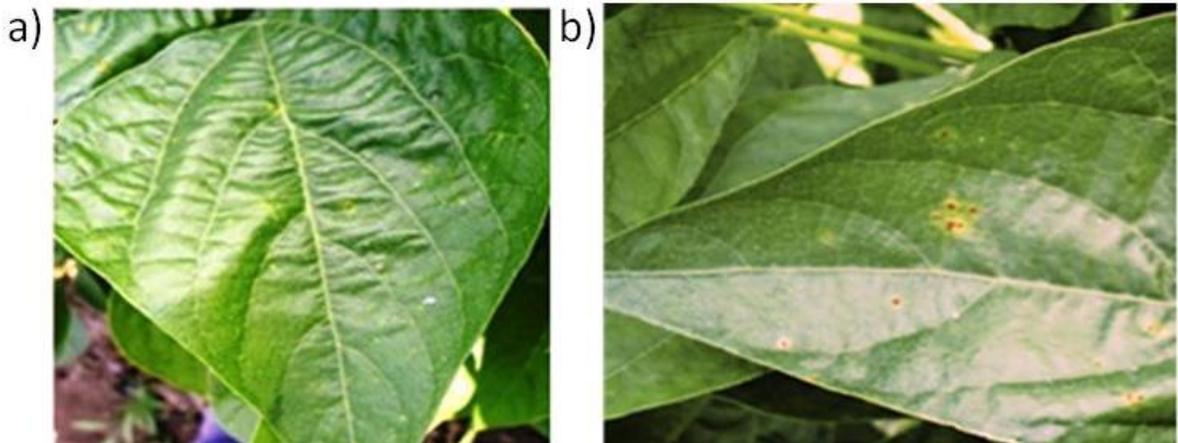


Figura 17. Severidad de roya en hojas de frijol donde fueron evaluados los programas de fungicidas

7.5 Análisis de varianza para la variable rendimiento de ejote

El cuadro 15 resume el análisis de varianza para el rendimiento de ejote según programa evaluado. El coeficiente de variación fue de 9.51%, considerado bajo. El valor de probabilidad para los bloques fue significativo ($0.0939 < 0.10$), lo cual significa que al menos uno de los bloques obtuvo un valor de rendimiento diferente a los demás. Este valor confirma que el análisis de bloques completos al azar es el más adecuado para la evaluación de los programas fitosanitarios. Por otra parte, el valor de probabilidad para la fuente de variación provocada por los programas fitosanitarios no fue significativa ($0.96 > 0.10$), por lo tanto; no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que todos los programas fitosanitarios evaluados tuvieron el mismo rendimiento de ejote por hectárea.

Debido a la efectividad de los programas fitosanitarios, no existieron pérdidas cuantificables. Por consiguiente, no existe diferencia estadística en el rendimiento reportado por los programas fitosanitarios.

Cuadro 15. Análisis de varianza para la variable rendimiento de ejote por hectárea

Hipótesis		
Ho: $t = t_i$ todos los programas producen el mismo rendimiento de ejote.		
Ha: $t \neq t_i$ al menos uno de los programas produce diferente rendimiento de ejote.		
Regla de decisión		
Rechazar Ho. Si el p-valor ≤ 0.10		
No rechazar Ho. Si el p-valor > 0.10		
Análisis de varianza		
Variable	N	C.V.
Kg/ha	24	9.51%
Fuente de variación		p-valor
Modelo		0.4329
Programa		0.9680
Bloque		0.0939

La figura 18 resume de manera gráfica el promedio de rendimiento para cada uno de los programas fitosanitarios. Los promedios se encuentran en un intervalo de 8,173 a 8,602 kg ejote/ha. Los valores de rendimiento están clasificados de manera descendente según el criterio de probabilidades de tukey, en el cual no hubo diferencia significativa en el rendimiento, por lo tanto los programas fitosanitarios fueron efectivos en el control de la roya.

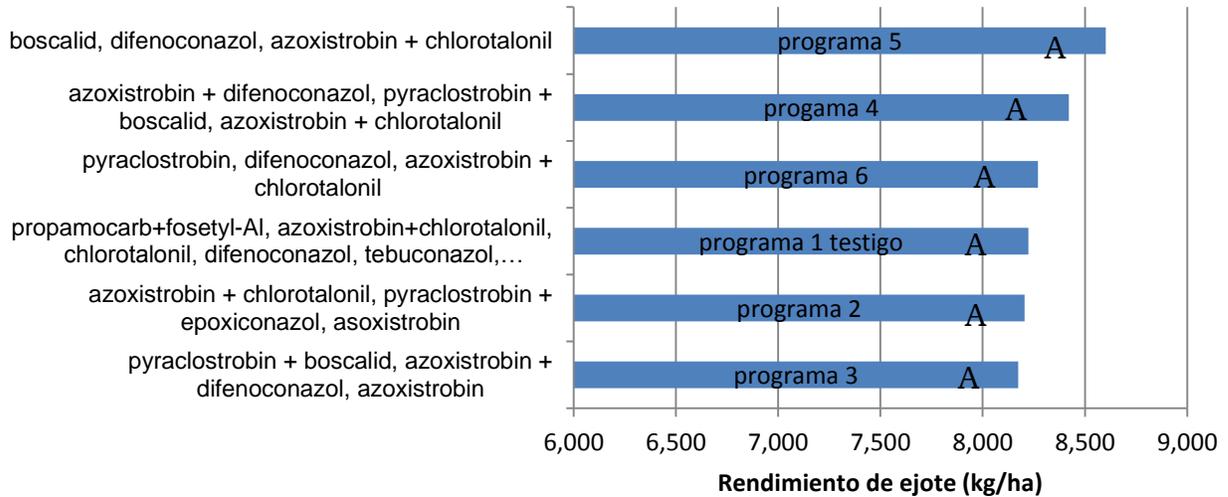


Figura 18. Rendimiento promedio por programa fitosanitario
Clasificación de medias con el criterio de probabilidades de tukey($p>0.10$) medias con una letra en común no son significativamente diferentes

7.6 Análisis económico de los programas fitosanitarios

En el análisis de la variable rendimiento de ejote no hubo diferencia significativa entre los programas. No obstante, hubo diferencia en el análisis económico. Los productos fungicidas comerciales tienen diferentes costos debido a sus ingredientes activos, ingredientes inertes, tipos de formulación etc. El programa fitosanitario 1 es el testigo relativo propuesto por el agricultor, este programa fue el de costo más alto debido a sus constantes aplicaciones lo cual aumenta el uso de fungicidas y mano de obra. El programa 6 (pyraclostrobin, difenoconazol, y azoxistrobin en mezcla con chlorotalonil) fue el más económico, éste representa una reducción de costos del 72% respecto al programa 1. Implementar el programa fitosanitario 6 promete mantener el rendimiento de ejote, con una reducción de costos de Q1,632.57/ha. Los costos por cada programa fitosanitario se reportan en el cuadro 16.

Cuadro 16. Costo por programa fitosanitario evaluado para el control de roya del frijol, aldea Chiapas, Santa Rosa, 08/02/2013-22/04/2013

Programa 1 Costo total Q2,262.63				
Fungicida	dosis	costo		costo total
	g/ha	fungicida/ha	jornal/ha	
Propamocarb	152	Q114.29	Q42.86	Q157.15
Fosetyl-AI (Prevalor ®)	89			
Azoxistrobina	30	Q222.17	Q42.86	Q265.03
Chlorothalonil (Amistar opti ®)	300			
Chlorothalonil (Bravo ®)	206	Q57.14	Q42.86	Q100.00
Difenoconazol (Score ®)	75	Q191.04	Q42.86	Q233.90
Tebuconazole (Folicur®)	75	Q114.00	Q42.86	Q156.86
Pyraclostrobin	67	Q221.44	Q42.86	Q264.30
Epoxiconazole (Opera®)	25			
Azoxistrobina (Amistar wg®)	100	Q318.94	Q42.86	Q361.80
	100	Q318.94	Q42.86	Q361.80
	100	Q318.94	Q42.86	Q361.80
Programa 2 Costo total Q891.13				
Fungicida	dosis	costo		costo total
	g/ha	fungicida/ha	jornal/ha	
Azoxistrobina	30	Q222.17	Q42.86	Q265.03
Chlorothalonil (Amistar opti ®)	300			
Pyraclostrobin	67	Q221.44	Q42.86	Q264.30
Epoxiconazole (Opera®)	25			
Azoxistrobina (Amistar wg®)	100	Q318.94	Q42.86	Q361.80
Programa 3 Costo total Q1,360.44				
Fungicida	dosis	costo		costo total
	g/ha	fungicida/ha	jornal/ha	
Pyraclostrobin	40.2	Q417.93	Q42.86	Q460.79
Boscalid (Bellis ®)	79.1			
Azoxistrobina	100	Q495.00	Q42.86	Q537.86
Difenoconazol (Amistar top ®)	62.5			
Azoxistrobina (Amistar wg®)	100	Q318.94	Q42.86	Q361.80
Programa 4 Costo total Q1,263.67				
Fungicida	dosis	costo		costo total
	g/ha	fungicida/ha	jornal/ha	
Azoxistrobina	100	Q495.00	Q42.86	Q537.86
Difenoconazol (Amistar top ®)	62.5			
Pyraclostrobin	40.2	Q417.93	Q42.86	Q460.79
Boscalid (Bellis ®)	79.1			
Azoxistrobina	30	Q222.17	Q42.86	Q265.03
Chlorothalonil (Amistar opti ®)	300			
Programa 5 Costo total Q781.79				
Fungicida	dosis	costo		costo total
	g/ha	fungicida/ha	jornal/ha	
Boscalid (Cumora ®)	62.5	Q240.00	Q42.86	Q282.86
Difenoconazol (Score ®)	75	Q191.04	Q42.86	Q233.90
Azoxistrobina	30	Q222.17	Q42.86	Q265.03
Chlorothalonil (Amistar opti ®)	300			
Programa 6 Costo total Q630.06				
Fungicida	dosis	costo		costo total
	g/ha	fungicida/ha	jornal/ha	
Pyraclostrobin (Regnum ®)	40	Q88.27	Q42.86	Q131.13
Difenoconazol (Score ®)	75	Q191.04	Q42.86	Q233.90
Azoxistrobina	30	Q222.17	Q42.86	Q265.03
Chlorothalonil (Amistar opti ®)	300			

8 CONCLUSIONES

- a) Los programas de fungicidas evaluados fueron efectivos para el control de la roya del frijol ejotero. No hubo diferencia significativa en el análisis de varianza para la variable rendimiento de ejote. El programa fitosanitario con menor costo fue donde se utilizó pyraclostrobin, difenoconazol y azoxistrobina en mezcla con clorotalonil, con reducción del 72% del costo con respecto al programa tradicional del agricultor.
- b) La etapa vegetativa del frijol ejotero comprendió 42 días, la reproductiva inició a los 43 días con la aparición de botones florales. Se realizaron 5 cortes de ejote, entre los 56 y 75 días después de siembra. El cultivo fue eliminado a los 75 días omitiendo madurez y desarrollo de grano.
- c) Se observó baja incidencia de roya en el frijol ejotero, los síntomas de la enfermedad se observaron a los 56 días después de la siembra durante la etapa R7 en la variedad Claudine.

9 RECOMENDACIONES

Se recomienda la evaluación del programa fitosanitario con pyraclostrobin, difenoconazol y azoxistrobina en mezcla con Chlorotalonil, aplicaciones en su orden y tiempo para evitar toxicidad con el uso de triazol. Acompañado del programa fitosanitario tradicional del agricultor en tamaño semicomercial.

10 BIBLIOGRAFÍA

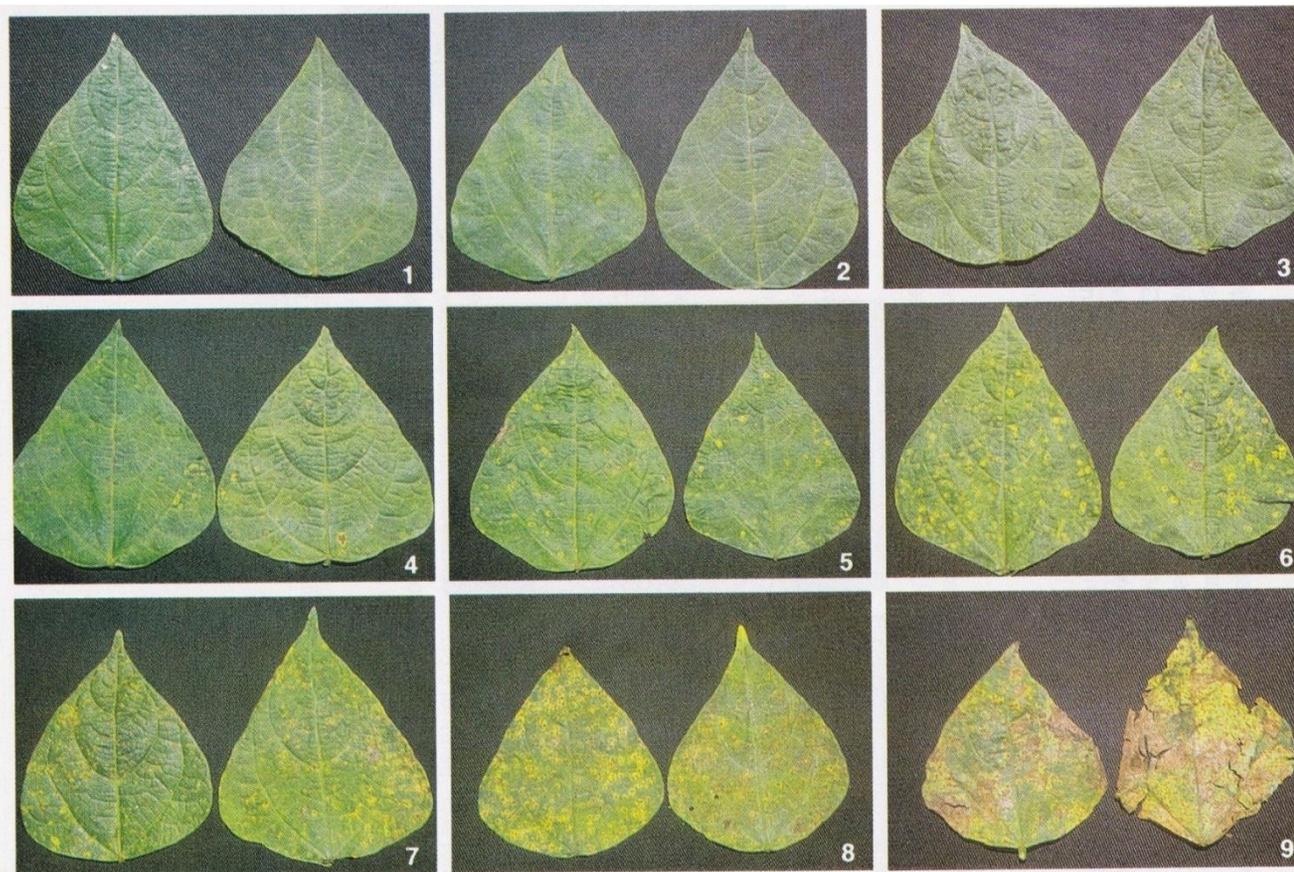
1. Agro Export, S. J. (21 de 01 de 2015). Precio ejote 2012-2013. (R. Cordova, Entrevistador)
2. Agrosemillas. (12 de Junio de 2014). *Ejote Frances*. Recuperado el 12 de Octubre de 2014, de Agrosemillas: http://www.agrosemillas.com.gt/index.php?option=com_k2&view=item&id=30:e&Itemid=170
3. Arauz, L. F. (1998). *Fitopatología un enfoque agroecológico* (Primera ed.). San Jose, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
4. Bergamin Filho, A., & Amorim, L. (1997). *Manual de fitopatologia* (3 ed.). (H. Kimati, Ed.) São Paulo: Agronômica CERES.
5. Braga, J. (1993). Fungicidas ditiocarbamatos no controle de doenças de plantas. In :LUZ, W.C. . Passo Fundo, Brasil.
6. CIAT. (1980). *La roya del frijol y su control* (Unica ed.). (M. L. Posada, Ed.) Cali, Colombia: CIAT.
7. CIAT. (1987). *Sistema estándar para la evaluacion de germoplasma de Frijol* (Unica ed.). (F. Motta, Ed., & EDITEC, Trad.) Cali, Colombia: CIAT.
8. Corden, M. E. (1962). *Phytopatology*. Citado por: Sarasola, A. A. (1975). *Fitopatologia curso moderno* (Vol. I). Buenos Aires: Hemisferio Sur.
9. Fernández, F., Gepts, P., & Lopez, M. (1986). *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. Colombia: CIAT.
10. Figueroa, L. (2012). Clasificación de hongos, escogencia de fungicidas, epidemiología y manejo de resistencia. 2012. Fitopatología (diapositivas). 64 diapositivas.
11. FRAC. (Febrero de 2013). *Fungicide Resistance Action Committee*. Recuperado el sábado 21 de Septiembre de 2013, de <http://www.frac.info/publication/anhang/FRAC%20Code%20List%202013-update%20April-2013.pdf>

12. Hewitt, H. (1998). *Fungicides in crop protection*. Estados Unidos: Cambridge.
13. Hoffman, L. (2014). *Fungicide Resistance Action Committee*. Recuperado el 02 de 04 de 2014, de FRAC: <http://www.frac.info/publication/anhang/2014%20FRAC%20Code%20List.pdf>
14. ICTA. (1980). *Enfermedades mas importantes del frijol en Guatemala*. (K. Yoshii, Ed.) Guatemala, Guatemala.
15. ICTA. (1984). *Investigación y producción de frijol*. (J. M. Diaz, Ed.) Jutiapa, Guatemala.
16. Kimati, H., & Pereira, G. T. (1994). *Mechanisms of action of antagonists selected for the biological control of the bean rust (Uromyces phaseoli)*. Jaboticabal, Brasil: Reben.
17. Kimati., H., & Gimenez, F. (1997). *Guia de fungicidas agricolas: recomendações por cultura*. Jaboticabal, Brasil.
18. Pesticides. (2013). *Eu Pesticides database*. Recuperado el 16 de 6 de 2014, de http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/?event=activesubstance.selection
19. Polanco Moll, O. J. (2009). *Comparación de dos planes de manejo integrado del cultivo de ejote frances para control de roya (Uromyces appendiculatus), asesoría técnica y servicios comunitarios en la comunidad Ixcayán*. Guatemala: USAC, Facultad de Agronomía Tesis Ing. Agronomo.
20. Sarasola, A. A. (1975). *Fitopatologia curso moderno (Vol. I)*. Buenos Aires: Hemisferio Sur.
21. Siqueira, L. (2007). *Fungicidas Sistêmicos Teoria E Prática (I ed.)*. Passo fundo, Brasil: EMOPI.
22. Smith, I. (1988). *Manual de enfermedades de las plantas (Inglesa ed.)*. Oxford, Inglaterra: Blackwell Scientific Publications.

23. Tamayo, P. J. (1995). *Manejo y control de las enfermedades de frijol voluble*. Antioquia, Colombia: Piloto.
24. Vargas, E. (1972). *Determinación de las razas fisiológicas de la roya del frijol en Guatemala en dos épocas de siembra*. Managua, Nicaragua: IICA / CATIE.
25. Watt, B. (2012 de 02). *Insect Images*. Recuperado el 20 de 12 de 2014, de Insect Images: <http://www.insectimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5458629>
26. Yoshii, K. (1978). *Existencia de distintas razas fisiológicas de la roya del frijol en el sur- oriente y el altiplano de Guatemala*. San Salvador, El Salvador: ICTA.
27. Zambolim, L. (1997). *Controle integrado de Doenças de hortaliças*. Visconde do Rio Branco, Brasil.

11 ANEXOS

Anexo I: Escala diagramática para la medición de severidad de la roya del frijol. Fuente: Tamayo (1995)



Clase	Descripción
1 Altamente resistente	Ausencia, a simple vista, de pústulas de roya (inmune).
3 Resistente	Presencia, en la mayoría de las plantas, de solo unas pocas pústulas, por lo regular pequeñas, que cubren aproximadamente el 2% del área foliar.
5 Intermedia	Presencia, en todas las plantas, de pústulas generalmente pequeñas o intermedias que cubren aproximadamente el 5% del área foliar.
7 Susceptible	Presencia de pústulas generalmente grandes y rodeadas, con frecuencia, de halos cloróticos que cubren aproximadamente el 10% del área foliar.
9 Altamente susceptible	Presencia de pústulas grandes y muy grandes, con halos cloróticos, las cuales cubren más del 25% del tejido foliar y causan defoliación prematura.