

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSTGRADO**

**MANEJO DE ENFERMEDADES EN TOMATE ORGÁNICO (*Lycopersicon esculentum*
Mill.) PRODUCIDO EN AMBIENTE CONTROLADO, CON ÉNFASIS EN *Phytophthora*
infestans, EN TURRIALBA, COSTA RICA**

**Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de
Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de
investigación y Enseñanza y como requisito parcial para optar por el grado de:**

Magíster Scientiae

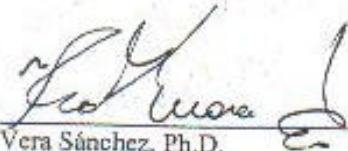
**Por
Edgar Fernando Talavera Añez**

**Turrialba, Costa Rica
Diciembre, 2004**

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

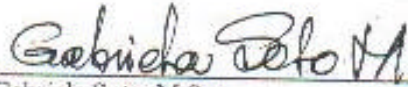
FIRMANTES:



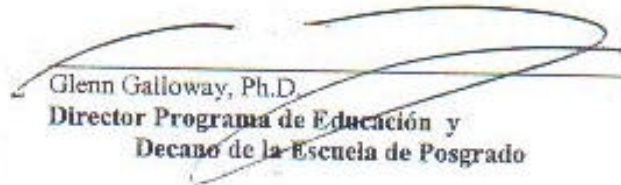
Vera Sánchez, Ph.D.
Consejero Principal



José Arze, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Gabriela Soto, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
**Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado**



Edgar Fernando Talavera Afiez
Candidato

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico:

A mi esposa Mariela Moreno V., por apoyarme para seguir adelante sin importar las dificultades, haciéndome ver lo positivo de las cosas.

A mis hijas Sofía y Dana, porque son mi incentivo para continuar en el camino de la vida.

A mi hermana Zíngara Elsa Talavera Añez.

A mis padres Edgar Talavera S. y Sonia Añez L.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco:

A mi esposa Mariela por que gracias a ella logré iniciar y culminar este paso importante, por su compañía y porque me mostró lo maravilloso de la vida.

A Sofía por compartir conmigo la alegría de su inocente edad y a Dana por estar siempre en mis pensamientos.

A mis padres por enseñarme el camino correcto para lograr el triunfo.

A mi profesora consejera Vera Sánchez, por su paciencia y sabios consejos.

A los miembros del comité, José Arze y Gabriela Soto, por contribuir a mejorar este trabajo.

Muy especialmente a la OEA – LASPAU, por la confianza que depositaron en mí para obtener esta maestría.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
TABLA DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	VIII
SUMMARY.....	IX
LISTA DE CUADROS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE ANEXOS.....	XIII
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3. HIPÓTESIS.....	2
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. EL CULTIVO DEL TOMATE.....	3
2.2. PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE HORTALIZAS.....	3
2.2.1. <i>Producción de tomate bajo invernadero</i>	4
2.3. ENFERMEDAD DE IMPORTANCIA EN EL TOMATE.....	4
2.4. OTRAS ENFERMEDADES DE IMPORTANCIA.....	6
2.5. MANEJO DE LAS ENFERMEDADES.....	7
2.5.1. <i>Prácticas agrícolas</i>	7
2.5.2. <i>Cultivo en ambiente controlado</i>	9
2.5.3. <i>Biopreparados</i>	9
2.5.4. <i>Extractos vegetales</i>	10
2.5.4. <i>Control biológico</i>	11
3. MATERIALES Y METODOS.....	13
3.1. UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	13
3.2. BIOENSAYO 1. EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN FOLIOLOS DESPRENDIDOS EN LABORATORIO.....	13
3.2.1. <i>Material experimental</i>	13
3.2.2. <i>Tratamientos evaluados</i>	13
3.2.2.1. Flor de azufre + cola de caballo (<i>E. giganteum</i>) + cal.....	14
3.2.2.2. Carbonato de calcio + cenizas de madera.....	14

3.2.2.3. Cal + flor de azufre	14
3.2.2.4. Cola de caballo (<i>E. giganteum</i>).....	14
3.2.2.5. Biocto 6 84.68 SL.....	14
3.2.3. <i>Aplicación de los tratamientos</i>	15
3.2.4. <i>Recolección e inoculación de P. infestans</i>	15
3.2.5. <i>Variables a evaluar</i>	15
3.2.6. <i>Diseño experimental</i>	15
3.2.7. <i>Análisis de resultados</i>	16
3.3. BIOENSAYO 2. EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN PLANTAS CULTIVADAS EN	
INVERNADERO EXPERIMENTAL	17
3.3.1. <i>Aplicación de los tratamientos</i>	17
3.3.2. <i>Recolección e inoculación de P. infestans</i>	18
3.3.3. <i>Variables a evaluar</i>	18
3.3.4. <i>Diseño experimental</i>	18
3.3.5. <i>Análisis de resultados</i>	19
3.4. ENSAYO 1. EVALUACIÓN DE LAS MEZCLAS QUE UTILIZA EL AGRICULTOR EN AMBIENTE	
CONTROLADO, PARA LA PRODUCCIÓN COMERCIAL DE TOMATE	19
3.4.1. <i>Material experimental</i>	19
3.4.2. <i>Manejo agronómico del cultivo</i>	19
3.4.3. <i>Tratamientos evaluados</i>	20
3.4.4. <i>Aplicación de los tratamientos</i>	20
3.4.5. <i>Variables a evaluar</i>	21
3.4.6. <i>Diseño experimental</i>	21
3.4.7. <i>Análisis de resultados</i>	22
3.5. BIOENSAYO 3. EVALUACIÓN DEL PH EN HOJAS TRATADAS CON LAS MEZCLAS QUE EL	
AGRICULTOR USA PARA EL MANEJO DE ENFERMEDADES	22
3.5.1. <i>Medición del pH de las mezclas</i>	22
3.5.2. <i>Medición del pH en la superficie de los folíolos asperjados con las</i>	
<i>mezclas</i>	22
3.5.3. <i>Variables a evaluar</i>	23
3.5.4. <i>Diseño experimental</i>	23
3.5.5. <i>Análisis de resultados</i>	23
4. RESULTADOS Y DISCUSION	24

4.1. BIOENSAYO 1. EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN FOLIOLOS DESPRENDIDOS EN LABORATORIO.	24
4.2. BIOENSAYO 2. EVALUACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN PLANTAS CULTIVADAS EN INVERNADERO EXPERIMENTAL.	29
4.3. ENSAYO 1. EVALUACIÓN DE LAS MEZCLAS QUE UTILIZA EL AGRICULTOR EN AMBIENTE CONTROLADO, PARA PRODUCCIÓN COMERCIAL DE TOMATE.	34
<i>4.3.1. Variación de la humedad relativa durante el ensayo</i>	40
<i>4.3.2. Variación de la temperatura durante el ensayo</i>	41
<i>4.4.3. Evaluación de la producción</i>	43
4.4. BIOENSAYO 3. EVALUACIÓN DEL PH EN HOJAS TRATADAS CON LAS MEZCLAS QUE EL AGRICULTOR USA PARA EL MANEJO DE ENFERMEDADES	44
5. CONCLUSIONES.	48
6. RECOMENDACIONES	49
7. BIBLIOGRAFIA CITADA	50
8. ANEXOS.	55

Talavera, EF. 2004. Manejo de enfermedades en tomate orgánico (*Lycopersicon esculentum* Mill.) producido en ambiente controlado, con énfasis en *Phytophthora infestans* en Turrialba, Costa Rica.

Palabras claves: *Phytophthora infestans*, tizón tardío, manejo de enfermedades, producción orgánica, mezclas caseras, ambiente controlado.

RESUMEN

El tomate representa la segunda hortaliza más cultivada a nivel mundial y su consumo fresco, tanto como un sinnúmero de subproductos, continúa incrementándose. Es afectado por una gran cantidad de patógenos provocando pérdidas en los rendimientos y elevados costos de control que reducen los ingresos del agricultor. El uso de químicos para el control es el método más común y generalmente el más efectivo, aunque causa efectos negativos en la salud y contaminación ambiental. El propósito de la investigación fue determinar si las mezclas y otros productos orgánicos que el agricultor usa, junto con prácticas de manejo bien efectuadas, representan una opción para mantener las enfermedades del cultivo, como *P. infestans*, a niveles bajos de severidad.

La aplicación de los tratamientos fue primero realizada en foliolos desprendidos en laboratorio y los mejores tratamientos fueron aplicados en plantas producidas en invernadero experimental del CATIE. Veinticuatro horas después se inculó con *P. infestans* (concentración 3×10^4 esporangios/ml). Después de 48 horas se realizaron observaciones diarias del desarrollo de la enfermedad hasta que el testigo alcanzó el 100 % de infección. Por otro lado, en producción comercial bajo ambiente controlado también se evaluaron mezclas orgánicas junto con todas las labores que el productor efectúa recomendadas para la producción de tomate. Al observarse un 10 % de incidencia de *P. infestans* se inició la aplicación de los tratamientos y se realizaron observaciones semanales del desarrollo de la enfermedad. Se tomaron datos de temperatura, humedad relativa y producción dentro del ambiente controlado. Se midió el pH de los tratamientos y en la superficie foliar, previamente tratadas con las mezclas, a intervalos de 24 horas durante cinco días consecutivos.

Las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal y carbonato de calcio + cenizas y el producto comercial orgánico Biocto evaluados en foliolos desprendidos y en plantas producidas en invernadero experimental disminuyeron significativamente la severidad del tizón tardío. Mientras que en el ambiente controlado la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal presentó niveles bajos de enfermedad junto con las prácticas culturales bien efectuadas, donde *P. infestans* fue la única enfermedad de importancia. Se encontró una correlación positiva entre la humedad relativa con la severidad de la enfermedad y negativa entre la temperatura con la misma. La producción no superó los 4 Kg, ocasionada por el ataque severo y temprano del minador de la hoja. Se comprobó que el pH tanto de las mezclas como de la superficie foliar fue mayor al rango óptimo de lo que la literatura indica como desfavorables a *Phytophthora*, por lo que esto puede ser uno de los factores que colaboró con el manejo de las enfermedades de tomate, principalmente de *P. infestans*.

Se concluye que el uso de las mezclas y prácticas culturales disminuye la severidad de la enfermedad y aumenta la producción. Por lo tanto, representa la mejor alternativa orgánica para el manejo de enfermedades, principalmente para *P. infestans*.

Talavera, EF. 2004. Disease management in organic tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) produced in a controlled environment, with emphasis in *Phytophthora infestans* in Turrialba, Costa Rica.

Key words: *Phytophthora infestans*, late tomato blight, disease management, organic production, homemade mixtures, controlled environment

SUMMARY

Tomatoes represent the second most cultivated vegetable in the world and their consumption, both fresh and as tomato sub-products, is continually increasing. Tomatoes are affected by a large quantity of pathogens which decrease yields and increase control costs thus reducing farmer income. The use of chemicals to control pathogens is the most common control method, and it is generally effective even though it causes negative health effects and environmental contamination. The objective of this research is to determine if the mixtures and other organic products used by the farmer along with other good management practices can be an option to maintain the crop diseases such as *P. infestans* at low severity levels.

Treatments were first applied to loose folioles in the laboratory and the best treatments were applied in plants produced in the CATIE experimental greenhouse. Twenty four hours later, they were inoculated with *P. infestans* (with a concentration of 3×10^4 sporangium/ml). After 48 hours, disease growth was observed daily until the control reached 100 % infection. In commercial production in a controlled environment, organic mixtures were also evaluated along with all of the recommended tomato production practices implemented by the farmers. Once a 10 % presence of *P. infestans* was observed, the application of treatments was initiated and disease growth was observed weekly. Temperature, relative humidity and production data in the controlled environment were taken. Measurements were also taken for the pH of the treatment and foliar surface which was previously treated with the mixtures at 24 hour intervals for five consecutive days.

The mixture of sulfur flower + horssetail + lime and calcium carbonate + ash and the commercial organic product Biocto evaluated in loose folioles and in plants produced in the experimental greenhouse significantly decreased the severity of the late tomato blight. In the controlled environment, the sulfur flower + horssetail + lime mixture along with good cultural practices showed low disease levels where *P. infestans* was the only disease of importance. A positive correlation was observed between relative humidity and disease severity; a negative correlation was observed between temperature and disease severity. The production did not pass 4 Kg because of the severe and early attack of the leaf miner. It was confirmed that the pH of both the mixtures and the foliar surface was greater than the optimum range indicated in the literature as unfavorable for *Phytophthora*. This could be one of the contributing factors for disease management in tomatoes, principally of *P. infestans*.

It was concluded that the use of the mixtures and cultural practices decreased the disease severity and increased production. Therefore, this is the best organic alternative for disease management, especially for *P. infestans*.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Agrupación de medias del porcentaje de área foliar afectada (PAFA) según los tratamientos evaluados en foliolos desprendidos.....	25
Cuadro 2. Parámetros epidemiológicos obtenidos de los tratamientos evaluados para el control <i>P. infestans</i> en foliolos desprendidos.....	26
Cuadro 3. Agrupación de medias del porcentaje de área foliar afectada (PAFA) según los tratamientos evaluados en plantas cultivadas en invernadero experimental.....	31
Cuadro 4. Parámetros epidemiológicos obtenidos de los tratamientos evaluados para el control de <i>P. infestans</i> en plantas cultivadas en invernadero experimental.....	34
Cuadro 5. Agrupación de medias del porcentaje de área foliar afectada (PAFA) según los tratamientos evaluados en ambiente controlado, para la producción comercial de tomate.....	37
Cuadro 6. Parámetros epidemiológicos obtenidos de los tratamientos evaluados para el control <i>P. infestans</i> en ambiente controlado, para la producción comercial de tomate.....	39
Cuadro 7. Agrupación de medias del número de frutos por planta, número de frutos enfermos por planta y la producción por planta (Kg) según los tratamientos evaluados en ambiente controlado, para la producción comercial de tomate....	44
Cuadro 8. Agrupación de medias del pH según las mezclas en la superficie de cada foliolo de tomate.....	46

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Desarrollo de la enfermedad causada por *P. infestans*, medida como porcentaje de área foliar afectada (PAFA) según los tratamientos evaluados en folíolos desprendidos.....24
- Figura 2. Agrupación de las medias del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por *P. infestans* según los tratamientos evaluados en folíolos desprendidos.....27
- Figura 3. Area bajo la curva de progreso de la enfermedad relativa (ABCPE_R) causada por *P. infestans* según los tratamientos evaluados en folíolos desprendidos.....27
- Figura 4. Desarrollo de la enfermedad causada por *P. infestans*, medida como porcentaje de área foliar afectada (PAFA) según los tratamientos evaluados en plantas cultivadas en invernadero experimental.....30
- Figura 5. Agrupación de las medias del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por *P. infestans* según los tratamientos evaluados en plantas cultivadas en invernadero experimental.....32
- Figura 6. Area bajo la curva de progreso de la enfermedad relativa (ABCPE_R) debida a *P. infestans* según los tratamientos evaluados en plantas cultivadas en invernadero experimental.....32
- Figura 7. Desarrollo de la enfermedad causada por *P. infestans*, medida como porcentaje de área foliar afectada (PAFA) según los tratamientos evaluados en ambiente controlado, para la producción comercial de tomate.....35
- Figura 8. Agrupación de las medias del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por *P. infestans* según los tratamientos evaluados en ambiente controlado, para la producción comercial de tomate.....38
- Figura 9. Area bajo la curva de progreso de la enfermedad relativa (ABCPE_R) causada por *P. infestans* según los tratamientos evaluados en ambiente controlado, para la producción comercial de tomate.....38

Figura 10. Porcentaje de área foliar afectada (PAFA) causada por <i>P. infestans</i> en cada uno de los tratamientos evaluados bajo ambiente controlado y la humedad relativa máxima, media y mínima.....	41
Figura 11. Porcentaje de área foliar afectada (PAFA) causada por <i>P. infestans</i> en cada uno de los tratamientos evaluados bajo ambiente controlado y la temperatura máxima, media y mínima.....	42
Figura 12. Variación del pH en la superficie de los folíolos asperjados con las mezclas que el agricultor utiliza.....	45

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Análisis de la varianza para el porcentaje de área foliar (PAFA) de los tratamientos evaluados en folíolos desprendidos.....56
- Anexo 2. Análisis de la varianza y prueba de comparación de medias (Duncan, $P \leq 0.05$) para el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) de los tratamientos evaluados en folíolos desprendidos.....57
- Anexo 3. Retraso de la epidemia en el tiempo en función de la tasa de crecimiento de la lesión expresada como $\ln(y/(1-y))$, donde Y es la proporción de área lesionada, para las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal, flor de azufre + cal, y carbonato de calcio + cenizas, el extracto de cola de caballo, el Biocto y el testigo en folíolos desprendidos en laboratorio.....58
- Anexo 4. Análisis de la varianza para el porcentaje de área foliar (PAFA) de los tratamientos evaluados en plantas en invernadero experimental.....61
- Anexo 5. Análisis de la varianza y prueba de comparación de medias (Duncan, $P \leq 0.05$) para el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) de los tratamientos evaluados en plantas en invernadero experimental.....62
- Anexo 6. Retraso de la epidemia en el tiempo en función de la tasa de crecimiento de la lesión expresada como $\ln(y/(1-y))$, donde Y es la proporción de área lesionada, para las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal y carbonato de calcio + cenizas, el producto Biocto y el testigo en plantas producidas en invernadero experimental.....63
- Anexo 7. Análisis de la varianza para el porcentaje de área foliar (PAFA) de las mezclas evaluadas en ambiente controlado.....65
- Anexo 8. Análisis de la varianza y prueba de comparación de medias (Duncan, $P \leq 0.05$) para el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) de las mezclas evaluadas en ambiente controlado.....66

Anexo 9. Retraso de la epidemia en el tiempo en función de la tasa de crecimiento de la lesión expresada como $\ln(y/(1-y))$, donde Y es la proporción de área lesionada, para las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal y carbonato de calcio + cenizas y el testigo en ambiente controlado.....	67
Anexo 10. Análisis de correlación entre humedad relativa (Max. Media y Min.) y temperatura (Max., Media y Min.) con incidencia de <i>P. infestans</i> en cultivo de tomate bajo ambiente controlado y tomando en cuenta cada una de los tratamientos evaluados por separado.....	69
Anexo 11. Porcentaje de humedad relativa (máxima, media y mínima) y temperatura (máxima, media y mínima) registrada semanalmente durante la evaluación de <i>P. infestans</i> en ambiente controlado.....	71
Anexo 12. Análisis de la varianza para la producción (Kg), el número de frutos sanos y frutos enfermos por planta según las mezclas evaluadas en ambiente controlado.....	72
Anexo 13. Análisis de la varianza para el pH en la superficie foliar en folíolos de tomate para las mezclas que el agricultor utiliza.....	73

1. INTRODUCCION

El tomate representa la segunda hortaliza más importante cultivada en el mundo y su consumo fresco, tanto como un sin número de subproductos de tomate, continúa incrementándose a nivel mundial (Jones 1999, Santiago *et al.* 1998). Se cultivan casi tres millones de hectáreas de tomate a nivel mundial, con un volumen de producción que supera los setenta millones de toneladas (Nuez 1995).

La producción de tomate es afectada por una gran cantidad de factores bióticos y abióticos, por lo que es considerado como un cultivo de alto riesgo fitosanitario. Las características epidemiológicas de las enfermedades más importantes que afectan al cultivo de tomate provocan pérdidas en los rendimientos y elevados costos de control, que reducen los ingresos del agricultor (Díaz 1999).

Para controlar las enfermedades, el combate químico es el método más común en la agricultura convencional y generalmente el más efectivo. Sin embargo, se le contraponen desventajas considerables entre ellas, su alto costo, efecto sobre la salud y contaminación ambiental (IIRR y AVRDC 1997), así como la resistencia que los patógenos han ido adquiriendo hacia este tipo de control (Rodríguez 1995).

La producción de tomate bajo invernadero ha surgido como una alternativa promisoriosa, ya que se considera que permite reducir el uso de productos químicos, que a su vez puede ser una buena opción para la producción orgánica (Volcán 2000). La producción orgánica está creciendo continuamente a nivel mundial, gracias a la convicción de productores, al apoyo gubernamental y a que los consumidores presentan cada vez más mayor disposición a pagar mejores precios por vegetales que garanticen su salud y la protección del ambiente (Volcán 2000, Restrepo 2000).

Sin embargo, el manejo orgánico de las enfermedades y plagas no se ha estudiado suficiente. Por lo que, los productores utilizan productos, extractos o mezclas preparadas en la finca sin conocer su efectividad. Por otro lado, es conocido que a través de prácticas agrícolas se puede mantener el desarrollo de las enfermedades en niveles aceptables para el cultivo. Salas (2003) indica que realizando un buen manejo del cultivo, principalmente su nutrición, se puede disminuir la incidencia y severidad de las enfermedades en la producción orgánica de hortalizas bajo invernadero.

Por tal motivo, la presente investigación se propuso evaluar las mezclas y otros productos orgánicos que el agricultor usa junto con prácticas de manejo bien efectuadas que pueden

ayudar a mantener las enfermedades en este cultivo en niveles que no afecten el beneficio económico de los agricultores y sus familias. De esta manera, se podrá tener información suficiente para asegurar y recomendar estas opciones para el manejo adecuado de las enfermedades.

1.1. Objetivo general

?? Determinar si los productos que los agricultores utilizan en la producción de tomate orgánico cultivado bajo ambiente controlado, junto con prácticas de cultivo que desfavorecen las enfermedades, representan una opción de manejo de *Phytophthora infestans*.

1.2. Objetivos específicos

?? Determinar si las mezclas que un agricultor utiliza representan una opción de manejo de enfermedades en tomate orgánico producido bajo ambiente controlado junto con prácticas agrícolas bien realizadas en una finca orgánica comercial.

?? Determinar si los productos que un agricultor utiliza representan una opción para controlar *Phytophthora infestans* en laboratorio e invernadero experimental.

?? Determinar si el pH de las mezclas que un agricultor usa es responsable de su efecto en el desarrollo de las enfermedades foliares en tomate.

1.3. Hipótesis

?? Al menos una de las mezclas que el agricultor de Turrialba usa tiene un efecto significativo en la reducción de la incidencia y severidad para el manejo de enfermedades en tomate orgánico producido bajo ambiente controlado y con prácticas de cultivo bien realizadas.

?? Al menos una de las mezclas que el agricultor de Turrialba usa tiene un efecto significativo en la reducción de la incidencia y severidad de *Phytophthora infestans* en hojas desprendidas en laboratorio y en plántulas producidas en invernadero experimental.

?? El pH de las mezclas reduce la incidencia y severidad de *Phytophthora infestans*.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. El cultivo del tomate

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas. El centro de origen del género *Lycopersicon* es la región andina que hoy comparten Colombia, Perú, Bolivia y Chile. En esta región crecen espontáneamente las diversas especies del género y es donde se ha demostrado que *L. esculentum* muestra su mayor variación (Nuez 1995). La domesticación del tomate se inició en México y a mediados del siglo 16 fue introducido a Europa (Jones 1999).

La fenología de la planta de tomate se caracteriza por tres diferentes fases: vegetativa, reproductiva y productiva (Andrew 2002). La fase vegetativa se inicia con la germinación de la semilla y se caracteriza por el rápido aumento en la materia seca; ésta fase culmina con el inicio de la floración que oscila entre 50 a 60 días dependiendo de la variedad. La fase reproductiva se inicia a partir de la fructificación, que dura entre 30 a 40 días; ésta fase culmina cuando el crecimiento de la planta se detiene y se desarrollan los frutos, por lo tanto la planta transloca gran cantidad de nutrimentos para su crecimiento y maduración. La fase de producción se inicia entre los 62 y 75 días después de la siembra; ésta fase culmina con la última cosecha de frutos que oscila entre los 82 y 100 días, en plantas sanas y nutridas se pueden realizar entre seis a siete cosechas durante 20 a 25 días, dependiendo la variedad (Nuez 1995).

2.2. Producción orgánica de hortalizas

La producción orgánica en el mundo continúa creciendo a un ritmo acelerado y los países latinoamericanos no son la excepción. En el último decenio, la producción mundial se ha incrementado entre 25 a 30 % por año y en los últimos cuatro años el mercado orgánico global se ha duplicado (García 2002). El propósito fundamental de éste tipo de agricultura es la búsqueda de un modelo alternativo de desarrollo a la agricultura moderna o convencional tipo “Revolución verde” (Funes 2001).

Garro (1996) indica que la agricultura orgánica en Costa Rica ha tenido un crecimiento constante y motivado por las necesidades de los productores. Esto da como resultado el aumento del número de productores dedicados a esta actividad y por lo tanto de la producción. En 1996 se estima que había 1500 agricultores de productos orgánicos que son parte de organizaciones y cooperativas.

La producción de hortalizas orgánicas se basa en el manejo de las enfermedades por medio del control biológico y en el enriquecimiento del subsistema suelo. Por lo tanto, las técnicas de cultivo orgánico incluyen el uso de enemigos naturales, la rotación de cultivos y el empleo de insecticidas naturales de rápida degradación. Además, en este sistema se considera que la gran mayoría de los organismos plagas de los cultivos están bajo el control biológico natural, es decir que no causan graves daños, porque su cantidad es regulada por sus propios enemigos naturales (Mora 1994).

2.2.1. Producción de tomate bajo invernadero

Debido a las condiciones climáticas adversas y muy variables que se dan en los trópicos, la utilización de ambiente controlado representa una alternativa para producir tomate, hortaliza que se considera de alto valor económico, pero que es atacada por una gran variedad de plagas (Santiago *et al.* 1998).

Sin embargo, es importante manejar adecuadamente la ventilación dentro de la infraestructura, dada las altas temperaturas que se pueden presentar. De manera que se mantenga la temperatura y humedad relativa dentro de los rangos aceptables, para evitar el desarrollo de enfermedades. Además, para producir eficientemente bajo ambientes controlados, se debe tener en cuenta que si bien se modifica el medio ambiente dentro del lugar, éste es siempre afectado por el medio exterior. Por lo tanto, en climas muy variables, como en los trópicos, pueden crearse situaciones diversas dentro del sistema que no se pueden controlar (Rosa y Suárez 1998).

2.3. Enfermedad de importancia en el tomate

Phytophthora infestans es el agente causal de la enfermedad conocida como tizón tardío, la cual es considerada como una de las principales enfermedades que afectan al tomate. Esto se debe a que puede provocar reducciones significativas en el rendimiento del cultivo y su control constituye uno de los costos de producción más elevados. Cuando se usan fungicidas además del costo económico, se debe considerar los efectos en la salud humana y el ambiente (Pérez y Sánchez 2000).

P. infestans originalmente fue clasificado como un hongo perteneciente a la clase Oomycetes, orden Peronosporales, familia Pythiaceae (Erwin y Ribeiro 1996), pero actualmente está incluido en el grupo de algas conocido como Chromista (UCMP 2003).

Presenta dos tipos de apareamiento conocidos como grupo de anastomosis A1 y A2. La interacción entre las hifas de diferente tipo de apareamiento da como resultado la reproducción sexual y la formación de oosporas. Todos los individuos son bisexuales, capaces de producir tanto estructuras femeninas (oogonios) como masculinas (anteridios). Cuando solo se encuentra presente un tipo de apareamiento el patógeno se reproduce asexualmente a través de la producción de esporangios. En Costa Rica se ha informado únicamente la presencia del tipo de apareamiento A1, que según su condición genética corresponde a una migración particular procedente, posiblemente, de México (Fry y Goodwin 1997).

La producción de esporangios, producidos en los extremos de los esporangióforos y de forma semejante a un limón, es favorecida por temperaturas entre los 18 y 21 °C y una humedad relativa cercana al 100 %, condiciones que permiten que el esporangio pueda madurar en un periodo de tres a 10 horas. Los esporangios son liberados de los esporangióforos y diseminados por el viento húmedo a grandes distancias y por la lluvia a cortas distancias. Sin embargo, pueden perder rápidamente su viabilidad cuando la humedad relativa se encuentra por debajo del 95 % y sobrevivir solamente cinco horas cuando la humedad relativa es del 80 %. Cuando los esporangios establecen contacto con el tejido foliar es necesaria la presencia continua de una película de agua para que se de la infección (Sherf y MacNab 1986).

Dependiendo de la temperatura del ambiente los esporangios pueden germinar directamente o liberar zoosporas. Cuando las temperaturas son superiores a los 15 °C estos pueden germinar directamente; y cuando las temperaturas se encuentran entre 12 y 15 °C los esporangios liberan zoosporas. Las zoosporas nadan sobre la planta en la película de agua disponible, pierden sus flagelos y se enquistan, posteriormente forman un apresorio a partir del cual se forma un haustorio que penetra al tejido foliar. La germinación de las zoosporas ocurre en un periodo de dos horas y con una temperatura óptima entre los 12 y 15 °C y entre los 21 y 24 °C para el desarrollo del tubo germinativo (Robertson 1991, Sherf y MacNab 1986).

El patógeno penetra directamente a través de la cutícula y la epidermis, muy pocas veces a través de los estomas. Después de su ingreso, crece intercelularmente y produce haustorios en las células del mesófilo. La temperatura óptima para la colonización se encuentra entre los 22 y 24 °C. Los síntomas iniciales, incluyendo clorosis, pueden manifestarse a los dos y tres días después de ocurrida la infección. En el campo, los

síntomas pueden ser apreciados a los cinco o siete después, algunas veces hasta los 10 días después de la inoculación. Inmediatamente después que los síntomas son visibles, los esporangióforos emergen a través de los estomas y producen nuevos esporangios (Sherf y MacNab 1986).

En el envés de las hojas, donde se presenta la mayor cantidad de estomas y el microclima es más favorable para la esporulación, se forman esporangióforos en cantidades abundantes (Robertson 1991). Los cuales, recién emergidos pueden ramificarse una o más veces y terminar en un esporangio que sirve como inóculo secundario repitiendo el ciclo de la enfermedad varias veces durante el desarrollo del cultivo (Sherf y MacNab 1986, Gregory 1983).

P. infestans puede infectar hojas, tallos, ramas y frutos verdes o maduros, con excepción de las raíces (Sherf y MacNab 1986). Las hojas de tomate presentan manchas irregulares de aspecto acuoso verde oscuras a amarillentas que pueden desarrollarse en todo el limbo de la hoja. Si se infectan los pecíolos y tallos, las manchas, más o menos alargadas, se necrosan y partes completas de las plantas pueden marchitarse rápidamente. En el fruto se presentan manchas amorfas de color marrón cerca de la zona peduncular (Rosa y Suárez 1998, Sherf y MacNab 1986).

2.4. Otras enfermedades de importancia

***Alternaria solani* (Ell. & Mart.)** causante del tizón temprano. Se presentan inicialmente en la parte inferior de la planta, como manchas en hojas y tallos más o menos redondeadas de color marrón que evolucionan a necróticas con formas de círculos concéntricos rodeados de un halo bien diferenciado de color amarillo-naranja. Cuando alcanza niveles superiores puede atacar flores, donde el cáliz se torna ennegrecido y necrótico. En los frutos se forman manchas oscuras con depresiones y enmohecidas. Se favorece con humedades relativas superiores a 80 % y temperaturas entre 18 y 25 °C, aunque puede ampliar su rango de temperatura (4 a 35 °C), por lo que se la considera como una enfermedad frecuente en este cultivo. Se conserva en el suelo y es dispersado por el viento en invernaderos (Jones *et al.* 2001, Rodríguez *et al.* 2001).

Botrytis cinerea causante de la podredumbre gris, en las hojas presenta manchas pardo claras con anillos concéntricos pardos oscuros. En el cuello de la planta se puede desarrollar una podredumbre parda y húmeda sin parte de la corteza, pudiendo estrangular a la planta y eliminarla. En las flores y pedúnculos el moho gris cubre los

órganos secos. En el fruto se forma desde el pedúnculo una podredumbre blanda gris amarillada cubierta de un moho también gris. Es favorecido por las humedades relativas superiores al 90 % y temperaturas entre 10 y 23 °C, por lo que en determinadas circunstancias, como en invernaderos, una enfermedad muy importante (Jones *et al.* 2001, Rosa y Suárez 1998, Rodríguez *et al.* 2001).

Fusarium oxysporum f. sp. lycorpesici causante del marchitamiento por fusariosis. Es una enfermedad sistémica que penetra por las raíces. En el cuello se presenta una lesión o chancro pardo. En las hojas se da el marchitamiento y amarillamiento de las hojas basales y detención del crecimiento. Las condiciones que favorecen a la enfermedad son las temperaturas entre los 18 y 20 °C, así como también del estado de estrés que esté sufriendo la planta en cuanto a exceso de humedad en el suelo (Jones *et al.* 2001, Rosa y Suárez 1998).

Ralstonia solanacearum [Berkholderia solanacearum; Pseudomonas solanacearum (Smith) Smith], causante del marchitamiento bacteriano. Los síntomas se presentan con rapidez en forma de marchitamiento total de la planta sin cambio de color de las hojas. Al cortar el tallo a la altura del suelo de una planta marchita, la médula tiene una apariencia oscura y acuosa y la presencia de un exudado grisáceo cuando se presiona el tallo. La bacteria vive en el suelo e infecta a las plantas a través de las raíces o del tallo. La transmisión puede ocurrir en el transplante y se disemina a través del riego o el movimiento de suelo (Jones *et al.* 2001, Rodríguez *et al.* 2001).

Xanthomonas campestris pv. vesicatoria (Doidge) Dye., causante de la mancha bacteriana. La infección inicial en las hojas es en forma de pequeñas lesiones acuosas con borde bien definido. La mancha se vuelve hundida y cambia de amarillo o verde claro a negro o marrón oscuro y finalmente se necrosa el centro. Esta enfermedad puede provocar muerte en las hojas y defoliación. Puede sobrevivir en restos vegetales de una estación a otra, pero persiste en el suelo pocas semanas (Jones *et al.* 2001, Rodríguez *et al.* 2001).

2.5. Manejo de las enfermedades

2.5.1. Prácticas agrícolas

Los factores climatológicos ejercen una gran influencia sobre el manejo de enfermedades en invernadero. La humedad relativa es muy importante en el manejo de enfermedades

foliares como *P. infestans*, pues cuando las humedades son altas, cercanas al 100 % el cultivo es más susceptible al ataque de éste patógeno. Por tal motivo, se deben realizar prácticas agrícolas de manera eficiente y constante como la eliminación de hojas y brotes bajos, poda, el uso de variedades resistentes, densidades de siembra adecuadas, utilización del riego por goteo con mangueras enterradas, para lograr una buena ventilación y disminuir la humedad relativa del invernadero. Las prácticas agrícolas, además de reducir el daño de las enfermedades, pueden aumentar el volumen y la calidad de la producción (Rodríguez *et al.* 2001).

Ayala *et al.* (1991) menciona que una de las prácticas de manejo es la siembra de barreras vivas, como sembrar maíz cada tres surcos de tomate 20 días antes del trasplante, esto impide la diseminación de esporas de *P. infestans* logrando reducir su incidencia y severidad.

La poda o eliminación de pequeños brotes laterales llamados vástagos se realizan con el propósito de dejar uno o varios tallos guías en cada planta. Es una práctica muy útil, pues además de disminuir la incidencia y severidad de las enfermedades, se obtienen beneficios como: aumento en la producción por unidad de superficie, mejor calidad de los frutos, más facilidad en las prácticas de cultivo y mayor rapidez y comodidad en la recolección de los frutos (Borbon 1983).

La eliminación de hojas, flores y frutos tienen como fin aumentar la iluminación y mejorar la aireación de las plantas, para lograr una mayor floración y cuajado de frutos, mejorar la calidad de la cosecha y disminuir la incidencia y severidad de las enfermedades infecciosas (Serrano 1982). La eliminación de hojas enfermas es una de las prácticas que se debe llevar a cabo de acuerdo al desarrollo vegetativo de la planta y cuando están siendo muy afectadas por *P. infestans* u otras enfermedades infecciosas (Serrano 1982, Borbon 1983).

La colocación de tutores o soportes de las plantas es común tanto en campo abierto como en invernadero. Con el empleo de tutores se mejora la parte cualitativa del fruto, se evita la competencia lumínica, se mejora la aireación y la facilidad de exposición para los tratamientos fitosanitarios (Rodríguez *et al.* 2001).

Colocar bandas de plástico de 1.2 m de ancho a 1.8 m de altura sobre la fila de siembra de tomate es un sistema que es efectivo en tanto protege a la planta de la humedad en el follaje. El techo debe estar colocado de forma que permita el ingreso del viento sin ofrecer resistencia y que este pase por la plantación y salga por el otro extremo, llevándose la

humedad del cultivo. Además, aunque permite menos control que un invernadero total, resulta muy barato, pues proteger cada planta resulta un 90 % menos de costos que en el invernadero comercial (Salas 2003).

2.5.2. Cultivo en ambiente controlado

Se debe tener en cuenta que la infraestructura de un invernáculo es un medio por el cual se modifica parcialmente en el espacio cubierto la temperatura, la luz y el régimen hídrico, creándose un nuevo microagroecosistema. Estos factores son de vital importancia para el crecimiento y la producción de los cultivos que se realicen en estas condiciones. Por tal motivo, un invernáculo debe ser construido de manera tal que la modificación de estos factores naturales y directos de producción no resulte limitante en forma conjunta o individual para el cultivo (Rosa y Suárez 1998).

El sistema de producción de tomate bajo ambiente controlado permite aumentar la productividad manejando los aspectos que inciden sobre las enfermedades como la fertilización, la luz, la disminución de las fluctuaciones de temperatura y la regularización del riego y de la humedad relativa principalmente. En sistemas de producción a cielo abierto las condiciones meteorológicas no pueden modificarse, mientras que en ambientes controlados es posible manejar algunas de estas condiciones hasta cierto rango. Por tal motivo, el manejo de este cultivo bajo ambiente controlado tiene algunas ventajas en zonas tropicales con más de 2000 mm de precipitación anual (Salazar y Castro 1994; Salas 2003).

Algunas de las enfermedades que se presentan en cultivos a campo abierto también se presentan en ambiente controlado, la diferencia fundamental radica en la severidad que puede ser menor (Salazar y Castro 1994). Mientras que otras enfermedades como *B. cinerea* son más frecuentes en ambiente controlado por mantener en niveles favorables la temperatura y humedad para su desarrollo (Salas 2003).

2.5.3. Biopreparados

Los biopreparados líquidos son productos que contienen células vivas o latentes de microorganismos, fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo y potencializadoras de diversos nutrientes, entre otros. Se utilizan para incrementar el número de los microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos. De esta forma, se aumenta la cantidad de nutrientes asimilados por la planta y se aceleran los procesos fisiológicos que influyen en el desarrollo y el rendimiento de los cultivos (Martínez 2002).

Estos biopreparados se obtienen a partir de la fermentación de materiales orgánicos, como estiércoles de animales, plantas verdes y frutos. Contienen una gran cantidad de sustancias como la tiamina, la cual desempeña un papel importante en la trofobiosis, al aumentar la inmunidad adquirida en los vegetales (Restrepo 2000, Martínez 2002).

2.5.4. Extractos vegetales

Bonilla *et al.* (1993) evaluaron el efecto de los extractos de cola de caballo (*Equisetum giganteum*), papaya (*Carica papaya*), cebolla (*Allium cepa*) y un producto botánico denominado Fungeli contra el tizón tardío; a su vez evaluaron dos frecuencias de aplicación: dos y tres veces por semana. Determinaron que los extractos utilizados de *E. giganteum* obtuvieron el menor porcentaje de severidad en hojas de tomate (59.15 %), seguido por el producto botánico Fungeli (64.24 %) y éste seguido por el extracto de cebolla y papaya (75 y 77 %, respectivamente). Con respecto a las frecuencias de aplicación observaron que la frecuencia tres veces por semana presentó el menor porcentaje de infección en hojas con 65 %, comparado con el 73 % de infección realizando dos aplicaciones por semana.

El *E. giganteum* además de controlar enfermedades como los tizones y cenicilla, también se usa como insecticida en el control de pulgones y otros insectos en cultivos como papa, tomate, fresa, brócoli, frijol, arveja china y otros (Bonilla *et al.* 1993). Alvarez y Gómez (1993) evaluaron el extracto de cola de caballo (*E. giganteum*) y azufre para el control de cenicilla (*Erysiphe pisi*) en arveja china (*Pisum sativum*), determinaron que a pesar de no presentar una diferencia significativa con el testigo, el extracto mostró cierta efectividad contra esta enfermedad.

Según Bonilla *et al.* (1993) el *E. giganteum* contiene ácido silícico en proporciones hasta del 10 %, saponinas y flavonas, las cuales tienen como función biológica atraer ciertos insectos favoreciendo la polinización. Aplicado en forma foliar penetra a la epidermis aumentando la resistencia al ataque de otros insectos y a las infecciones de hongos y virus. Sin embargo, el uso de *E. giganteum* no es estrictamente un remedio, sino ayuda a reestablecer cierto equilibrio ecológico de las plantas.

Se han desarrollado productos comerciales como el Biocto 6 84,68 SL, cuyo ingrediente activo es el extracto de semillas de cítricos (*Citrus sp.*). Según la casa comercial que lo produce es un fungicida bactericida botánico de acción sistemática con efecto protector y curativo, que aporta exoelicitores creando fitoalexinas que son el mecanismo natural de

defensa de la planta. Es absorbido tanto por el follaje como por las raíces y se transloca vía floema y xilema. Provoca la ruptura de la membrana celular de los patógenos (CATIE y GTZ 2002).

Rodríguez y Montilla (2002) evaluaron la utilización del extracto *Citrus paradisi* para disminuir la marchitez causada por *Fusarium* en tomate, quienes con la inmersión de las plantas en la solución del extracto más la aplicación semanal al suelo obtuvieron una reducción del 85 % de incidencia en la marchitez. La aplicación al follaje causó una reducción del 42 % de incidencia; pero cuando combinaron estos dos tratamientos, la disminución de la enfermedad llegó al 64 % de incidencia, considerándose como el segundo mejor tratamiento.

2.5.4. Control biológico

Baker y Cook (1982) definen al control biológico como: “la reducción de la densidad de inóculo o de sus estructuras productoras de la enfermedad de un organismo o parásito en su estado activo o de dormancia por uno o más organismos”. Estos organismos se pueden presentar naturalmente, resultar de la estimulación de la flora residente, de la introducción masiva de antagonistas y otros microorganismos benéficos, de la manipulación del medio ambiente y las prácticas culturales que provean condiciones favorables a los antagonistas o de la introducción masiva de uno o más antagonistas (Blakeman y Fokkema 1982, Baker y Cook 1982, Papavizas 1981).

La interacción entre microorganismos es una consecuencia natural de su desarrollo en el ambiente y es una razón importante por la cual los cultivos no son destruidos completamente. Debido a ello, los métodos de control están dirigidos a estimular la colonización de antagonistas saprófitos de tal forma que sean capaces de establecerse y reproducirse en la superficie foliar (Malajczuck 1983, Blakeman y Fokkema 1982, Papavizas 1981).

Se han realizado estudios para lograr el manejo de enfermedades con base en control biológico. Tal es el caso del estudio presentado por Vargas (1991) que evaluó diferentes microorganismos antagonistas y hongos endomicorrizógenos para el combate de *Corticium* en tomate mostrando una efectividad moderada comparada con los testigos.

La utilización de microorganismos antagonistas representa una de las alternativas para el control biológico de *P. infestans*. Para ello, Sánchez *et al.* (1998) realizaron una búsqueda

de éstos en la filósfera, rizosfera y endosfera de tomate comercial y silvestre para seleccionar los mejores.

Sánchez *et al.* (1999) evaluaron los cinco microorganismos antagonistas de *P. infestans*, entre ellos *Serratia sp.*, *Trichoderma sp.*, *Fusarium sp.* y dos *Penicillium*. Observaron como se logra reducir el área del follaje lesionada principalmente con *Penicillium*, pero no descartan la potencialidad que *Trichoderma* podría tener como controlador biológico.

Pérez y Sánchez (2000), en un estudio con los mismos microorganismos indicados anteriormente, observaron que los sustratos celulosa y glucano favorecen la acción de los antagonistas, lo cual se presenta como otra opción de manejo para *P. infestans*.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación de los ensayos

La investigación se realizó en el invernadero de la finca orgánica comercial localizada en San Juan Sur de Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica, a 960 msnm y 9°53' de Latitud Norte y 83°42' de Longitud Oeste, propiedad del señor Guillermo Campos. También se trabajó en el laboratorio e invernadero de la Unidad de Fitoprotección del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), localizado en Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica. Este Centro se encuentra situado a 602 msnm y 9°55'21" de Latitud Norte y 83°39'40" de Longitud Oeste, donde la precipitación promedio anual es de 2065 mm, con una humedad relativa de 87 % y una temperatura promedio anual de 21° C, con una máxima de 26° C y una mínima de 18° C.

3.2. Bioensayo 1. Evaluación de los tratamientos en folíolos desprendidos en laboratorio

3.2.1. Material experimental

Para el presente ensayo se utilizaron plántulas de tomate de la variedad Montaña fresca. Las plántulas fueron transplantadas en macetas plásticas con suelo fertilizado con compost producido en el ingenio azucarero Juan Viñas, en una proporción de 50 % por cada uno. Se mantuvo una producción constante de plantas en invernadero, de donde se tomaron los folíolos necesarios para realizar las evaluaciones de los extractos en folíolos desprendidos.

3.2.2. Tratamientos evaluados

Se evaluaron las mezclas de flor de azufre + cola de caballo (*Equisetum giganteum*) + cal, flor de azufre + cal, carbonato de calcio + cenizas de madera, el extracto de cola de caballo (*E. giganteum*) y el producto comercial Biocto 6 84.68 SL, los cuales tienen propiedades fúngicas y son certificados como productos orgánicos y se describen a continuación:

3.2.2.1. Flor de azufre + cola de caballo (*E. giganteum*) + cal

En cuatro litros de agua se mezclaron 250 g de cal con 0,5 Kg de flor de azufre y 250 g de cola de caballo (*E. giganteum*). Se hirvió durante una hora aproximadamente hasta que tomó una coloración rojiza. De la solución resultante, que se almacenó en recipientes de plástico, se realizó un colado para extraer medio litro y mezclarlos con agua hasta completar 18 litros (equivalente a una bomba de fumigación de espaldas). Seguidamente, se calculó el volumen necesario para aplicar a los foliolos de tomate correspondientes.

3.2.2.2. Carbonato de calcio + cenizas de madera

En 18 litros de agua se colocó tres onzas de carbonato de calcio. Seguidamente se añadió 250 g de cenizas de madera y se lo dejó reposar durante 24 horas. Luego, se filtró y se lo aplicó en sus respectivas unidades experimentales o foliolos de tomate.

3.2.2.3. Cal + flor de azufre

En cuatro litros de agua se mezclaron 250 g de cal con 0,5 Kg de flor de azufre. Se hirvió durante una hora aproximadamente hasta que tomó una coloración rojiza (teja). De la solución resultante, que se puede almacenar en recipientes de plástico, se realizó un colado para extraer medio litro y mezclarlos con agua hasta completar 18 litros (equivalente a una bomba de fumigación de espaldas). Seguidamente se calculó el volumen necesario para aplicarlo a los foliolos de tomate correspondientes.

3.2.2.4. Cola de caballo (*E. giganteum*)

En cuatro litros de agua se hirvió 250 g de cola de caballo (*E. giganteum*) durante una hora. De la solución resultante se utilizó medio litro para mezclarlo con agua hasta completar los 18 litros equivalentes a una bomba de espaldas y se tomó la cantidad necesaria para realizar las aplicaciones en los foliolos correspondientes.

3.2.2.5. Biocto 6 84.68 SL

El componente principal del Biocto es el extracto de *Citrus paradisi*. La casa comercial recomienda aplicar el producto con concentraciones entre dos y cuatro mililitros por litro de agua en hortalizas (CATIE y GTZ 2002). Se realizaron diferentes pruebas entre las concentraciones mencionadas y se observó que concentraciones superiores a dos

mililitros ocasionaban una necrosis en los folíolos de tomate. Por tal motivo, se determinó utilizar dos mililitros de producto por cada litro de agua para los diferentes ensayos a evaluar. Esta solución se aplicó a los folíolos correspondientes.

3.2.3. Aplicación de los tratamientos

Se utilizaron los últimos folíolos de la tercera y cuarta hoja más joven de las plantas producidas dentro del invernadero experimental. Para evitar el envejecimiento rápido de estos folíolos, se tuvo el cuidado en cortarlos en parejas, de manera opuesta y unidos por su pecíolo. Estos folíolos fueron lavados con bastante agua para disminuir el efecto de tomatina y propiciar las condiciones óptimas para el proceso de inoculación e infección de *Phytophthora infestans* (Pérez y Sánchez 2000). A cada par de folíolo recolectado se le aplicó su respectivo tratamiento en horas de la tarde, además se contó con un testigo al que solo se le aplicó agua. Cada tratamiento contó con cinco repeticiones.

3.2.4. Recolección e inoculación de *P. infestans*

Veinticuatro horas después de la aplicación de los tratamientos en los folíolos, se procedió con la inoculación de *P. infestans*. Para ello, se recolectó material vegetal con lesiones típicas del patógeno, en invernadero comercial ubicado en San Juan Sur de Turrialba (ver acápite 3.1). Con ayuda de un pincel se cosecharon los esporangios de las lesiones para preparar una suspensión de 3×10^4 esporangios/ml. Motitas de algodón impregnadas con la suspensión se colocaron en el envés de cada folíolo durante veinticuatro horas. Los folíolos tratados se mantuvieron en cajas con humedad alta para favorecer la penetración del patógeno (Pérez y Sánchez 2000).

3.2.5. Variables a evaluar

Después de las 48 h de realizada la inoculación con *P. infestans* se realizaron observaciones diarias del desarrollo de la enfermedad en cada tratamiento. Se evaluó el porcentaje de área foliar afectada (PAFA) en cada folíolo hasta que el testigo alcanzó el 100 % de infección (Pérez y Sánchez 2000).

3.2.6. Diseño experimental

El experimento tuvo un diseño completamente al azar como parcelas divididas en el tiempo compuesto de seis tratamientos y cinco repeticiones, donde cada repetición es un

foliolo o unidad experimental. El modelo estadístico para el presente experimento se describe de la siguiente manera:

$$Y_{ik} = \mu + T_i + \epsilon_{k(i)} + F_j + TF_{ij} + \epsilon_{k(ij)}$$

Donde:

Y_{ik} = variable de respuesta del i-ésimo tratamiento en la k-ésima repetición.

μ = media general.

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento.

$\epsilon_{k(i)}$ = error para tratamiento que se distribuye normal con media cero y varianza constante.

F_j = efecto de la j-ésima fecha de evaluación.

TF_{ij} = interacción entre el i-ésimo tratamiento y la j-ésima fecha de evaluación.

$\epsilon_{k(ij)}$ = error experimental que se distribuye normal con media cero y varianza constante.

3.2.7. Análisis de resultados

El porcentaje de área foliar afectada (PAFA) de los foliolos se transformó utilizando la raíz cuadrada. Al mismo tiempo, se realizó un análisis de varianza como parcelas divididas en el tiempo y una prueba de comparación de medias (Duncan al 5 %) para determinar cual de los tratamientos es el mejor.

De acuerdo al desarrollo de la enfermedad, se consideró necesario calcular el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (ABCPE_R), a partir de los promedios totales del PAFA. El ABCPE indica la cantidad de enfermedad entre dos observaciones de tiempo y se utilizó la ecuación propuesta por Tredway *et al.* (2003) y Stein y Kirk (2002):

$$ABCPE = \text{SUM } (y_i + y_{i+1})/2 \times dt_i$$

Donde:

Y_i = proporción de enfermedad (incidencia o severidad) afectada en la i-ésima observación.

T_i = tiempo (días) después de la inoculación en la i-ésima observación.

SUM = sumatoria de n observaciones.

Para calcular el ABCPE_R se utilizó la formula:

$$ABCPE_R = ABCPE_{(i)} / ABCPE \text{ (del más susceptible)}$$

Asimismo, se consideró necesario calcular la tasa de crecimiento del área de la lesión de la enfermedad para cada tratamiento mediante una transformación logística por ser una enfermedad policíclica (Rivas 1996). Para este análisis se usaron los datos ajustados de la regresión lineal de:

$$\ln(Y/(1-Y)) \text{ vs. el tiempo en días}$$

Donde:

Y = la proporción del área foliar lesionada.

$1-Y$ = área evaluada que aún no presenta lesiones (sana).

Los parámetros obtenidos por este análisis ($Y = a + bx$) fueron validados por el coeficiente de regresión R^2 y permiten determinar la tasa de crecimiento de la lesión (b) (Rivas 1993).

Una vez obtenidas las regresiones lineales para cada tratamiento, se realizó un análisis con el fin de determinar el momento en el que el área foliar evaluada alcanza un 50 % de área lesionada (T_{50}). Este parámetro fue calculado usando la fórmula de la pendiente: ($Y = a + bx$), donde Y es la proporción de área lesionada (0,50) que equivale al 50 %, a es el intercepto, b es la pendiente de la recta y x es el T_{50} . Ese parámetro está validado por el coeficiente de regresión R^2 (Rivas 1993).

3.3. Bioensayo 2. Evaluación de los tratamientos en plantas cultivadas en invernadero experimental

3.3.1. Aplicación de los tratamientos

Los mejores tratamientos del ensayo anterior (flor de azufre + cola de caballo + cal, carbonato de calcio + cenizas y Biocto 6 8468 SL, ver acápite 3.2.2.) fueron aplicados en plantas de 8 a 10 semanas de edad, cultivadas en macetas dentro del invernadero experimental. El día previo a la aplicación de los tratamientos, las plantas fueron rociadas con agua durante cinco minutos, para lavar el follaje y disminuir los efectos de tomatina. La aplicación de las mezclas se realizó en horas de la tarde y se contó con un testigo en el que solo se aplicó agua. Cada tratamiento contó con cinco repeticiones.

3.3.2. Recolección e inoculación de *P. infestans*

Veinticuatro horas después de haber realizado la aplicación de los tratamientos en los foliolos, se procedió con la inoculación de *P. infestans*. Para ello, se recolectó material vegetal con lesiones típicas de *P. infestans* del invernadero comercial ubicado en San Juan Sur de Turrialba (ver acápite 3.1.). Con ayuda de un pincel se cosecharon los esporangios de las lesiones para preparar una suspensión de 3×10^4 esporangios/ml. Motitas de algodón impregnadas con la suspensión fueron colocadas en el haz de uno de los tres foliolos terminales de la tercera y cuarta hoja más joven de cada planta durante 24 horas. Inmediatamente después las plantas fueron rociadas dos veces por día con agua a través de micro aspersores con el propósito de simular un rocío natural y mantener una película de agua en el follaje y la humedad necesaria para favorecer la penetración y desarrollo del patógeno.

3.3.3. Variables a evaluar

Después de las 48 h de realizada la inoculación con *P. infestans* en las plantas, se realizaron observaciones diarias del desarrollo de la enfermedad en cada planta. Se evaluó el porcentaje de área foliar afectada (PAFA) en cada foliolo inoculado, hasta que las plantas testigos alcanzaron el 100 % de infección.

3.3.4. Diseño experimental

El experimento tuvo un diseño completamente al azar como parcelas divididas en el tiempo con cinco repeticiones, donde cada repetición es una planta dentro del invernadero. El modelo estadístico para el presente experimento se describe de la siguiente manera:

$$Y_{ik} = \mu + T_i + \epsilon_{k(i)} + F_j + TF_{ij} + \epsilon_{k(ij)}$$

Donde:

Y_{ik} = variable de respuesta del i-ésimo tratamiento en la k-ésima repetición.

μ = media general.

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento.

$\epsilon_{k(i)}$ = error para tratamiento que se distribuye normal con media cero y varianza constante.

F_j = efecto de la j-ésima fecha de evaluación.

TF_{ij} = interacción entre el i-ésimo tratamiento y la j-ésima fecha de evaluación.

$\epsilon_{k(ij)}$ = error experimental que se distribuye normal con media cero y varianza constante.

3.3.5. Análisis de resultados

El porcentaje de área foliar afectada (PAFA) de los folíolos evaluados en cada planta fueron transformados utilizando la raíz cuadrada. Al mismo tiempo, se realizó un análisis de varianza como parcelas divididas en el tiempo y una prueba de comparación de medias (Duncan al 5 %) para determinar cual de los tratamientos es el mejor.

De acuerdo al desarrollo de la enfermedad, se consideró necesario calcular el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (ABCPE_R), la tasa de crecimiento del área de la lesión y el momento en el que el área foliar evaluada alcanza un 50 % de área lesionada (T_{50}) (ver acápite 3.2.7.).

3.4. Ensayo 1. Evaluación de las mezclas que utiliza el agricultor en ambiente controlado, para la producción comercial de tomate

3.4.1. Material experimental

Se trabajó con plántulas comerciales de tomate de la variedad Montaña fresca que fue la que el productor utilizó para la siembra del presente año.

3.4.2. Manejo agronómico del cultivo

Se realizaron todas las labores que el productor efectúa y que son recomendadas para la producción de tomate bajo invernadero: el transplante de las plántulas se efectuó directamente de las bandejas al suelo del invernadero, previamente fertilizado con bokashi. Durante la floración se realizó una aplicación de bokashi, calcio y magnesio, y durante el llenado de los frutos se realizaron dos aplicaciones de bokashi más potasio y magnesio; también se realizaron las aplicaciones de abonos foliares que usualmente hace el productor; todo esto para garantizar a la planta la mayor disponibilidad de nutrimentos y, por ende, una mayor producción. Las malezas fueron retiradas manualmente para favorecer el desarrollo de las plantas de tomate.

Se realizaron las prácticas agrícolas recomendadas para el manejo de enfermedades del cultivo de la mejor manera posible y en el momento preciso, tal como lo recomienda Salas

(2003). Para ello, inmediatamente después de que la planta inició la producción de hijos, se seleccionaron los dos mejores de cada planta, cortando el resto que aparecieron hasta que la planta detuvo parcialmente el crecimiento vegetativo. Esto para mejorar el paso de luz y permitir una buena aireación en el cultivo y de esta forma disminuir la humedad relativa del ambiente.

Se eliminaron las hojas que se encontraban en contacto con el suelo, con la finalidad de manejar el tizón temprano (*Alternaria solani*). Del mismo modo, se eliminarán los tejidos enfermos y frutos dañados, con el cuidado de no dejar la planta sin el follaje necesario para el llenado de frutos.

Con respecto al riego, se enterraron las mangueras a 10 cm de profundidad, aproximadamente, para evitar la presencia de humedad superficial y que el agua llegará directamente a las raíces de las plantas. De esta manera no se favoreció a las humedades relativas altas.

Por último, se amarraron las plantas a postes (entutorado) para evitar que las ramas tocaran al suelo y que se rompieran por el peso de producción, lo cual puede favorecer la entrada de algunos organismos que producen enfermedades. Se utilizaron tutores unidos con un alambre ubicado a 120 cm del suelo, se amarraron las plantas utilizando mecates tomateros para mantener las ramas del tomate elevadas.

3.4.3. Tratamientos evaluados

Se utilizaron dos mezclas que el agricultor preparó y utiliza frecuentemente para el manejo de enfermedades, flor de azufre + cola de caballo (*E. giganteum*) + cal y carbonato de calcio + cenizas de madera, descritos anteriormente (ver acápite 3.2.2.). Además, se contó con un testigo absoluto, en el cual no se aplicó producto alguno ni agua para evitar favorecer la humedad del ambiente, y que representó al efecto de las prácticas de manejo recomendadas.

3.4.4. Aplicación de los tratamientos

Los tratamientos se comenzaron a aplicar cuando se presentó un 10 % de enfermedad en un máximo de 50 % de las plantas observadas al azar. Para ello se efectuaron observaciones continuas desde el transplante, en cada bloque dentro de la parcela de manejo. Cuando el desarrollo de la enfermedad alcanzó el nivel indicado, se realizaron

aplicaciones semanales del tratamiento correspondiente, para tratar de mantener entre el 10 y 20 % de severidad el progreso de la enfermedad en el cultivo.

3.4.5. Variables a evaluar

Las evaluaciones se realizaron después de la primera aplicación de las mezclas, tomando datos semanalmente. Para ello, se observó el porcentaje de área foliar afectada (PAFA) en cada planta. En este ensayo, también se incluyó la recolección de datos de temperatura y humedad relativa bajo ambiente controlado con un hidrotérmografo.

Se evaluó la producción en kilogramos y el número de frutos sanos por planta y el número de frutos enfermos por planta de tomate.

3.4.6. Diseño experimental

El diseño fue en bloques completamente al azar como parcelas divididas en el tiempo con tres repeticiones y tres tratamientos. Cada bloque estuvo representado por tres surcos con 21 plantas cada uno, que se sembraron a 0.40 m de distancia y un metro entre surco. Cada bloque contó con tres unidades experimentales en donde los tratamientos fueron distribuidos al azar. De cada unidad experimental, compuesta por 21 plantas, se evaluaron las cinco plantas del medio para dejar el efecto de borde.

El modelo estadístico general para éste experimento se describe de la siguiente manera:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + ?_{ij} + F_k + FT_{(jk)} + ?_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = variable de respuesta de la i-ésima observación del k-ésimo tratamiento.

μ = media general.

B_i = es el término que define los bloques.

T_j = efecto del j-ésimo tratamiento.

$?_{ij}$ = error para tratamiento y bloque que se distribuye normal, con media cero y varianza constante.

F_k = efecto de la k-ésima fecha de evaluación.

TF_{jk} = interacción entre el j-ésimo tratamiento y la k-ésima fecha de evaluación.

$?_{ijk}$ = error experimental que se distribuye normal con media cero y varianza constante

3.4.7. Análisis de resultados

De acuerdo con la metodología utilizada por Pérez y Sánchez (2000), el porcentaje del área foliar afectado (PAFA) en cada planta fue transformado de acuerdo a la ecuación $v(x+0.5)$. Al peso de los frutos por planta, al número de frutos sanos y al número de frutos enfermos por plantas se les realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias (Duncan al 5 %); al PAFA se realizó un análisis de varianza como parcelas divididas en el tiempo para determinar cual de los tratamientos es el mejor.

Se realizaron pruebas de correlación entre el promedio semanal (corresponde al promedio de los siete días anteriores a la lectura) de la temperatura máxima, media y mínima; y la humedad relativa máxima, media y mínima con la severidad de la enfermedad ($P \leq 0.05$). Para ello, se utilizaron los residuos del análisis de varianza para eliminar el efecto de bloque. Por otro lado, se realizaron pruebas de correlación entre las variables meteorológicas indicadas anteriormente y la severidad de la enfermedad presentada en cada una de las mezclas evaluadas.

De acuerdo al desarrollo de la enfermedad, se observó necesario calcular el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (ABCPE_R), la tasa de crecimiento del área de la lesión y el momento en el que el área foliar evaluada alcanza un 50 % de área lesionada (T_{50}) (ver acápite 3.2.7.).

3.5. Bioensayo 3. Evaluación del pH en hojas tratadas con las mezclas que el agricultor usa para el manejo de enfermedades

3.5.1. Medición del pH de las mezclas

Se midió el pH de las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal y carbonato de calcio + cenizas (ver acápite 3.2.2.) que el agricultor utiliza para el manejo de enfermedades en tomate, tal como los aplica en su finca.

3.5.2. Medición del pH en la superficie de los folíolos asperjados con las mezclas

Para determinar el pH en la superficie de los folíolos se utilizaron tres hojas completas por tratamiento de tomate de la variedad Hayslip, las cuales fueron tratadas con las mezclas y el testigo. Posteriormente las hojas fueron colocadas en cámaras húmedas para mantenerlas durante una semana, periodo que duró el ensayo.

Pasado este periodo, de cada tratamiento se obtuvo un foliolo por repetición que fue colocado en un beaker, se agregó agua esterilizada hasta completar 150 ml y se lo agitó durante tres minutos para medir el pH. Se relacionó éste periodo de agitación después de evaluar diferentes tiempos, hasta que se estableció tres minutos como el tiempo porque el pH se mantuvo estable.

El pH en la superficie del foliolo se midió a intervalos de 24 horas durante cinco días consecutivos y se realizó una medición por foliolo.

3.5.3. Variables a evaluar

Se evaluó el pH de las mezclas tal como el agricultor las aplica en su finca y el pH en la superficie del foliolo durante cinco días consecutivos.

3.5.4. Diseño experimental

El experimento tuvo un diseño completamente al azar como parcelas divididas en el tiempo con tres repeticiones. El modelo estadístico para la presente evaluación se describe a continuación:

$$Y_{ik} = \mu + T_i + \epsilon_{k(i)} + F_j + TF_{ij} + \epsilon_{k(ij)}$$

Donde:

Y_{ik} = variable de respuesta del i-ésimo tratamiento en la k-ésima repetición.

μ = media general.

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento.

$\epsilon_{k(i)}$ = error para tratamiento que se distribuye normal con media cero y varianza constante.

F_j = efecto de la j-ésima fecha de evaluación.

TF_{ij} = interacción entre el i-ésimo tratamiento y la j-ésima fecha de evaluación.

$\epsilon_{k(ij)}$ = error experimental que se distribuye normal con media cero y varianza constante.

3.5.5. Análisis de resultados

Se realizó un análisis de varianza como parcelas divididas en el tiempo y una prueba de comparación de medias (Duncan al 5 %) para determinar como influyen las mezclas en el pH de la superficie foliar.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Bioensayo 1. Evaluación de los tratamientos en foliolos desprendidos en laboratorio.

La figura 1 muestra el porcentaje de área foliar afectada (PAFA) de los tratamientos evaluados. Se observa que la curva de progreso de la enfermedad se comporta como una enfermedad policíclica. Según Strange (1993) esto se debe a que este tipo de agente causal presenta más de una generación por estación del cultivo.

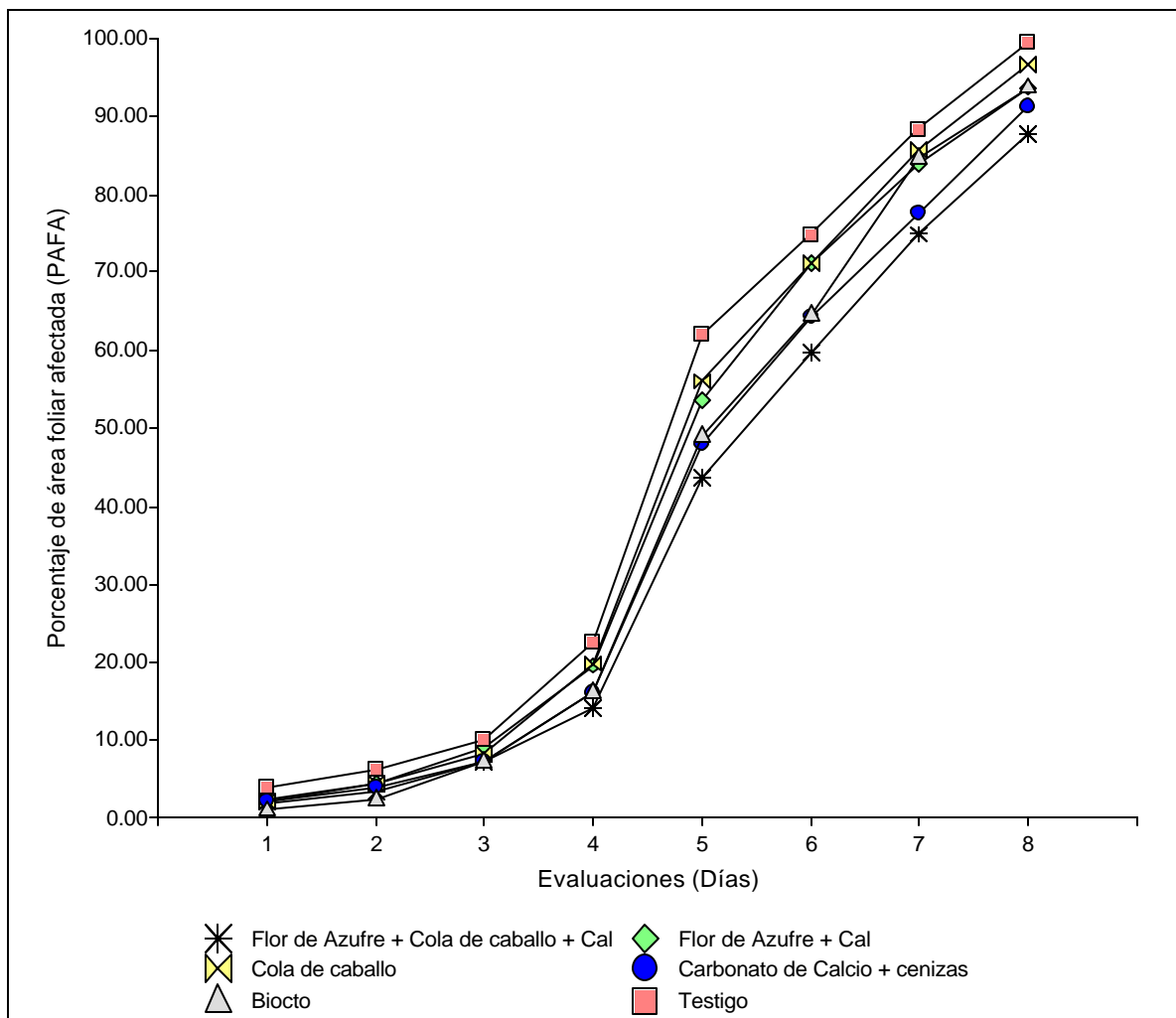


Figura 1. Desarrollo de la enfermedad causada por *P. infestans*, medida como porcentaje de área foliar afectada (PAFA) según los tratamientos evaluados en foliolos desprendidos.

Se observa un comportamiento similar durante los primeros tres días de lecturas, aunque sobresale el testigo con el mayor PAFA. Sin embargo, a partir del cuarto día la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal y la mezcla de carbonato de calcio + cenizas presentaron el PAFA por debajo de los otros tratamientos. También se observa que todos los tratamientos evaluados presentan un desarrollo de la enfermedad inferior al testigo. Lo observado se corrobora mediante el análisis de varianza (Anexo 1), donde se indica que existen diferencias significativas entre las mezclas ($P \leq 0.05$).

En el cuadro 1 se presenta la agrupación de medias de los tratamientos según el PAFA (Duncan, $P \leq 0.05$), donde las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal (36.58 %) y carbonato de calcio + cenizas (38.83 %) y el producto comercial Biocto (39.88 %) no se diferencian y presentan el menor PAFA. La mezcla de flor de azufre + cenizas (42.23 %) y el extracto de cola de caballo (43.03 %) se conglomeran en un segundo grupo sin diferencia significativa, dejando al testigo en un último grupo con el mayor PAFA (45.98%). Por lo tanto, en este cuadro la diferencia más importante se observó entre el tratamiento flor de azufre + cola de caballo + cenizas y el testigo.

Cuadro 1. Agrupación de medias del porcentaje de área foliar afectada (PAFA) según los tratamientos evaluados en foliolo desprendidos.

Tratamientos	Medias	n	
Flor de azufre + cola de caballo + cal	36.58	40	A
Carbonato de calcio + cenizas	38.83	40	A B
Biocto	39.88	40	A B
Flor de azufre + cal	42.23	40	B C
Cola de caballo	43.03	40	B C
Testigo	45.98	40	C

Error: 0.5966; gl: 24; Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P \leq 0.05$)

En la figura 2 se presenta el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) para cada tratamiento evaluados en foliolos desprendidos. Se observa que las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal y carbonato de calcio + cenizas y el producto comercial Biocto presentan una menor área, lo que también coincide con la prueba de agrupación de medias para el PAFA (Cuadro 1). Estos resultados fueron confirmados al calcular el área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (Figura 3).

Las agrupación de medias para el ABCPE (Figura 2) también indica que el extracto de cola de caballo y la mezcla de flor de azufre + cal presentan una mayor área, coincidiendo con lo observado en el cuadro 1. La baja efectividad del extracto cola de caballo se puede deber a que fue aplicado con una frecuencia mayor a los 8 días durante el periodo que duró el ensayo. Bonilla *et al.* (1993) indican que con una frecuencia de aplicación del extracto cola de caballo de tres veces por semana obtuvieron un 65 % de infección de *P. infestans* en hojas de tomate, comparado con el 73 % de infección realizando dos aplicaciones por semana.

Por otro lado, la baja efectividad de la mezcla de flor de azufre + cal se puede deber a que consta de dos componentes (calcio y cenizas) que pueden tener un comportamiento similar; mientras que, hay tres componentes presentes en la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal, que pueden presentar diferentes modos de acción. En una publicación del Bio Bio (s.f.) indica que la cola de caballo contiene ácido silícico y una saponina llamada Equisetonina, que son tóxicos para los hongos y favorece la estructura de la planta. Asimismo, en una de las publicaciones de Planeta Orgánico (2003) y Bonilla *et al.* (1993) agregan que el ácido silícico entra directamente por la epidermis a las células de la planta y provee un escudo reforzado contra el ataque de hongos patógenos. Esto indicaría que la mezcla que no contiene cola de caballo realiza un menor control hacia *P. infestans*.

El testigo presenta el mayor grado de severidad de *P. infestans* durante la prueba (Figuras 1, 2 y 3). Esto confirma que la humedad alta de la cámara ofreció condiciones favorables para la penetración y desarrollo del patógeno (Pérez y Sánchez 2000, Sherf y McNab 1986). Por lo tanto, se puede afirmar que las condiciones de humedad alta dentro de las cámaras fueron óptimas para el desarrollo del patógeno y que la reducción de severidad en los otros tratamientos fue causada por lo productos aplicados.

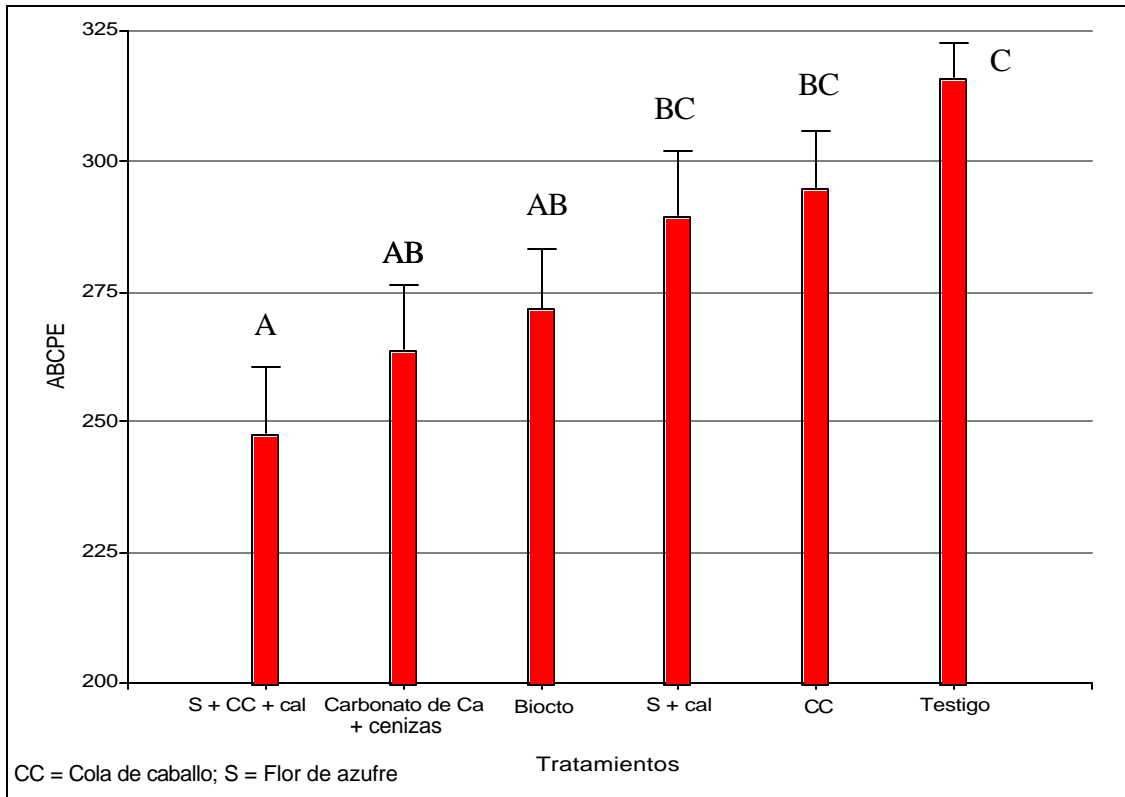


Figura 2. Agrupación de las medias del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por *P. infestans* según los tratamientos evaluados en foliolos desprendidos.

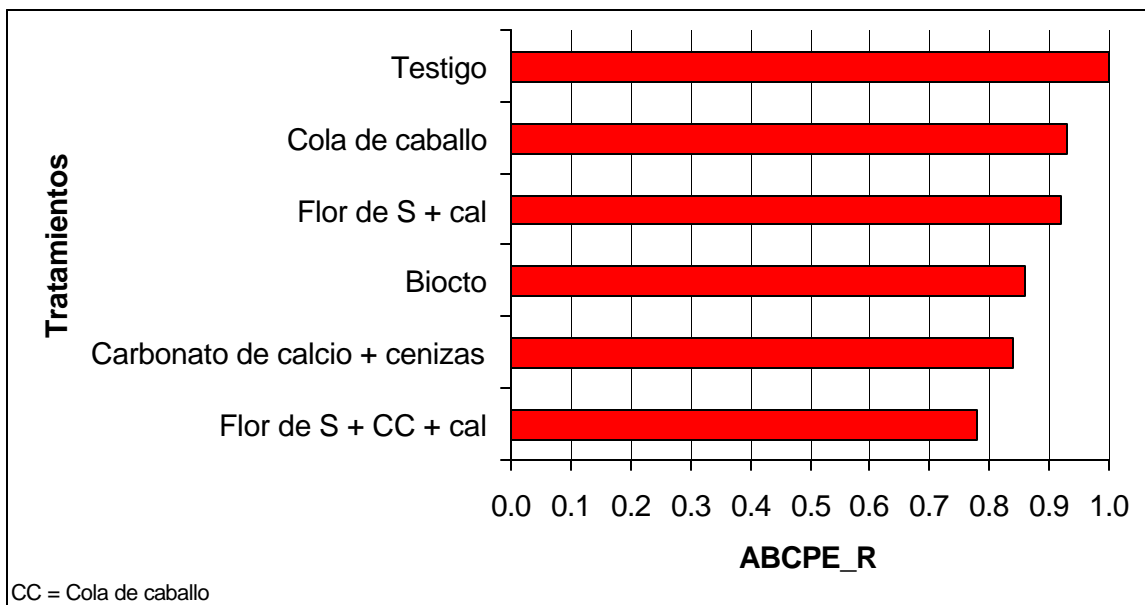


Figura 3. Area bajo la curva de progreso de la enfermedad relativa (ABCPE_R) causada por *P. infestans* según los tratamientos evaluados en foliolos desprendidos.

En el cuadro 2 se presenta un análisis epidemiológico de los tratamientos evaluados en foliolos desprendidos (Anexo 3). Se observa que la tasa de crecimiento de la lesión (b), que significa el número de veces en que se incrementó por unidad de tiempo medida en días, es menor en las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal (0.88) y carbonato de calcio + cenizas (0.91), seguido de la mezcla de flor de azufre + cal (0.94) y el extracto de cola de caballo (1.03), quedando desplazado en el quinto lugar el producto comercial orgánico Biocto (1.06), que además presenta a valores bajos de ABCPE y ABCPE_R. El testigo presenta la mayor tasa de crecimiento (1.15).

El desplazamiento del Biocto con respecto a la tasa de crecimiento al quinto lugar se debe a que en las últimas dos evaluaciones (Figura 1) presenta un incremento pronunciado comparado con los demás tratamientos, debido a la pérdida rápida de su efectividad en el transcurso del tiempo. La casa comercial indica que en aplicaciones curativas se deben realizar ciclos de cinco y siete días entre aplicación (CATIE y GTZ 2002). Por otro lado, Rodríguez y Montilla (2002) consideran necesario realizar aplicaciones semanales del extracto *Citrus paradisi* (componente principal del Biocto) para que tenga efecto sobre el control de la marchitez.

Cuadro 2. Parámetros epidemiológicos obtenidos de los tratamientos evaluados para el control *P. infestans* en foliolos desprendidos.

Tratamientos	a	b	R ²	T ₅₀	ABCPE	ABCPE_R	P<=0.05
Flor de S + cola de caballo + cal	-4.99	0.88	0.99	5.7	247.8	0.78	<0.0001
Carbonato de calcio + cenizas	-4.96	0.91	0.99	5.5	263.9	0.84	<0.0001
Biocto	-5.69	1.06	1.00	5.4	271.6	0.86	<0.0001
Flor de S + cal	-4.84	0.94	0.99	5.1	289.7	0.92	<0.0001
Cola de caballo	-5.17	1.03	0.99	5.0	294.7	0.93	<0.0001
Testigo	-5.18	1.15	0.92	4.5	316.0	1.00	<0.0001

En el mismo cuadro 2 se presenta la variable epidemiológica T_{50} , que expresa el tiempo en que el área lesionada alcanza una proporción del 50 % en presencia de un determinado tratamiento. Se observa que las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal y carbonato de calcio + cenizas y el producto orgánico comercial Biocto, son los que presentaron el periodo más largo para alcanzar el 50 % de daño que fue de 5.7, 5.5 y 5.4 días, respectivamente, comparado con el testigo que fue de 4.5 días. Esto equivale a decir que mientras el testigo alcanza una proporción de área lesionada del 50 % a los 4.5 días, desde que aparecieron los síntomas de la enfermedad, las mezclas y el producto comercial orgánico antes indicados tardaron cerca de un día más (1.2, 1.0 y 0.9, respectivamente). Por otro lado, las mezclas de flor de azufre + cal y el extracto de cola de caballo presentan un T_{50} que oscila entre 5.1 y 5.0 días, respectivamente, también mayor al testigo.

Los resultados anteriormente expuestos revelan que existe una diferencia significativa entre las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal y carbonato de calcio + cenizas y el producto comercial orgánico Biocto, con respecto a la mezcla de flor de azufre + cal, el extracto de cola de caballo y el testigo. Sin embargo, se puede suponer que el Biocto presenta una tasa de crecimiento mayor a todas las mezclas debido a su poco tiempo de efectividad y a la necesidad de aplicarlo a intervalos menores a los siete días (CATIE y GTZ 2002).

4.2. Bioensayo 2. Evaluación de los tratamientos en plantas cultivadas en invernadero experimental.

De los resultados obtenidos en el bioensayo 1, se seleccionaron las mejores mezclas (flor de azufre + cola de caballo + cal y carbonato de calcio + cenizas) y el producto comercial orgánico Biocto para ser evaluados en plantas cultivadas en invernadero experimental.

En la figura 4 se observa que la curva de progreso de la enfermedad en plantas cultivadas en invernadero experimental se comporta como una enfermedad policíclica más acentuada que en la figura 1. El motivo de esta tendencia puede deberse a que el simulador de neblina instalado en las cámaras dentro del invernadero permitió mantener una humedad relativa alta y una película de agua en el follaje durante el bioensayo, condiciones que favorecen a la enfermedad. Sherf y MacNab (1986) mencionan que la humedad relativa alta y la presencia de una película de agua en el follaje favorecen tanto la producción de esporangios como en su maduración, diseminación y viabilidad.

También se observa que la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal presenta una curva del progreso de la enfermedad similar al producto orgánico comercial Biocto. Sin embargo, en ambos casos la curva del progreso de la enfermedad se mantiene por debajo de la mezcla de carbonato de calcio + cenizas y del testigo. Este último presenta el mayor PAFA en todas las lecturas realizadas en el presente bioensayo.

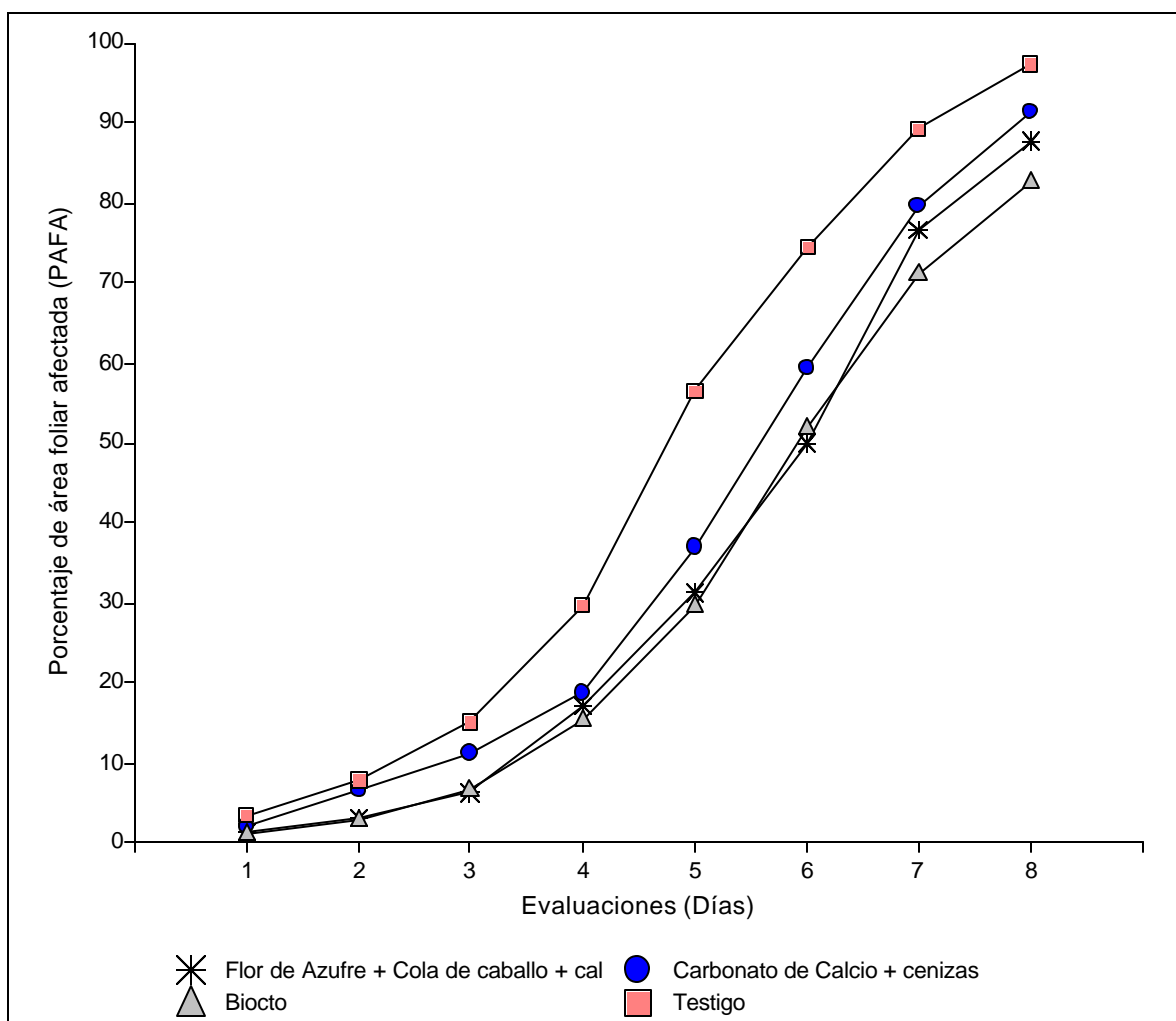


Figura 4. Desarrollo de la enfermedad causada por *P. infestans*, medida como porcentaje de área foliar afectada (PAFA) según los tratamientos evaluados en plantas cultivadas en invernadero experimental.

Según el análisis de varianza (Anexo 4) el PAFA presenta diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$). Por tal motivo, en el cuadro 3 se presenta la agrupación de

medias de los tratamientos según el PAFA (Duncan, $P \leq 0.05$) en plantas cultivadas en invernadero experimental. Según el análisis, el Biocto (32.60 %) se agrupa con la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal (34.15 %) como los tratamientos con el menor PAFA. Asimismo, separa la mezcla de carbonato de calcio + cenizas en un segundo grupo (38.25 %) y al testigo en el grupo cuyo PAFA fue el mayor (46.73 %).

Cuadro 3. Agrupación de medias del porcentaje de área foliar afectada (PAFA) según los tratamientos evaluados en plantas cultivadas en invernadero experimental.

Tratamientos	Medias	n	
Biocto	32.60	40	A
Flor de azufre + cola de caballo + cal	34.15	40	A B
Carbonato de calcio + cenizas	38.25	40	B
Testigo	46.73	40	C

Error: 1.3817; gl: 16; Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P \leq 0.05$)

La diferencia del PAFA (cuadro 3) entre la mezcla de carbonato de calcio + cenizas y la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal, se puede deber al número de componentes presentes en cada una de estas. Pues la mezcla que contiene cola de caballo aporta ácido silícico, que entra directamente en las células y provee un escudo reforzado contra el ataque de hongos patógenos como se mencionó en el ensayo anterior (Cuadro 1).

Por otro lado, al evaluar una menor cantidad de tratamientos en este bioensayo comparado con el bioensayo 1, se puede identificar con mayor precisión las diferencias entre las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal y carbonato de calcio + cenizas. Es por esta razón que se aprecia una diferencia significativa entre las mezclas mencionadas que tal vez el análisis estadístico no detectó en el bioensayo 1.

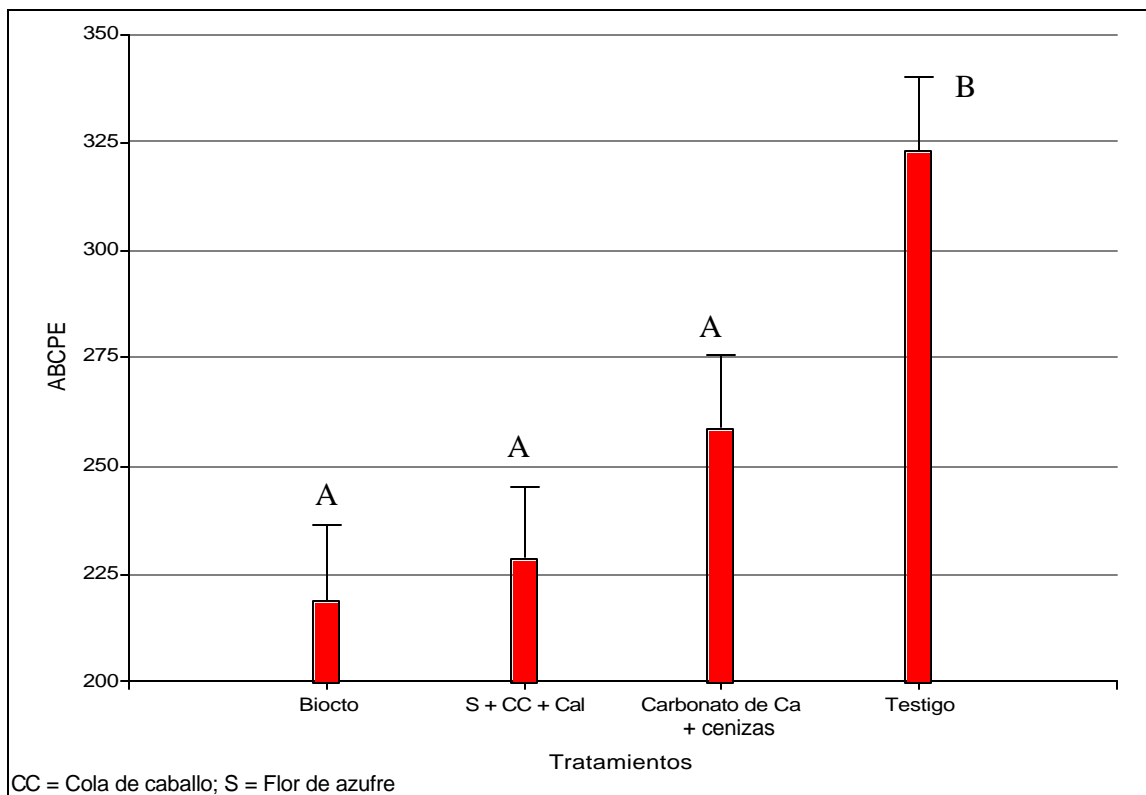


Figura 5. Agrupación de las medias del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por *P. infestans* según los tratamientos evaluados en plantas cultivadas en invernadero experimental.

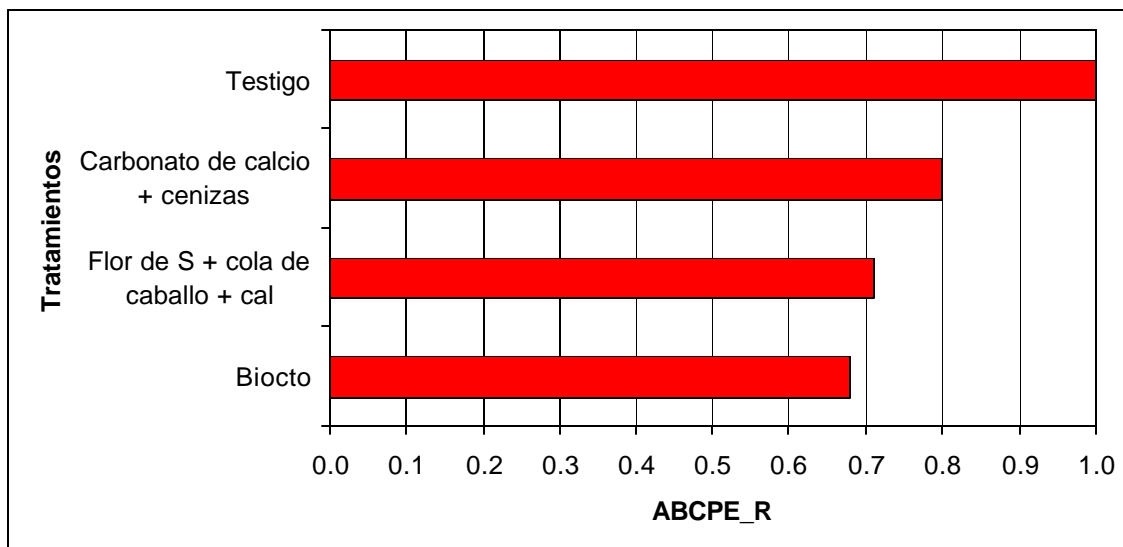


Figura 6. Area bajo la curva de progreso de la enfermedad relativa (ABCPE_R) debida a *P. infestans* según los tratamientos evaluados en plantas cultivadas en invernadero experimental.

En la figura 5 se presenta el ABCPE para cada tratamiento aplicados en plantas cultivadas en invernadero experimental. Se puede observar que la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal y el Biocto son los que presentan una menor área, lo que también coincide con la prueba de comparación de medias para el PAFA (Cuadro 3). Sin embargo, la agrupación de medias para el ABCPE agrega la mezcla de carbonato de calcio + cenizas al grupo con los tratamientos indicados como las de menor área (Figura 5 y Anexo 5). Estos resultados fueron confirmados al calcular el ABCPE_R (Figura 6).

No obstante, se observa que el testigo presenta un área bajo la curva del progreso de la enfermedad mayor que los otros tratamientos. Esto indica que la mayor severidad causada por *P. infestans* fue alcanzada en el testigo. Al igual que en el ensayo anterior, esto comprueba que la humedad relativa alta de la cámara en el invernadero provocada por el simulador de neblina ofreció condiciones favorables para la penetración y desarrollo del patógeno (Pérez y Sánchez 2000, Sherf y McNab 1986).

En el cuadro 4 se presenta un análisis epidemiológico de las mezclas utilizadas en plantas cultivadas en invernadero experimental (Anexo 6). Se observa que la tasa de crecimiento de la lesión (b , proporción del área lesionada por unidad de tiempo) es menor en la mezcla de carbonato de calcio + cenizas (0.85), quedando desplazados a un segundo y tercer lugar el Biocto (0.89) y la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal (0.92), respectivamente, que corresponde a valores bajos del PAFA. Sin embargo, el testigo presenta la mayor tasa de crecimiento (0.97), lo que confirma que las condiciones de humedad en el invernadero fueron óptimas para incrementar la tasa de crecimiento de *P. infestans*.

En el mismo cuadro 4 se presenta la variable epidemiológica T_{50} , que expresa el tiempo en que el área lesionada alcanza una proporción de 50 % en presencia de un determinado tratamiento. Se observa que el Biocto y la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal, son los que presentan el periodo mas largo para alcanzar el 50 % de daño, que fue de 6.0 y 5.8 días, respectivamente, comparado con el testigo que fue de 4.6 días. Esto equivale a decir que mientras el testigo alcanza una proporción de área lesionada del 50 % a los 4.6 días, desde que aparecieron los síntomas de la enfermedad, la mezcla y el Biocto antes indicados tardaron mas de un día (1.4 y 1.2, respectivamente). Por otro lado, la mezcla de carbonato de calcio + cenizas presenta un T_{50} de 5.5 días, también mayor que el testigo.

No obstante, los resultados anteriormente expuestos revelan una diferencia significativa entre la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal y el biocto con respecto a la mezcla de carbonato de calcio + cenizas y el testigo.

Cuadro 4. Parámetros epidemiológicos obtenidos de los tratamientos evaluados para el control de *P. infestans* en plantas cultivadas en invernadero experimental.

Tratamientos	a	b	R ²	T ₅₀	ABCPE	ABCPE_R	P<=0.05
Biocto	-5.34	0.89	1.00	6.0	219.0	0.68	<0.0001
Flor de S + cola de caballo + cal	-5.35	0.92	1.00	5.8	228.7	0.71	<0.0001
Carbonato de calcio + cenizas	-4.64	0.85	0.99	5.5	259.2	0.80	<0.0001
Testigo	-4.51	0.97	0.99	4.6	323.4	1.00	<0.0001

4.3. Ensayo 1. Evaluación de las mezclas que utiliza el agricultor en ambiente controlado, para producción comercial de tomate

En este ensayo se realizaron todas las labores culturales necesarias para reducir la incidencia y severidad de la mayoría de enfermedades en el cultivo de tomate bajo ambiente controlado. A pesar de esto, la incidencia y severidad de *P. infestans* dentro del ambiente controlado fueron altas y por tanto fue la única enfermedad de importancia que se presentó en el cultivo durante el ensayo.

La figura 7 muestra el PAFA de los tratamientos, que fueron en este ensayo las mezclas que el agricultor utiliza en el invernadero comercial para controlar *P. infestans* y el testigo. El progreso de la enfermedad durante el tiempo evaluado no llegó a presentar un comportamiento como una enfermedad policíclica, debido a que el ciclo del cultivo fue interrumpido por el ataque severo del minador de la hoja, el cual terminó con la plantación antes que se completara el ciclo del cultivo. Además, las prácticas culturales que se realizaron constantemente en el cultivo ayudaron a mantener la severidad de *P. infestans* por debajo del 15 %, pues estas prácticas tienden a favorecer la sanidad de la planta y por ende su producción (Salas 2003). A pesar de esto, en el testigo donde solo se

realizaron las prácticas agrícolas se observó que a partir de la quinta evaluación la severidad se incrementó drásticamente.

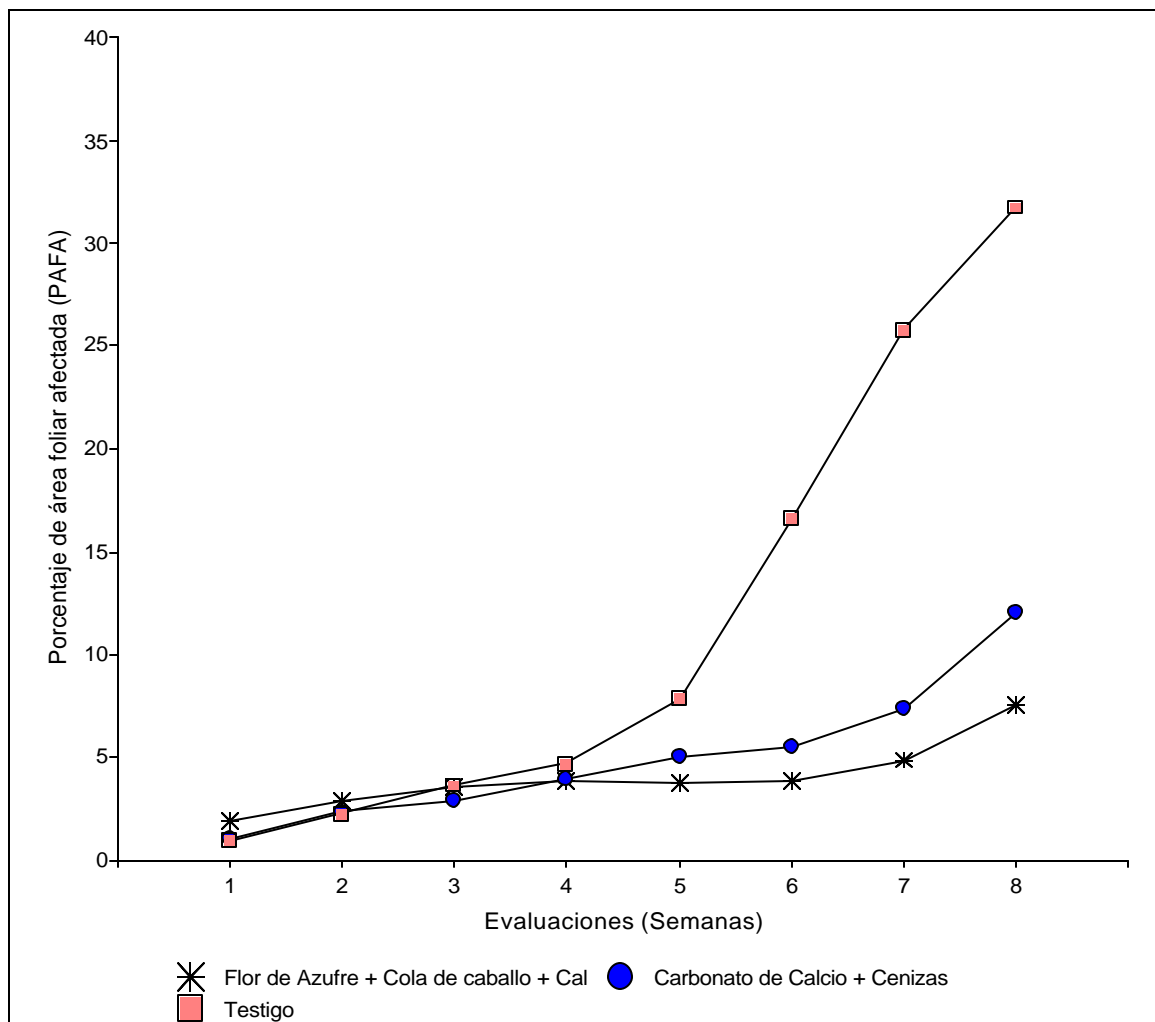


Figura 7. Desarrollo de la enfermedad causada por *P. infestans*, medida como porcentaje de área foliar afectada (PAFA) según los tratamientos evaluados en ambiente controlado, para la producción comercial de tomate.

En la misma figura 7 se observa que la curva del progreso de la enfermedad de los tratamientos presenta un comportamiento homogéneo durante las primeras cuatro semanas. Por lo que se puede suponer que durante las primeras cuatro evaluaciones fueron las prácticas culturales las que mantuvieron el PAFA por debajo del cinco por ciento.

A partir de la quinta semana el testigo incrementa el PAFA por encima de la mezcla de carbonato de calcio + cenizas; de igual manera, la mezcla de carbonato de calcio + cenizas incrementa su PAFA por encima de la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal. A partir de la quinta semana el control se puede atribuir al efecto de las mezclas, pues aunque se realizaron prácticas agrícolas, el testigo presenta un incremento drástico en el PAFA, lo que indica que el manejo ocasionado por las prácticas culturales no fue suficiente para mantener baja la severidad.

En este ensayo se observó que las mezclas efectuaron un control hacia *P. infestans* siendo aplicadas a intervalos de siete días. Esto corrobora lo mencionado en el bioensayo 2, en el cual el PAFA se incrementó en los dos últimos días de las evaluaciones (7 y 8 días) para la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal. Bonilla *et al.* (1993) indican que entre más corto sea el intervalo de aplicación del extracto de cola de caballo, mayor es el control de *P. infestans* en hojas de tomate.

Por otro lado, en la misma figura 7 se observa que en la octava evaluación las mezclas evaluadas incrementan el PAFA. Este incremento se puede deber a que el cultivo estaba siendo atacado por el minador de la hoja, lo que debilitó a la planta favoreciendo la severidad de la enfermedad.

Al realizar el análisis de varianza (Anexo 7) no se observaron diferencias significativas entre las mezclas y el testigo ($P \leq 0.05$). De igual manera, en el cuadro 5 se presenta la agrupación de medias de las mezclas según el PAFA (Duncan, $P \leq 0.05$) en ambiente controlado, donde no se observa diferencias significativas entre tratamientos, a pesar de que el testigo obtuvo un 11.7 %, muy por encima de las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal (4.01 %) y de carbonato de calcio + cenizas (5.03 %). A pesar de esto, el coeficiente de variación es de 23.55 con un R^2 de 0.87, lo que indica que el ensayo estuvo bien realizado para las condiciones en que se llevó a cabo (Anexo 7), probablemente los resultados fueron afectados por la variabilidad de los datos en el testigo.

Cuadro 5. Agrupación de medias del porcentaje de área foliar afectada (PAFA) según los tratamientos evaluados en ambiente controlado, para la producción comercial de tomate.

Tratamientos	Medias	n	
Flor de azufre + cola de caballo + cal	4.01	24	A
Carbonato de calcio + cenizas	5.03	24	A
Testigo	11.70	24	A

Error: 1.6855; gl: 4; Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P \leq 0.05$)

En la figura 8 se presenta el ABCPE para cada tratamiento aplicados en ambiente controlado. Se observa que los tratamientos evaluados no presentaron diferencias significativas, lo que también coincide con la agrupación de medias para el PAFA (Cuadro 5). Estos resultados fueron confirmados al calcular el área bajo la curva del progreso de la enfermedad relativa (Figura 9).

Sin embargo, se observa que el testigo presenta un área muy por encima de las mezclas aplicadas, sobrepasando el 50 % (Figuras 8 y 9). Esto indica que las condiciones ambientales favorecieron al desarrollo del patógeno y que la reducción de severidad en las mezclas fue causada por la aplicación de las mismas.

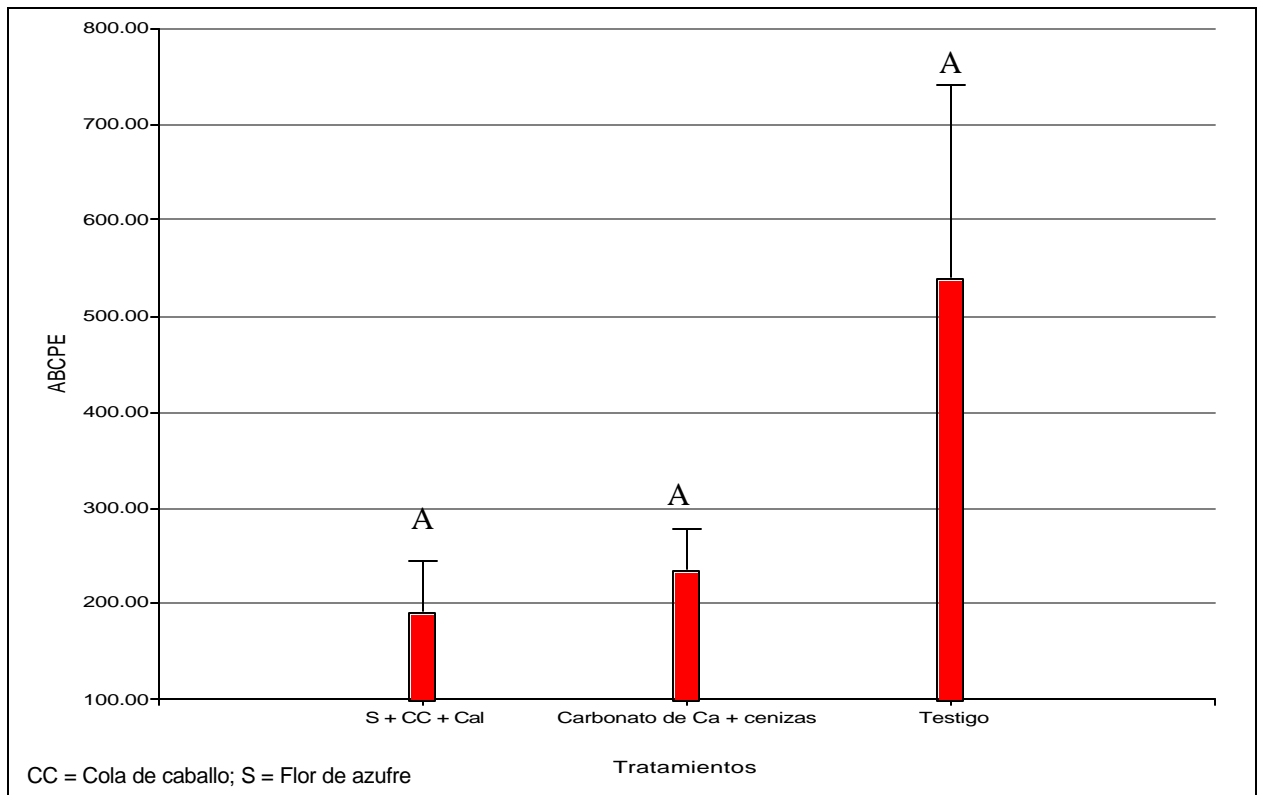


Figura 8. Agrupación de las medias del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por *P. infestans* según los tratamientos evaluados en ambiente controlado, para la producción comercial de tomate.

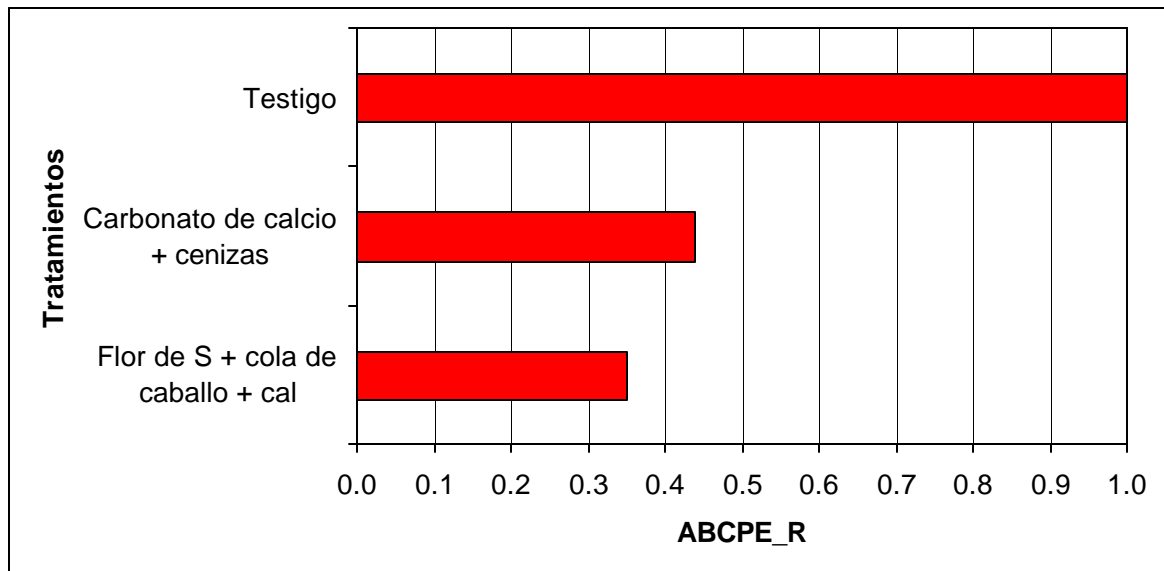


Figura 9. Area bajo la curva de progreso de la enfermedad relativa (ABCPE_R) causada por *P. infestans* según los tratamientos evaluados en ambiente controlado, para la producción comercial de tomate.

En el cuadro 6 se presenta un análisis epidemiológico de los tratamientos evaluados en ambiente controlado comercial (Anexo 9). Se observa que la tasa de crecimiento de la lesión (b), que significa el número de veces en que se incrementó por unidad de tiempo medida en semanas, es menor en la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal (0.16), seguida de la mezcla de carbonato de calcio + cenizas (0.32) y del testigo (0.55). También se observa que el orden de los tratamientos se mantiene como se indica en el PAFA y el ABCPE, presentando el testigo valores muy superiores a las mezclas. Además, se aprecia que la mezcla de carbonato de calcio + cenizas duplica la tasa de crecimiento de la mezcla flor de azufre + cola de caballo + cal.

Cuadro 6. Parámetros epidemiológicos obtenidos de los tratamientos evaluados para el control *P. infestans* en ambiente controlado, para la producción comercial de tomate.

Tratamientos	a	b	R ²	T ₅₀	ABCPE	ABCPE_R	P<=0.05
Flor de S + cola de caballo + cal	-3.95	0.16	0.85	24.7	191.6	0.35	0.001
Carbonato de calcio + cenizas	-4.59	0.32	0.95	14.3	235.7	0.44	<0.0001
Testigo	-5.06	0.55	0.99	9.2	540.6	1.00	<0.0001

En el caso de la variable epidemiológica T₅₀, que expresa el tiempo en semanas en que el área lesionada alcanza una proporción del 50 % en presencia de un determinado tratamiento, se observa que la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal presenta el periodo más largo para alcanzar el 50 % de daño (24.7 semanas), seguido de la mezcla de carbonato de calcio + cenizas (14.3 semanas) y el testigo (9.2 semanas). Esto equivale a decir que mientras el testigo alcanza una proporción de área lesionada del 50 % a las 9.2 semanas, desde que aparecieron los síntomas de la enfermedad, la mezcla de carbonato de calcio + cenizas tardó 5.1 semanas y la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal tardó 15.5 semanas.

Por tal motivo, se deben realizar prácticas agrícolas de manera eficiente y constante en el cultivo del tomate bajo ambiente controlado, de esta forma podrían pasar nueve semanas sin aplicar mezclas antes que la severidad en el cultivo llegue al 50 % de *P. infestans*. Esto corrobora que las prácticas agrícolas bien efectuadas y orientadas a manejar

enfermedades en tomate favorecen la sanidad de la planta (Salas 2003) y pueden aumentar el volumen y la calidad de la producción (Rodríguez *et al.* 2001). Además, si el manejo del cultivo se extendiera hacia un manejo integrado de plagas que incluya plagas insectiles se podría evitar lo que ocurrió en el presente ensayo, donde el minador de la hoja acortó el ciclo productivo del cultivo.

Por lo tanto, las mezclas que el agricultor utiliza para controlar *P. infestans* en ambiente controlado junto con prácticas agrícolas eficientes son una alternativa para la agricultura orgánica de tomate bajo ambientes controlados. De acuerdo al análisis epidemiológico presentado en el cuadro 6, se observa que la severidad de la enfermedad se mantiene por debajo del 50 %. Esto puede ser muy importante en agricultura orgánica, donde puede trabajar en niveles superiores al 10 %. Lo contrario sucede en plantaciones comerciales convencionales, donde una severidad superior al 10 % es motivo de abandono del cultivo (Salas 2003). Por lo tanto, utilizar las mezclas permite desfavorecer la severidad del patógeno y las prácticas agrícolas ayudan a controlar la humedad en el cultivo.

4.3.1. Variación de la humedad relativa durante el ensayo

Se observó una correlación positiva y significativa entre la humedad relativa máxima, media y mínima de la semana con la severidad de *P. infestans* ($P \leq 0.05$), la cual presentó coeficientes de correlación de 0.36, 0.52 y 0.55, respectivamente (Anexo 10). Esto indica que al aumentar la humedad relativa aumenta el PAFA (Figura 10).

El PAFA de la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal, presentó un coeficiente de correlación de 0.50 con la humedad relativa media y de 0.54 con la humedad relativa mínima, sin que tuviese un efecto significativo la humedad relativa máxima. El PAFA de la mezcla de carbonato de calcio + cenizas presentó correlación positiva y significativa entre la humedad relativa máxima, media y mínima de la semana con la severidad de *P. infestans*, con un coeficiente de correlación de 0.52, 0.72 y 0.78, respectivamente. De igual manera, el testigo presentó correlación positiva y significativa entre la humedad relativa máxima, media y mínima de la semana con la severidad de *P. infestans*, con un coeficiente de correlación de 0.45, 0.64 y 0.67, respectivamente.

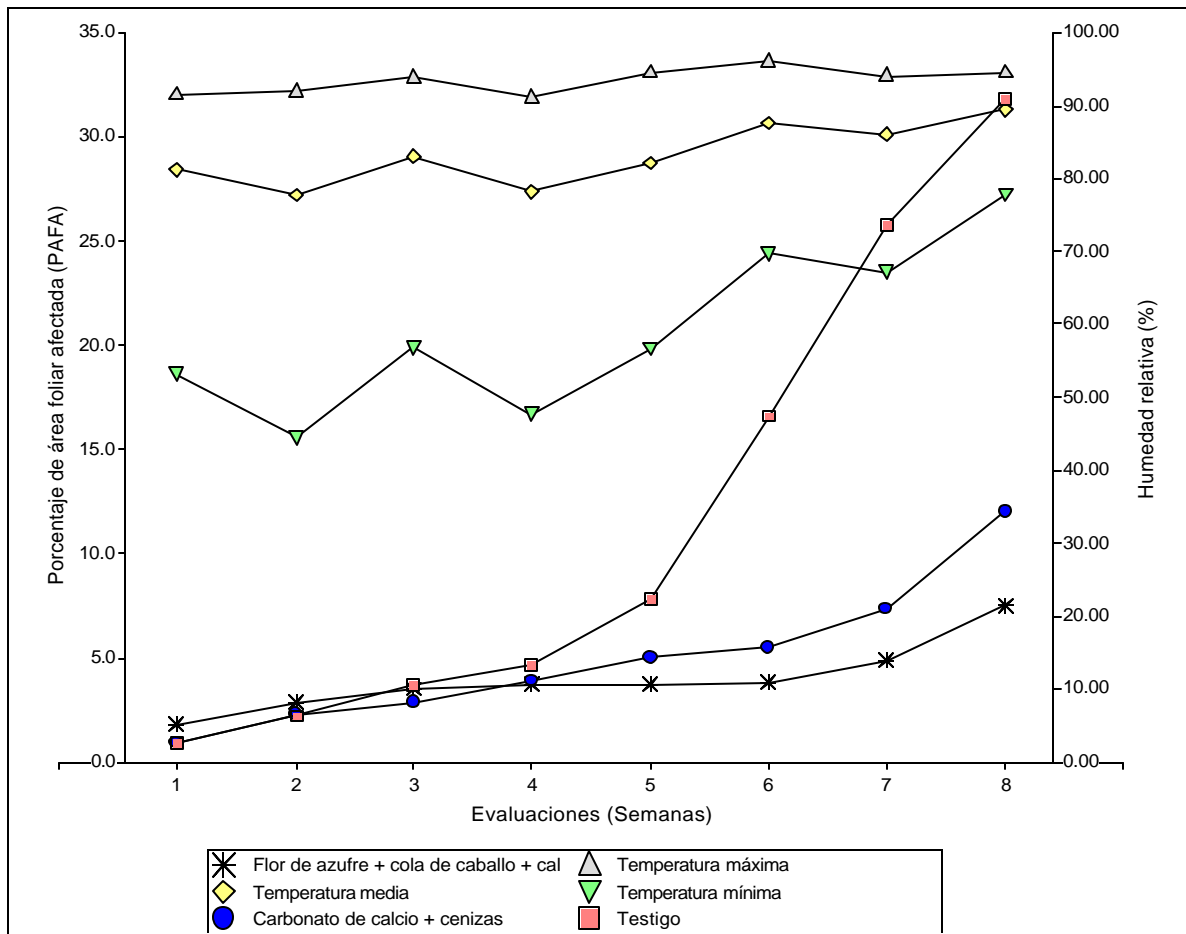


Figura 10. Porcentaje de área foliar afectada (PAFA) causada por *P. infestans* en cada uno de los tratamientos evaluados bajo ambiente controlado y la humedad relativa máxima, media y mínima.

En el anexo 11 se observa que los promedios de la humedad relativa se encuentran por debajo del 95 %, lo que no favorece la producción de esporangios considerando que humedad relativa entre el 95 y 100 % se ubica el rango óptimo para la producción de estos (Sherf y MacNab 1986). Por tal motivo, podría afirmarse que la humedad relativa menor del 95 % durante el ensayo fue otro factor que colaboró para mantener la severidad en niveles aceptables para la producción orgánica de tomate.

4.3.2. Variación de la temperatura durante el ensayo

Se observó una correlación negativa y significativa entre la temperatura máxima y media con la severidad de *P. infestans* ($P \leq 0.05$), la cual presentó coeficientes de correlación de

-0.48 y -0.37, respectivamente (Anexo 10). Esto indica que al disminuir la temperatura máxima y media aumenta el PAFA (Figura 11).

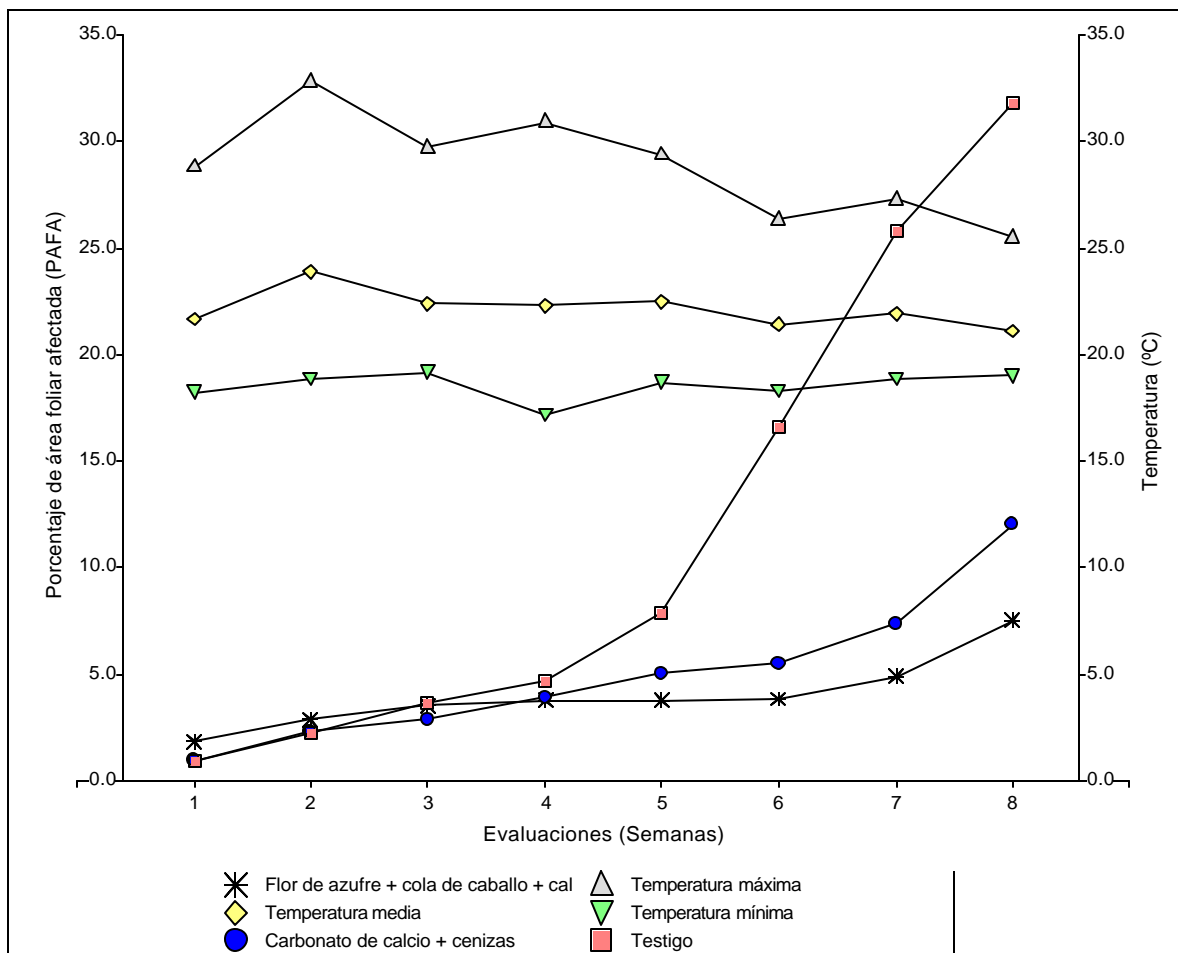


Figura 11. Porcentaje de área foliar afectada (PAFA) causada por *P. infestans* en cada uno de los tratamientos evaluados bajo ambiente controlado y la temperatura máxima, media y mínima.

Asimismo, en el anexo 10 se observa una correlación negativa y significativa de -0.45 entre la temperatura máxima de la semana y la severidad de *P. infestans* utilizando la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal. En la mezcla de carbonato de calcio + cenizas se observa una correlación negativa y significativa de -0.67 y -0.53 entre la temperatura máxima y media, respectivamente y la severidad de *P. infestans*. De igual manera, en el testigo se observa una correlación negativa y significativa de -0.61 y -0.47

entre la temperatura máxima y media, respectivamente y la severidad de *P. infestans*. Esto indica que a medida que disminuye la temperatura máxima y media aumenta el PAFA, sin que tuviese un efecto significativo la temperatura mínima (Figura 11).

En el anexo 11 se observa que el promedio de la temperatura media y mínima fue de 22.15 °C y 18.55 °C, respectivamente. Si se considera que la producción de esporangios y la colonización de *P. infestans* es favorecida por temperaturas entre 18 y 21 °C y entre 22 y 24 °C, respectivamente (Sherf y MacNab 1986), la temperatura mínima favoreció la producción de esporangios y la temperatura media la colonización de *P. infestans*. Mientras que, la temperatura máxima (28.8 °C) presentó niveles superiores fuera del óptimo para el desarrollo de *P. infestans*.

4.4.3. Evaluación de la producción

El análisis de varianza para el número de frutos producidos por planta, el número de frutos enfermos por planta y la producción por planta se encuentra en el anexo 12, en los cuales se indica que cada una de estas variables presentan diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($P \leq 0.05$).

En el cuadro 7 se observa que la mayor producción fue de 3.31 Kg por planta en la mejor mezcla que presentó menor severidad de *P. infestans*. Esta cifra es baja comparada con lo que se produce convencionalmente, donde se sobrepasa los 7 Kg por planta. Salas (2003) indica que con niveles de severidad más altos del 10 %, logró recolectar hasta 4 Kg por planta en la misma finca donde se desarrolló el presente ensayo, además agrega que en una plantación comercial convencional que presenta más del 10 % de severidad es abandonada.

En el mismo cuadro 7 se presenta la agrupación de medias según Duncan ($P \leq 0.05$). Las mezclas forman parte de un solo grupo y presentaron una mayor cantidad de frutos sanos y producción (Kg) por planta y una menor cantidad de frutos enfermos por planta en comparación con el testigo.

No obstante, la mayor severidad del testigo medida como el PAFA y el ABCPE (Figuras 7 y 8), aunque no presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto a las mezclas, los resultados muestran una diferencia muy importante en todas las variables de producción evaluadas. El testigo presentó mayor severidad en la enfermedad, pérdida de frutos tanto maduros como verdes, con daño cerca de la zona peduncular, así como daño

en tallos de la planta que se marchiten rápidamente (Rosa y Suárez 1998, Sherf y MacNab 1986).

Cuadro 7. Agrupación de medias del número de frutos por planta, número de frutos enfermos por planta y la producción por planta (Kg) según los tratamientos evaluados en ambiente controlado, para la producción comercial de tomate.

Tratamientos	Nº de frutos/planta *	Nº de frutos enfermos/planta**	Producción/planta*** (Kg)
Flor de azufre más cola de caballo más cal	19.0 A	2.6 A	3.31 A
Carbonato de calcio más cenizas	18.2 A	2.7 A	3.30 A
Testigo	13.2 B	4.9 B	2.51 B

*Error: 4.2269, **Error: 0.5378; ***Error: 0.0951; gl: 4; Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P \leq 0.05$)

4.4. Bioensayo 3. Evaluación del pH en hojas tratadas con las mezclas que el agricultor usa para el manejo de enfermedades

Según los resultados obtenidos, la mezcla de carbonato de calcio + cenizas presentó un pH de 10.36 y la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal de 9.40. Elango¹ (2004) menciona que este tipo de patógenos se desarrolla favorablemente en condiciones de pH entre 5,4 y 5,8 y que condiciones adversas a estas pueden inhibir el desarrollo de estos patógenos. Esto podría ser una de las causas para que las mezclas evaluadas afectaran negativamente el desarrollo de *P. infestans* en los ensayos anteriormente indicados.

En la figura 12 se observa que el pH en la superficie foliar de la mezcla de carbonato de calcio + cenizas fue mayor que la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal, y esta mayor que el testigo durante el tiempo de evaluación. Al mismo tiempo se observa que el

¹ Elango, F. 2004. Condiciones favorables y desfavorables al desarrollo de patógenos (entrevista). Guácimo, CR, EARTH. Comunicación personal

pH en la superficie foliar disminuye con el transcurrir del tiempo en las mezclas utilizadas, acercándose al pH favorable para el desarrollo del patógeno. Por tal motivo, con el transcurso del tiempo después de su aplicación, la disminución del pH sobre la planta puede favorecer el desarrollo del patógeno.

También se observa en la figura 12 que el pH del testigo se mantiene constante entre 6.70 y 6.55 durante los cinco días de evaluación. Esto indica que aplicar solamente agua no se observó cambios en el pH en la superficie foliar. Aunque *P. infestans* presenta un rango óptimo de pH para su desarrollo no significa que este patógeno se desarrolle bajo otras condiciones de pH (Elango² 2004). Esto explicaría que *P. infestans* daña folíolos de tomate donde el pH en la superficie foliar osciló entre 6.7 y 6.55.

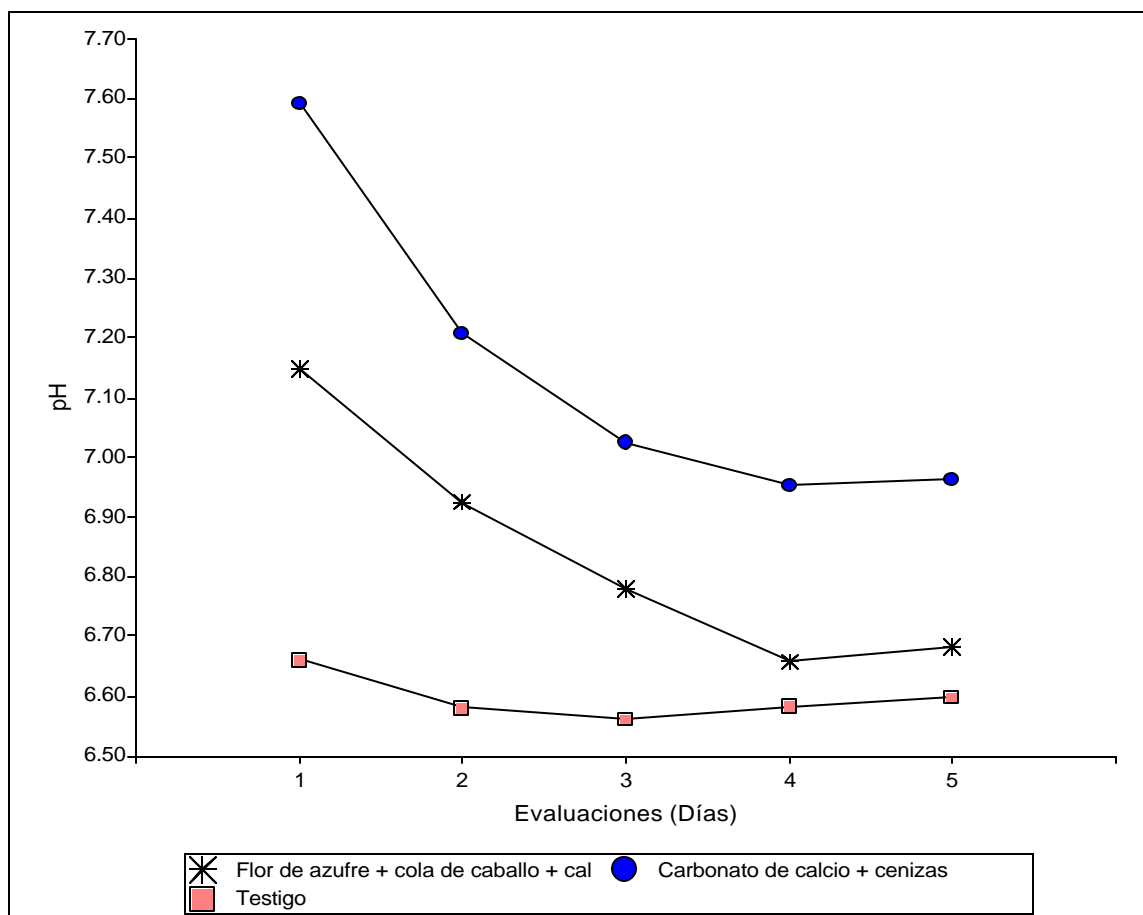


Figura 12. Variación del pH en la superficie de los folíolos asperjados con las mezclas que el agricultor utiliza.

² Elango, F. 2004. Condiciones favorables y desfavorables al desarrollo de patógenos (entrevista). Guácimo, CR, EARTH. Comunicación personal

Varios autores han investigado el efecto del pH sobre diferentes especies de *Phytophthora*. Entre ellos, Ribeiro (1983) indica que diferentes especies de *Phytophthora* pueden formar esporangios con pH entre 4.0 y 9.0. Sin embargo, los niveles óptimos varían entre especies y aislados de la misma especie. Es así que Schmitthenner y Canaday (1983) indican que en una solución de nutrientes con pH de 3.0 y cerca de 8.0 el desarrollo de *P. cinnamoni* se inhibió; asimismo indican que esta inhibición se presentó en *P. parasitica* cuando el pH fue de 4.0. Weste (1983) agrega que la producción de esporangios en *P. cinnamoni* es óptima cuando el pH del suelo esta entre 6.0 y 6.5, pero que es controlado a 3.8. Asimismo Mitchell y Kannwischer (1983) reportan una reducción del 26, 67 y 51 % en el número de raíces sanas de cítricos cuando el pH del suelo fue de 4.2-5.5, 6.0-6.5 y 7.0-8.4, respectivamente, utilizando una concentración de inóculo estándar de *P. parasitica*.

En el cuadro 8 se observa que la mezcla de carbonato de calcio + cenizas presenta un pH de 7.15, la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal de 6.84 y el testigo de 6.60. Además, al no haber interacción entre tratamientos con las evaluaciones ($P \leq 0.05$) en el análisis de varianza del anexo 13, indica que durante el periodo de evaluación la mezcla de carbonato de calcio + cenizas presentó un pH superior a la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal y éste por encima del testigo. Por tal motivo, la aplicación de las mezclas originaron niveles de pH en la superficie foliar fuera del rango óptimo para la mayoría de las enfermedades, especialmente durante los primeros tres días después de la aplicación.

Cuadro 8. Agrupación de medias del pH según las mezclas en la superficie de cada foliolo de tomate.

Tratamientos	Medias	n	
Carbonato de calcio + cenizas	7.15	15	A
Flor de azufre + cola de caballo + cal	6.84	15	B
Testigo	6.60	15	C

Error: 0.0055; gl: 6; Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, $P \leq 0.05$)

No obstante se puede observar en los resultados del análisis epidemiológico obtenido en los otros ensayos de la presente investigación (Cuadro 2, 4 y 6), que la mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal muestra menos severidad de *P. infestans*, con respecto a la mezcla de carbonato de calcio + cenizas que presenta mayor pH en la superficie foliar (Cuadro 8). Esto puede explicarse si se considera que esta mezcla contiene extracto de cola de caballo que ha sido reportado efectivo contra el desarrollo del patógeno (Bonilla *et al.* 1993). Por otro lado, no se descarta que el calcio aplicado en las mezclas sirva de nutrimento para la planta, lo que también favorece en la disminución de la severidad del patógeno.

5. CONCLUSIONES

1. Las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal y carbonato de calcio + cenizas y el producto comercial orgánico Biocto evaluados en foliolos desprendidos en laboratorio y en plantas producidas en invernadero experimental disminuyeron significativamente la severidad de la enfermedad causada por *P. infestans*, comparado con la mezcla de flor de azufre + cal, el extracto de cola de caballo y el testigo.
2. La mezcla de flor de azufre + cola de caballo + cal evaluada en ambiente controlado para la producción orgánica comercial de tomate disminuyó significativamente la severidad de la enfermedad causada por *P. infestans*, comparado con la mezcla de carbonato de calcio + cenizas y el testigo.
3. Las prácticas culturales realizadas controlan *P. infestans* en el cultivo, facilitando la producción orgánica de este en regiones de alta precipitación, como Turrialba. Además, realizando estas prácticas de manera eficiente se logró mantener la incidencia y severidad de otras enfermedades de importancia económica y fitosanitaria en niveles bajos.
4. La severidad de *P. infestans* está correlacionada con la humedad relativa positivamente y con la temperatura negativamente. Humedad relativa cercana al 100% y temperaturas entre 18 y 24 °C favorecen el desarrollo de la enfermedad. Esto indica que el manejo de estos factores en ambientes controlados representa una excelente alternativa de manejo de la enfermedad.
5. Las mezclas que el agricultor utiliza permiten disminuir la severidad de la enfermedad en el cultivo del tomate ocasionando un aumento en la producción. Sin embargo, la producción se encontró por debajo de los 4 Kg ocasionada por el ataque severo y temprano del minador de la hoja.
6. Dado que se pudo comprobar que el pH tanto de las mezclas como de la suspensión foliar fue mayor al rango óptimo de lo que la literatura indica como desfavorables a *Phytophthora*, se puede sugerir que esto sea uno de los factores que colaboró con el manejo de las enfermedades de tomate, principalmente de *P. infestans*.

6. RECOMENDACIONES

1. Evaluar las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal, carbonato de calcio + cenizas y el producto comercial orgánico Biocto de manera intercalada como un programa de manejo de enfermedades en tomate orgánico.
2. Realizar otros estudios con intervalos de aplicación menores a siete días para determinar el intervalo ideal de los tratamientos evaluados en la presente investigación.
3. Utilizar el ensayo donde se determinó el pH en superficie foliar como referencia para, posteriormente, trabajar con *P. infestans* o cualquier otra especie.
4. Realizar estudios en laboratorio para determinar otros posibles modos de acción de las mezclas que el agricultor utiliza en su finca.
5. Probar otras metodologías para determinar el pH en la superficie foliar en plantas *in vivo*.
6. Realizar las prácticas culturales de manera eficiente y durante el ciclo del cultivo para mantener la humedad relativa y la temperatura a niveles que desfavorezcan el desarrollo de las enfermedades foliares, principalmente para *P. infestans*, y mantenerlas en niveles aceptables para la producción de tomate orgánico.
7. Realizar un manejo integrado de plagas para incrementar la producción de tomate bajo ambiente controlado. De esta manera, la producción orgánica podrá competir con la producción convencional en costos.

7. BIBLIOGRAFIA CITADA

- Alvarez, GA; Gómez, MJ. 1993. Evaluación de tres concentraciones de extractos de cola de caballo (*Equisetum arvense*) y dos formulaciones de Azufre para el control de la cenicienta (*Erysiphe pisi*) en arveja china (*Pisum sativum*). In Manejo ecológico de enfermedades agrícolas: Proceso de capacitación para profesionales. Guatemala, ALTERTEC. p. 117-121.
- Andrew, KD. 2002. Evaluación de abonos orgánicos y biofertilizantes líquidos para el desarrollo de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo el sistema de cultivo protegido en Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 103 p.
- Ayala, JE; Godínez, R; De Doñan, M. 1991. Efecto del asocio tomate – maíz para el control de *Alternaria solani* y *Phytophthora infestans* en el valle de Zapotitlán. In Reunión anual PCCMCA (1991, Panamá). p. 112-118.
- Baker, FK; Cook, JR. 1982. Biological control of plant pathogens. Minnesota, US, American Phytopathological Society. 433 p.
- Blakeman, JP; Fokkema, NJ. 1982. Potential for biological control of plant diseases on the phylloplane. Annual Review of Phytopathology 20:167-192.
- Bio Bio. s.f. Fungicidas ecológicos (en línea). Madrid, ES. Consultado 10 feb. 2005. Disponible en <http://biobio.es/?op=fic&id=604L>
- Bonilla, CR; Alvarez, GA; Hernández, F. 1993. Efecto de cuatro extractos vegetales en el control de tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en el aldea Poza Verde, Jalapa. In Manejo ecológico de enfermedades agrícolas: Proceso de capacitación para profesionales. Guatemala, ALTERTEC. p. 122-138.
- Borbon, O. 1983. Poda y deshoja en tomate (*Lycopersicon esculentum* M.) c.v. Tropic. Tesis Lic. Ing. Agr. Heredia, CR, universidad Nacional. 88 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR); GTZ (Agencia Alemana de Cooperación Técnica, DE). 2002. Bioplaguicidas (en línea). San José, CR. Consultado 27 ene. 2004. Disponible en <http://www.bioplaguicidas.org/CostaRica/fungicida/biocto.htm>

- Díaz, JU. 1999. Manejo de *Pseudomonas solanacearum* E.F.Smith con enmiendas y microorganismos antagonistas en tomate. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 111 p.
- Erwin, DC; Ribeiro, OK. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. Minnesota, US, APS. 562 p.
- Fry, WE; Goodwin, SB. 1997. Resurgence of the irish potato famine fungus: after 150 years, the late blight fungus is again menacing farmers. *BioScience* 47(6):363-371
- Funes, F. 2001. El movimiento cubano de agricultura orgánica. *In* Funes, F; García, L; Bourque, M; Pérez, N; Rosset, P. Transformando el campo cubano: Avances de la agricultura sostenible. La Habana, CU, ACTAF. p. 15-38.
- García, JE. 2002. Situación actual y perspectivas de la agricultura orgánica y su relación con América Latina. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 64:116-124.
- Garro, J. 1996. Algunas consideraciones sobre agricultura orgánica. *AQUA Internacional* 5(12):6-7.
- Gregory, P. 1983. Some major epidemics caused by *Phytophthora*. *In* Erwin, DC; Bartnicki-García; Tsao, H. eds. *Phytophthora* its biology, taxonomy, ecology and pathology. Minnesota, US, American Phytopathological Society. p. 217-278.
- IIRR (Instituto Internacional de Reconstrucción Rural); AVRDC (Centro Asiático de Investigación y Desarrollo de Hortalizas). 1997. Guía práctica para su huerto familiar orgánico. Quito, EC, ABYA-YALA. 252 p.
- Jones, J. 1999. Tomato plant culture: in the field, greenhouse, and home garden. Florida, US, CRC Press. 199 p.
- Jones, JB; Jones JP; Stall, RE; Zitter, TA. 2001. Plagas y enfermedades del tomate. Trad. MM Jiménez. Madrid, ES, Ediciones Mundi-Prensa. 74 p.
- Malajczuk, N. 1983. Microbial antagonism to *Phytophthora*. *In* Erwin, DC; Bartnicki-Gracia; Tsao, H. eds. *Phytophthora*, its biology, taxonomy, ecology and pathology. Minnesota, US, American Phytopathological Society. p. 197-218.
- Martínez, R. 2002. Características de los biofertilizantes y bioestimuladores en las regiones tropicales. La Habana, CU, INIFAT. 68 p.

- Mitchell, DJ; Kannwischer, ME. 1983. Relationship of inoculum density of *Phytophthora* species to disease incidence in various hosts. In Erwin, DC; Bartnicki, S; Tsao, PH. eds. *Phytophthora: Its biology, taxonomy, ecology and pathology*. Minnesota, US, APS Press. 55-70 p.
- Mora, F. 1994. Algunas consideraciones para la producción orgánica de hortalizas. *Agronomía Mesoamericana* 5:171-183.
- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Madrid, ES, Ediciones Mundi-prensa. 793 p.
- Papavizas, GC. 1981. *Biological control in crop production*. London, UK, Allandheld Osmun. 461 p.
- Pérez, JE; Sánchez, V. 2000. Efecto de los sustratos celulosa y glucano sobre antagonistas de *Phytophthora infestans* en tomate. *Manejo integrado de Plagas* 58:45-53.
- Planeta orgánico. (2003). Fungicidas orgánicos (en línea). Madrid, ES. Consultado 13 feb. 2005. Disponible en <http://www.planetaorganico.org/>
- Restrepo, J. 2000. Material didáctico del X curso-taller latinoamericano sobre agricultura orgánica con énfasis en la preparación de biofertilizantes y caldos minerales para café, frutales y hortalizas. San José, CR, UNED. 135 p.
- Ribeiro, OK. 1983. Physiology of asexual sporulation and spore germination in *Phytophthora*. In Erwin, DC; Bartnicki, S; Tsao, PH. eds. *Phytophthora: Its biology, taxonomy, ecology and pathology*. Minnesota, US, APS Press. 55-70 p.
- Rivas, GG. 1993. Detección de geminivirus en tomate mediante la hibridación de ácidos nucleicos y manejo de semilleros para reducir la incidencia de virosis transmitida por *Bemisia tabaci* (Gennadius) en el campo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 92 p.
- Rivas, GG. 1996. Descripción matemática de epidemias. *Manejo Integrado de PLagas (Costa Rica)* 40:35-39.
- Robertson, NF. 1991. The challenge of *Phytophthora infestans*. In Ingam; Williams, PH. eds. *Phytophthora infestans: the cause of late blight of potato*. Advances in plant pathology. San Diego, US, Academic Press. p. 1-30.
- Rodríguez, DA; Montilla, JO. 2002. Disminución de la marchitez causada por *Fusarium* en tomate con extracto de *Citrus paradisi*. *Manejo Integrado de Plagas* 63:46-50.

- Rodríguez, LA. 1995. Antagonismo endofítico de microorganismos a *Mycosphaerella fijiensis* del plátano y *Alternaria Solari* del tomate. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 76 p.
- Rodríguez, R; Tabares, JM; Madina, JA. 2001. Cultivo moderno del tomate. 2 ed. Madrid, ES, Mundi-prensa. 255 p.
- Rosa, R; Suárez, W. 1998. Producción de tomate bajo invernáculo en la región Sur de Uruguay. Canelones, UY, JUNAGRA. 130 p.
- Salas, W. 2003. Evaluación de control biológico y otras opciones de manejo de enfermedades de chile y tomate cultivados bajo techo, con énfasis en *Botrytis cinerea*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 69 p.
- Salazar, H; Castro, R. 1994. Evaluación y manejo de enfermedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo invernadero. Agronomía (Col) 6(3):29-34.
- Sánchez, V; Bustamante, E; Shattock, R. 1998. Selección de antagonistas para el control biológico de *Phytophthora infestans* en tomate. Manejo Integrado de Plagas 48:25-34.
- Sánchez, V; Bustamante, E; Shattock, R. 1999. Control microbiológico de *Phytophthora infestans* en tomate. Manejo Integrado de Plagas 51:47-58.
- Santiago, J; Mendoza, M; Borrego, F. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, MILL) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. Agronomía Mesoamericana, 9(1):59-65.
- Schmitthenner, AF; Canaday, CH. 1983. Role of chemical factors in development of *Phytophthora* diseases. In Erwin, DC; Bartnicki, S; Tsao, PH. eds. *Phytophthora: Its biology, taxonomy, ecology and pathology*. Minnesota, US, APS Press. 189-196 p.
- Serrano, Z. 1982. Tomate, pimiento y berenjena en invernadero. 2 ed. Madrid, ES, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 257 p.
- Sherf, AF; MacNab, AA. 1986. Vegetable diseases and their control. 2 ed. New York, US, John Wiley & Sons, Inc. 728 p.
- Stein, J; Kirk, W. 2002. Containment of existing potato late blight (*Phytophthora infestans*) foliar epidemics with fungicides. Crop protection 21:575-582.

- Strange, RN. 1993. Plant disease control. Towards environmentally acceptable methods. Londres, RU, Chapman & Hall. 354 p.
- Tredway, LP; Stevenson, KL; Burpee, LL. 2003. Components of resistance to *Magnaporthe grisea* in “Coyote” and “Colorado” tall fescue. The American Phytopathological Society: Plant Disease 87(8):906-912.
- UCMP (University of California: Museum of Paleontology, US). 2003. Introducción to the Oomicota (en línea). Texas, US. Consultado 27 ene. 2004. Disponible en <http://www.ucmp.berkeley.edu/chromista/oomicota.html>
- Vargas, R. 1991. Combate de *Corticium* en tomate y *Fusarium* en fresa mediante el uso de microorganismos antagonistas y/o hongos endomicorrizogenos (MVA). Agronomía Costarricense 15(1/2):1-6.
- Volcán, MM. 2000. Aplicación del método “experimentos de selección” para determinar las preferencias del consumidor por vegetales orgánicos en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 68 p.
- Weste, G. 1983. Population dynamics and survival of *Phytophthora*. In Erwin, DC; Bartnicki, S; Tsao, PH. eds. *Phytophthora: Its biology, taxonomy, ecology and pathology*. Minnesota, US, APS Press. 237-257 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de la varianza para el porcentaje de área foliar (PAFA) de los tratamientos evaluados en foliolos desprendidos.

Variable	N	R²	R² Aj	CV
RAIZ_PAFA	240	0.99	0.99	5.48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	2358.81	71	33.22	355.10	<0.0001	
Tratamientos	16.73	5	3.35	5.61	0.0015 (Trata>Repetición)	
Tratamientos>Repetición	14.32	24	0.60	6.38	<0.0001	
Evaluaciones	2323.70	7	331.96	3548.15	<0.0001	
Tratamientos*Evaluación	4.06	35	0.12	1.24	0.1865	
Error	15.72	168	0.09			
Total	2374.53	239				

Anexo 2. Análisis de la varianza y prueba de comparación de medias (Duncan, $P \leq 0.05$) para el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) de los tratamientos evaluados en folíolos desprendidos.

Variable	N	R²	R² Aj	CV
ABCPE	30	0.49	0.38	9.06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14852.54	5	2970.51	4.60	0.0044
Tratamientos	14852.54	5	2970.51	4.60	0.0044
Error	15496.80	24	645.70		
Total	30349.34	29			

Test: Duncan Alfa:=0.05

Error: 645.7000 gl: 24

Tratamientos	Medias	n			
Flor de azufre más cola de caballo más cal	247.80	5	A		
Carbonato de calcio más cenizas	263.90	5	A	B	
Biocto	271.60	5	A	B	
Flor de azufre más cal	289.70	5		B	C
Cola de caballo	294.70	5		B	C
Testigo	316.00	5			C

Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$)

Anexo 3. Retraso de la epidemia en el tiempo en función de la tasa de crecimiento de la lesión expresada como $\ln(y/(1-y))$, donde Y es la proporción de área lesionada, para las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal, flor de azufre + cal y carbonato de calcio + cenizas, el extracto de cola de caballo, el Biocto y el testigo en foliolos desprendidos en laboratorio.

Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP
Flor de azufre + cola de caballo + cal	LOGIT_PropPAFA	8	0.99	0.99	0.10

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	EE	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-4.99	0.19	-5.46	-4.53	-26.36	<0.0001	
Evaluaciones	0.88	0.04	0.78	0.97	23.35	<0.0001	468.41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	32.22	1	32.22	545.14	<0.0001
Evaluaciones	32.22	1	32.22	545.14	<0.0001
Error	0.35	6	0.06		
Total	32.58	7			

Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP
Flor de azufre + cal	LOGIT_PropPAFA	8	0.99	0.99	0.11

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	EE	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-4.84	0.19	-5.32	-4.37	-24.88	<0.0001	
Evaluaciones	0.94	0.04	0.84	1.03	24.31	<0.0001	507.57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	36.87	1	36.87	590.83	<0.0001
Evaluaciones	36.87	1	36.87	590.83	<0.0001
Error	0.37	6	0.06		
Total	37.24	7			

Análisis de regresión lineal

<u>Tratamiento</u>	<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>ECMP</u>
Cola de caballo	LOGIT_PropPAFA	8	0.99	0.98	0.21

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

<u>Coef</u>	<u>Est.</u>	<u>EE</u>	<u>LI(95%)</u>	<u>LS(95%)</u>	<u>T</u>	<u>p-valor</u>	<u>CpMallows</u>
const	-5.17	0.25	-5.78	-4.56	-20.73	<0.0001	
Evaluaciones	1.03	0.05	0.91	1.15	20.81	<0.0001	372.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	44.37	1	44.37	433.13	<0.0001
Evaluaciones	44.37	1	44.37	433.13	<0.0001
Error	0.61	6	0.10		
Total	44.98	7			

Análisis de regresión lineal

<u>Tratamiento</u>	<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>ECMP</u>
Carbonato de calcio + cenizas	LOGIT_PropPAFA	8	0.99	0.99	0.12

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

<u>Coef</u>	<u>Est.</u>	<u>EE</u>	<u>LI(95%)</u>	<u>LS(95%)</u>	<u>T</u>	<u>p-valor</u>	<u>CpMallows</u>
const	-4.96	0.21	-5.47	-4.45	-23.81	<0.0001	
Evaluaciones	0.91	0.04	0.80	1.01	21.95	<0.0001	414.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	34.43	1	34.43	481.71	<0.0001
Evaluaciones	34.43	1	34.43	481.71	<0.0001
Error	0.43	6	0.07		
Total	34.86	7			

Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP
Biocto	LOGIT_PropPAFA	8	1.00	1.00	0.04

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	EE	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-5.69	0.14	-6.02	-5.36	-42.11	<0.0001	
Evaluaciones	1.06	0.03	0.99	1.12	39.54	<0.0001	1341.26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	46.96	1	46.96	1563.47	<0.0001
Evaluaciones	46.96	1	46.96	1563.47	<0.0001
Error	0.18	6	0.03		
Total	47.14	7			

Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP
Testigo	LOGIT_PropPAFA	8	0.92	0.91	1.95

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	EE	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-5.18	0.69	-6.87	-3.48	-7.48	0.0003	
Evaluaciones	1.15	0.14	0.81	1.48	8.36	0.0002	61.05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	55.10	1	55.10	69.89	0.0002
Evaluaciones	55.10	1	55.10	69.89	0.0002
Error	4.73	6	0.79		
Total	59.83	7			

Anexo 4. Análisis de la varianza para el porcentaje de área foliar (PAFA) de los tratamientos evaluados en plantas en invernadero experimental.

Variable	N	R²	R² Aj	CV
RAIZ_PAFA	160	0.99	0.99	5.83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	1418.27	47	30.18	305.83	<0.0001	
Tratamientos	40.66	3	13.55	9.81	0.0007	(Trata>Repetición)
Tratamientos>Repetición	22.11	16	1.38	14.00	<0.0001	
Evaluaciones	1348.96	7	192.71	1953.10	<0.0001	
Tratamientos*Evaluación	6.55	21	0.31	3.16	<0.0001	
Error	11.05	112	0.10			
Total	1429.33	159				

Anexo 5. Análisis de la varianza y prueba de comparación de medias (Duncan, $P \leq 0.05$) para el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) de los tratamientos evaluados en plantas en invernadero experimental.

Variable	N	R²	R² Aj	CV
ABCPE	20	0.60	0.52	14.48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	33286.84	3	11095.61	7.97	0.0018
Tratamientos	33286.84	3	11095.61	7.97	0.0018
Error	22264.80	16	1391.55		
Total	55551.64	19			

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 1391.5500 gl: 16

Tratamientos	Medias	n	
Biocto	219.00	5	A
Flor de azufre más cola de caballo más cal	228.70	5	A
Carbonato de calcio mas cenizas	259.20	5	A
Testigo	323.40	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$)

Anexo 6. Retraso de la epidemia en el tiempo en función de la tasa de crecimiento de la lesión expresada como $\ln(y/(1-y))$, donde Y es la proporción de área lesionada, para las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal y carbonato de calcio + cenizas, el producto Biocto y el testigo en plantas producidas en invernadero experimental.

Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP
Flor de azufre + cola de caballo + cal	LOGIT_PropPAFA	8	1.00	1.00	0.02

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	EE	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-5.35	0.08	-5.55	-5.15	-65.63	<0.0001	
Evaluaciones	0.92	0.02	0.88	0.96	56.76	<0.0001	2762.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	35.23	1	35.23	3221.81	<0.0001
Evaluaciones	35.23	1	35.23	3221.81	<0.0001
Error	0.07	6	0.01		
Total	35.29	7			

Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP
Carbonato de calcio + cenizas	LOGIT_PropPAFA	8	0.99	0.99	0.06

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	EE	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-4.64	0.14	-4.98	-4.31	-33.84	<0.0001	
Evaluaciones	0.85	0.03	0.79	0.92	31.39	<0.0001	845.93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	30.52	1	30.52	985.58	<0.0001
Evaluaciones	30.52	1	30.52	985.58	<0.0001
Error	0.19	6	0.03		
Total	30.71	7			

Análisis de regresión lineal

<u>Tratamiento</u>	<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>ECMP</u>
Biocto	LOGIT_PropPAFA	8	1.00	1.00	0.03

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

<u>Coef</u>	<u>Est.</u>	<u>EE</u>	<u>LI(95%)</u>	<u>LS(95%)</u>	<u>T</u>	<u>p-valor</u>	<u>CpMallows</u>
const	-5.34	0.09	-5.56	-5.13	-60.08	<0.0001	
Evaluaciones	0.89	0.02	0.84	0.93	50.29	<0.0001	2168.69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	32.94	1	32.94	2528.81	<0.0001
Evaluaciones	32.94	1	32.94	2528.81	<0.0001
Error	0.08	6	0.01		
Total	33.02	7			

Análisis de regresión lineal

<u>Tratamiento</u>	<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>ECMP</u>
Testigo	LOGIT_PropPAFA	8	0.99	0.99	0.14

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

<u>Coef</u>	<u>Est.</u>	<u>EE</u>	<u>LI(95%)</u>	<u>LS(95%)</u>	<u>T</u>	<u>p-valor</u>	<u>CpMallows</u>
const	-4.51	0.19	-4.97	-4.06	-24.29	<0.0001	
Evaluaciones	0.97	0.04	0.88	1.06	26.25	<0.0001	591.88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	39.22	1	39.22	689.20	<0.0001
Evaluaciones	39.22	1	39.22	689.20	<0.0001
Error	0.34	6	0.06		
Total	39.57	7			

Anexo 7. Análisis de la varianza para el porcentaje de área foliar (PAFA) de las mezclas evaluadas en ambiente controlado.

Variable	N	R²	R² Aj	CV
RAIZ_PAFA+0.5	72	0.87	0.79	23.55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	95.81	29	3.30	10.12	<0.0001	
Bloque	8.36	2	4.18	2.48	0.1993	(Bloque*Tratamiento)
Tratamiento	12.99	2	6.49	3.85	0.1168	(Bloque*Tratamiento)
Bloque*Tratamiento	6.74	4	1.69	5.16	0.0018	
Evaluaciones	51.19	7	7.31	22.39	<0.0001	
Tratamiento*Evaluación	16.53	14	1.18	3.62	0.0006	
Error	13.72	42	0.33			
Total	109.53	71				

Anexo 8. Análisis de la varianza y prueba de comparación de medias (Duncan, $P \leq 0.05$) para el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) de las mezclas evaluadas en ambiente controlado.

Variable	N	R²	R² Aj	CV
ABCPE	9	0.70	0.40	59.57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	340792.28	4	85198.07	2.31	0.2191
Bloque	123995.26	2	61997.63	1.68	0.2956
Tratamiento	216797.02	2	108398.51	2.93	0.1643
Error	147756.78	4	36939.19		
Total	488549.06	8			

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 36939.1944 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	
1.00	191.57	3	A
2.00	235.67	3	A
3.00	540.63	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$)

Anexo 9. Retraso de la epidemia en el tiempo en función de la tasa de crecimiento de la lesión expresada como $\ln(y/(1-y))$, donde Y es la proporción de área lesionada, para las mezclas de flor de azufre + cola de caballo + cal y carbonato de calcio + cenizas y el testigo en ambiente controlado.

Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP
Flor de azufre + cola de caballo + cal	LN_(y/(1-y))	8	0.85	0.83	0.06

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	EE	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-3.95	0.13	-4.28	-3.62	-29.53	<0.0001	
Evaluaciones	0.16	0.03	0.09	0.22	5.92	0.0010	31.21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.03	1	1.03	35.07	0.0010
Evaluaciones	1.03	1	1.03	35.07	0.0010
Error	0.18	6	0.03		
Total	1.21	7			

Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP
Carbonato de calcio + cenizas	LN_(y/(1-y))	8	0.95	0.94	0.09

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	EE	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-4.59	0.16	-4.97	-4.21	-29.54	<0.0001	
Evaluaciones	0.32	0.03	0.24	0.39	10.30	<0.0001	92.01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.22	1	4.22	106.02	<0.0001
Evaluaciones	4.22	1	4.22	106.02	<0.0001
Error	0.24	6	0.04		
Total	4.46	7			

Análisis de regresión lineal

Tratamiento	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP
Testigo	LN (y/(1-y))	8	0.99	0.98	0.06

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	EE	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
const	-5.06	0.14	-5.40	-4.73	-36.90	<0.0001	
Evaluaciones	0.55	0.03	0.49	0.62	20.33	<0.0001	355.35

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12.81	1	12.81	413.24	<0.0001
Evaluaciones	12.81	1	12.81	413.24	<0.0001
Error	0.19	6	0.03		
Total	12.99	7			

Anexo 10. Análisis de correlación entre humedad relativa (Max. Media y Min.) y temperatura (Max., Media y Min.) con incidencia de *P. infestans* en cultivo de tomate bajo ambiente controlado y tomando en cuenta cada una de los tratamientos evaluados por separado.

Correlacion de Pearson: coeficientes\probabilidades

	Rduo_ PAFA	Temp. (Máx.)	Temp. (Media)	Temp. (Min.)	Hum. (Max.)	Hum. (Media)	Hum (Min.)
Rduo_PAFA	1.00	1.6E-5	1.2E-3	0.11	1.7E-3	3.4E-6	6.8E-7
Temp. (Max)	-0.48	1.00	0.00	0.10	1.5E-11	0.00	0.00
Temp. (Media)	-0.37	0.92	1.00	0.38	1.1E-4	0.00	0.00
Temp. (Min.)	0.19	-0.20	0.11	1.00	1.5E-5	2.5E-4	1.3E-3
Hum. (Max.)	0.36	-0.69	-0.44	0.49	1.00	0.00	0.00
Hum. (Media)	0.52	-0.96	-0.79	0.42	0.81	1.00	0.00
Hum. (Min.)	0.55	-0.96	-0.81	0.37	0.77	0.99	1.00

Tratamiento = Flor de azufre + cola de caballo + cal

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	PAFA	Temp. (Máx.)	Temp. (Media)	Temp. (Min.)	Hum. (Max.)	Hum. (Media)	Hum (Min.)
PAFA	1.00	0.03	0.09	0.34	0.11	0.01	0.01
Temp. (Max)	-0.45	1.00	1.4E-10	0.36	1.7E-4	0.00	0.00
Temp. (Media)	-0.35	0.92	1.00	0.62	0.03	4.6E-6	1.9E-6
Temp. (Min.)	0.20	-0.20	0.11	1.00	0.02	0.04	0.07
Hum. (Max.)	0.33	-0.69	-0.44	0.49	1.00	1.4E-6	9.1E-6
Hum. (Media)	0.50	-0.96	-0.79	0.42	0.81	1.00	0.00
Hum. (Min.)	0.54	-0.96	-0.81	0.37	0.77	0.99	1.00

Tratamiento = Carbonato de calcio + cenizas

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	Rduo_ PAFA	Temp. (Máx.)	Temp. (Media)	Temp. (Min.)	Hum. (Max.)	Hum. (Media)	Hum (Min.)
Rduo_PAFA	1.00	3.0E-4	0.01	0.22	0.01	6.4E-5	7.0E-6
Temp. (Max)	-0.67	1.00	1.4E-10	0.36	1.7E-4	0.00	0.00
Temp. (Media)	-0.53	0.92	1.00	0.62	0.03	4.6E-6	1.9E-6
Temp. (Min.)	0.26	-0.20	0.11	1.00	0.02	0.04	0.07
Hum. (Max.)	0.52	-0.69	-0.44	0.49	1.00	1.4E-6	9.1E-6
Hum. (Media)	0.72	-0.96	-0.79	0.42	0.81	1.00	0.00
Hum. (Min.)	0.78	-0.96	-0.81	0.37	0.77	0.99	1.00

Tratamiento = Testigo

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	Rduo_ PAFA	Temp. (Máx.)	Temp. (Media)	Temp. (Min.)	Hum. (Max.)	Hum. (Media)	Hum (Min.)
Rduo_PAFA	1.00	1.7E-3	0.02	0.26	0.03	7.2E-4	3.1E-4
Temp. (Max)	-0.61	1.00	1.4E-10	0.36	1.7E-4	0.00	0.00
Temp. (Media)	-0.47	0.92	1.00	0.62	0.03	4.6E-6	1.9E-6
Temp. (Min.)	0.24	-0.20	0.11	1.00	0.02	0.04	0.07
Hum. (Max.)	0.45	-0.69	-0.44	0.49	1.00	1.4E-6	9.1E-6
Hum. (Media)	0.64	-0.96	-0.79	0.42	0.81	1.00	0.00
Hum. (Min.)	0.67	-0.96	-0.81	0.37	0.77	0.99	1.00

Anexo 11. Porcentaje de humedad relativa (máxima, media y mínima) y temperatura (máxima, media y mínima) registrada semanalmente durante la evaluación de *P. infestans* en ambiente controlado.

Semanas	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)		
	Max.	Media	Mín.	Max.	Media	Mín.
1	28.8	21.7	18.2	91.4	81.1	53.3
2	32.8	23.9	18.9	92.0	77.8	44.4
3	29.7	22.4	19.2	93.8	83.0	56.9
4	30.9	22.3	17.2	91.1	78.1	47.6
5	29.4	22.5	18.7	94.5	82.0	56.7
6	26.3	21.4	18.3	96.0	87.7	69.8
7	27.3	21.9	18.9	94.1	86.0	67.3
8	25.5	21.1	19.0	94.4	89.4	77.7
Promedio	28.8	22.1	18.6	93.4	83.1	59.2

Anexo 12. Análisis de la varianza para la producción (Kg), el número de frutos sanos y frutos enfermos por planta según las mezclas evaluadas en ambiente controlado.

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Nº de frutos	9	0.80	0.61	12.24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	69.33	4	17.33	4.10	0.1002
Bloque	9.69	2	4.85	1.15	0.4040
Tratamiento	59.64	2	29.82	7.05	0.0488
Error	16.91	4	4.23		
Total	86.24	8			

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Producción	9	0.79	0.58	10.15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.42	4	0.36	3.74	0.1148
Bloque	0.17	2	0.08	0.89	0.4789
Tratamiento	1.25	2	0.63	6.59	0.0542
Error	0.38	4	0.10		
Total	1.80	8			

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Frutos enfermos	9	0.84	0.68	21.71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11.16	4	2.79	5.19	0.0699
Bloque	1.18	2	0.59	1.10	0.4165
Tratamiento	9.98	2	4.99	9.28	0.0314
Error	2.15	4	0.54		
Total	13.32	8			

Anexo 13. Análisis de la varianza para el pH en la superficie foliar en foliolos de tomate para las mezclas que el agricultor utiliza.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	45	0.97	0.95	0.92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	3.68	20	0.18	46.24	<0.0001	
Tratamiento	2.28	2	1.14	207.15	<0.0001	(Tratamiento>Repetición)
Tratamiento>Repetición	0.03	6	0.01	1.38	0.2612	
Evaluacion	0.99	4	0.25	62.23	<0.0001	
Tratamiento*Evaluación	0.37	8	0.05	11.76	<0.0001	
Error	0.10	24	4.0E-03			
Total	3.77	44				