



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE FITOSANIDAD**

**FITOPATOLOGÍA**

**ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE  
RENDIMIENTO DE TOMATE (*Lycopersicon  
esculentum*) EN INVERNADERO DEBIDAS  
A LA CENICILLA (*Leveillula taurica*) Y  
ESTRATEGIAS DE CONTROL**

GILDA ABIGAIL VALENZUELA TIRADO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2017

La presente tesis titulada: **ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE RENDIMIENTO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*) EN INVERNADERO DEBIDAS A LA CENICILLA (*Leveillula taurica*) Y ESTRATEGIAS DE CONTROL** realizada por el alumno: **GILDA ABIGAIL VALENZUELA TIRADO**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
FITOSANIDAD  
FITOPATOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

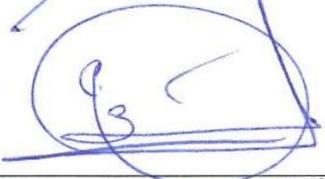
CONSEJERO

  
DR. REMIGIO ANASTASIO GUZMÁN PLAZOLA

ASESOR

  
DRA. HILDA VICTORIA SILVA ROJAS

ASESOR

  
DR. NÉSTOR BAUTISTA MARTÍNEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, abril de 2017

**ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE RENDIMIENTO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*  
L.) EN INVERNADERO DEBIDAS A LA CENICILLA (*Leveillula taurica*) Y  
ESTRATEGIAS DE CONTROL**

**Gilda Abigail Valenzuela Tirado, M en C.**

**Colegio de Postgraduados, 2017.**

**RESUMEN**

La cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) es una enfermedad que puede afectar el rendimiento del cultivo. Ocurre tanto en invernadero como en cultivos de campo abierto. Las condiciones de invernadero son generalmente propicias para que la enfermedad progrese. La gran cantidad de fungicidas que se utilizan para su control aumenta los costos de producción y el riesgo de selección de poblaciones resistentes del hongo si no se utilizan adecuadamente. En el presente trabajo se identificó a *Leveillula taurica* como el agente causal de la cenicilla que afecta al cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de infección natural en invernaderos de Texcoco, Estado de México y de Zacatepec, Morelos. Además, se determinó el impacto de la enfermedad en el rendimiento, su comportamiento epidémico y su relación con el microclima. Se compararon estrategias de aspersión calendarizada con las recomendaciones del modelo de riesgo TOMATO.PM para fines de control químico. El uso del modelo de riesgo permitió una reducción del número aspersiones para controlar *L. taurica*, de 15 a 0-3 en el caso de los experimentos de Texcoco y de 7 a 0-1 en caso de los experimentos de Zacatepec. En ninguno de los cuatro experimentos la cenicilla causó pérdidas en el rendimiento. Los niveles de incidencia en hojas no fueron mayores a 48 % en los cuatro experimentos la severidad no fue mayor a 2.6 % en plantas asperjadas

Palabras clave: *Leveillula taurica*, rendimiento, TOMATO.PM, control,

**ESTIMATION OF TOMATO (*Lycopersicon esculentum*) YIELD LOSSES IN  
GREENHOUSE DUE TO POWDERY MILDEW (*Leveillula taurica*) AND CONTROL  
STRATEGIES**

**Gilda Abigail Valenzuela Tirado, M en C.**

**Colegio de Postgraduados, 2017.**

**ABSTRACT**

Tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*) can affect crop yield. It attacks greenhouse tomatoes and open field crops. Greenhouse conditions are generally conducive for disease progress. Large amounts of fungicides are used for powdery mildew control which increases costs and risks of selecting resistant populations of the fungus if fungicides are not used properly. In the present work, *Leveillula taurica* was identified as the causal agent of tomato powdery mildew under natural infection in greenhouses of Texcoco, state of Mexico and Zacatepec, state of Morelos. Comparison of calendar spray strategies with the recommendations of the risk model TOMATO.PM for chemical control of *L. taurica* allowed a reduction in the number of sprays from 15 to 0-3 in the case of Texcoco experiments and from 7 to 0-1 in the case of Zacatepec experiments. No significant yield losses to the disease occurred in any of the four experiments. Leaf incidence levels were not higher than 48%. Disease severity in sprayed plants did not exceed 2.6%.

Key words: *Leveillula taurica*, yield, TOMATO.PM, control,

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo de realizar mis estudios de posgrado y el financiamiento otorgado.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en especial al Instituto de Fitosanidad-Fitopatología, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

Al Dr. Remigio Guzmán A. Plazola, por brindarme la oportunidad de trabajar en este proyecto, por el apoyo, confianza y motivación constante, por sus sabios consejos para ser mejor, en lo personal y lo profesional, por el tiempo dedicado durante mi estancia en este posgrado.

A la Dra. Hilda Victoria Silva Rojas, gracias por el apoyo, la confianza, sus consejos y el tiempo brindado durante la realización de mi proyecto de tesis.

Al Dr. Néstor Bautista Martínez, por el apoyo brindado en la realización de mi proyecto de tesis, por su disponibilidad en todo momento, la confianza y orientación de este proyecto.

Al Dr. Sergio Ramírez Rojas del INIFAP Zacatepec, Morelos, por su generosidad, apoyo y confianza en la realización de mi proyecto, además de brindarme sus conocimientos.

A todas las personas de Agroinvernaderos de Morelos, por brindarme el apoyo y confianza de realizar parte de mi proyecto de tesis en sus instalaciones

A todos los profesores por su dedicación, por brindar sus conocimientos en los cursos que contribuyeron para mi formación como Fitopatólogo.

A mis amigas Edith Blanco y Luvia Pintado, por su amistad, su confianza y apoyo incondicional, por ser mis amigas y parte de mi vida.

A todas aquellas personas que me han acompañado y que han estado presente directa o indirectamente, que me han apoyado en la realización de este trabajo.

## DEDICATORIA

A mi esposo Yan Carlos,  
a mis padres Gildardo y Guadalupe,  
a mis hermanas Anaid y Aleyda,  
por confiar y creer en mí,  
por el apoyo y motivación constante durante mi estancia en el posgrado  
y en todas las áreas de mi vida,  
por los consejos,  
por formar parte de mi vida.

*“Cuando una puerta de felicidad se cierra,  
otra se abre; pero muchas veces  
miramos tanto tiempo a la puerta  
cerrada que no vemos la que se ha  
abierto ante nosotros “  
-Helen Keller”*

## CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE CUADROS.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Taxonomía, Biología y Epidemiología del patógeno.....	3
Efectos de la cenicilla en el Rendimiento de cultivos.....	5
Manejo de la cenicilla.....	5
Control químico.....	5
Fungicidas recomendados para el control de la cenicilla.....	5
Resistencia a fungicidas.....	13
Control Cultural.....	15
Control Biológico.....	16
Control genético.....	17
Modelos de Riesgo.....	19
Métodos alternativos de control.....	20
MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
Determinación del agente causal de la enfermedad.....	22
Taxonómica clásica.....	22
Análisis molecular.....	22
Experimentos 1 y 2.....	22
Experimentos 3 y 4.....	24
Monitoreo del microclima en los experimentos.....	25
Fungicidas.....	26
Variables evaluadas.....	28
Análisis estadístico.....	28
RESULTADOS.....	29
Identificación del patógeno.....	29

Experimentos en el municipio de Texcoco.....	29
Estrategias de control de la cenicilla y comportamiento del microclima.....	29
Dinámica de la incidencia de cenicilla.....	31
Área bajo la curva del progreso de la incidencia.....	41
Dinámica de la severidad de la cenicilla.....	44
Área bajo la curva del progreso de la severidad.....	44
Rendimiento.....	47
Experimentos en el municipio de Zacatepec, Morelos.....	47
Estrategias de control de la cenicilla y comportamiento del microclima.....	47
Dinámica de la incidencia de cenicilla.....	51
Área bajo la curva del progreso de la incidencia.....	60
Dinámica de la severidad de la cenicilla.....	60
Área bajo la curva del progreso de la severidad.....	64
Rendimiento.....	64
DISCUSIÓN.....	70
CONCLUSIONES.....	72
APENDICE.....	73
LITERATURA CITADA.....	81

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Árbol Filogenético de *L. taurica* con el método de inferencia bayesiana con 1 millón de generaciones, la desviación estándar final fue de 0.00467..... 30
- Figura 2. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el primer bloque del Experimento 1 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base al modelo (M) o con base en el esquema calendarizado ..... 32
- Figura 3. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el segundo bloque del Experimento 1 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base al modelo (M) o con base en el esquema calendarizado ..... 33
- Figura 4. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el tercer bloque del Experimento 1 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. En esta repetición el modelo no recomendó aspersiones. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base en el esquema calendarizado ..... 34
- Figura 5. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el cuarto y quinto bloque del Experimento 1 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. En estas repeticiones el modelo no recomendó aspersiones. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base en el esquema calendarizado ..... 35

- Figura 6. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el primer bloque del Experimento 2 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base en el modelo (M) o con base en el esquema calendarizado ..... 36
- Figura 7. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el segundo bloque del Experimento 2 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. En esta repetición el modelo no recomendó aspersiones. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base en el esquema calendarizado ..... 37
- Figura 8. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el tercer bloque del Experimento 2 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. En esta repetición el modelo no recomendó aspersiones. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base en el esquema calendarizado ..... 38
- Figura 9. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el cuarto y quinto bloque del Experimento 1 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base al modelo (M) o con base en el modelo de riesgo ..... 39
- Figura 10. Incidencia de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersion calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-

	Plazola (1997). Promedios de cinco repeticiones. Experimento 1. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema...	40
Figura 11.	Incidencia de la cenicilla del tomate ( <i>Leveillula taurica</i> ) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cinco repeticiones. Experimento 2. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema...	42
Figura 12.	Área bajo la curva del progreso de la incidencia de la cenicilla del tomate ( <i>Leveillula taurica</i> ) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cinco repeticiones. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.05). A = Experimento 1. B = Experimento 2.....	43
Figura 13.	Dinámica de la severidad de la cenicilla del tomate ( <i>Leveillula taurica</i> ) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Montecillo, Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cinco repeticiones. Experimento 1. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema. ....	45
Figura 14.	Dinámica de la severidad de la cenicilla del tomate ( <i>Leveillula taurica</i> ) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Montecillo, Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cinco repeticiones. Experimento 2. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema.....	46
Figura 15.	Área bajo la curva del progreso de la severidad de la cenicilla del tomate ( <i>Leveillula taurica</i> ) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero	

en Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cinco repeticiones. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.05). A = Experimento 1. B = Experimento 2.....	48
Figura 16. Rendimiento acumulado de frutos de tomate en el primer experimento de evaluación del efecto de fungicidas para el control de la cenicilla del tomate en invernadero de Texcoco, México, aplicados bajo un esquema calendarizado o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). C = esquema de aspersión cada 10 días. M = aspersión con base al modelo. Promedios de cinco repeticiones. Las diferencias entre tratamientos en cada evaluación, no fueron significativas. Experimento 1.....	49
Figura 17. Rendimiento acumulado de frutos de tomate en el segundo experimento de evaluación de efecto de fungicidas para el control de la cenicilla del tomate en invernadero de Texcoco, México, aplicados bajo un esquema calendarizado o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). C = esquema de aspersión cada 10 días. M = aspersión con base al modelo. Promedios de cinco repeticiones. Las diferencias entre tratamientos, en cada evaluación, no fueron significativas (Tukey P = 0.5). Experimento 2.....	50
Figura 18. Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM (Guzmán-Plazola, 1997). en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque uno, Experimento 1. En esta repetición el modelo no recomendó aspersiones. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación calendarizada de fungicidas.....	52
Figura 19. Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque dos, Experimento 1. En esta repetición el modelo no recomendó la aplicación de fungicidas. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación calendarizada de fungicidas.....	53
Figura 20. Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec,	

	Morelos. Bloque tres, Experimento 1. En esta repetición el modelo no recomendó aplicación de fungicidas. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación calendarizada de fungicidas.....	54
Figura 21.	Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque cuatro, Experimento 1. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base en el modelo de riesgo (M) o bajo el esquema de aspersión calendarizada .....	55
Figura 22.	Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque uno, Experimento 2. En esta repetición el modelo no recomendó aspersiones de fungicidas. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo el esquema de aspersión calendarizada .....	56
Figura 23.	Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque dos, Experimento 2. En esta repetición el modelo no recomendó aspersiones de fungicidas. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base al esquema calendarizado .....	57
Figura 24.	Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque tres, Experimento 2. En esta repetición el modelo no recomendó la aplicación de fungicidas. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base al esquema calendarizado .....	58
Figura 25.	Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque cuatro, Experimento 2. En esta repetición el modelo no recomendó la aplicación de fungicidas. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo el esquema de aspersión calendarizada .....	59
Figura 26.	Incidencia de la cenicilla del tomate ( <i>Leveillula taurica</i> ) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas	

diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cuatro repeticiones. Experimento 3. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema.....	61
Figura 27. Incidencia de la cenicilla del tomate ( <i>Leveillula taurica</i> ) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cuatro repeticiones. Experimento 4. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema.....	62
Figura 28. Área bajo la curva del progreso de la incidencia de la cenicilla del tomate ( <i>Leveillula taurica</i> ) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cuatro repeticiones. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.05). A = Experimento 3. B = Experimento 4.....	63
Figura 29. Dinámica de la severidad de la cenicilla del tomate ( <i>Leveillula taurica</i> ) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cuatro repeticiones. Experimento 3. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema.....	65
Figura 30. Dinámica de la severidad de la cenicilla del tomate ( <i>Leveillula taurica</i> ) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cuatro repeticiones. Experimento 4.	

Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema.....	66
Figura 31. Área bajo la curva del progreso de la severidad de la cenicilla del tomate (Leveillula taurica) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cuatro repeticiones. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.05) A = Experimento 3. B = Experimento 4.....	67
Figura 32. Rendimiento acumulado de frutos de tomate en el tercer experimento de evaluación de efecto de fungicidas para el control de la cenicilla del tomate en invernadero de Zacatepec, Morelos, aplicados bajo un esquema calendarizado o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). C = esquema de aspersión cada 10 días. M = aspersión con base al modelo. Promedios de cuatro repeticiones. Las diferencias entre tratamientos en cada evaluación, no fueron significativas. Experimento 3.....	68
Figura 33. Rendimiento acumulado de frutos de tomate en el cuarto experimento de evaluación de efecto de fungicidas para el control de la cenicilla del tomate en invernadero de Zacatepec, Morelos, aplicados bajo un esquema calendarizado o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). C = esquema de aspersión cada 10 días. M = aspersión con base al modelo. Promedios de cuatro repeticiones. Las diferencias entre tratamientos en cada evaluación, no fueron significativas. Experimento 4.....	69

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Concentraciones de los diferentes nutrientes utilizados en la solución nutritiva (solución nutritiva de Steiner) para el invernadero hidropónico del Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco, México. Experimento 1 y 2. (concentración en 10000 L de agua) .....	25
Cuadro 2. Fungicidas recomendados para el control de la cenicilla del tomate por el Diccionario de Especialidades Agronómicas, versión 2015 y utilizados en el experimento para el control de la cenicilla del tomate.....	27
Cuadro 3. Número de aspersiones de fungicidas* para controlar la cenicilla del tomate ( <i>Leveillula taurica</i> ) siguiendo las recomendaciones del modelo de riesgo Tomato.PM (Guzmán-Plazola, 1997) o bajo un esquema de aspersiones cada 10 días.....	27

## 1. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es un cultivo comercialmente importante en todo el mundo, por su uso para consumo en fresco y en la industria de alimentos procesados. Crece bajo condiciones climáticas muy amplias, además de producirse bajo sistemas de invernadero y campo abierto (Atherton y Rudich, 2012; Gould, 2013;). La producción de tomate a nivel mundial ocupa una superficie de 4 762 457 ha. México es el tercer cultivo hortícola de mayor producción, con 52 375 ha sembradas (FAO, 2013; SIAP, 2014). La producción de cultivos hortícolas en invernadero es muy intensiva; la inversión y costos son mayores en este sector que en cualquier otro; además, los rendimientos y calidad de los cultivos son altos (Malathrakis y Goumas, 1999; Tsitsigiannis *et al.*, 2008).

Un reto muy grande que enfrenta la producción bajo sistemas de invernadero son las enfermedades foliares, donde factores como la temperatura, humedad relativa alta y poca aireación por la gran densidad de plantas, resultan en un microclima que favorecen su desarrollo. La ocurrencia de estas es una limitante en la producción de cultivos como el tomate, por las pérdidas de rendimientos que ocasionan y el aumento de los costos de producción, debido a la implementación de medidas de control (Tsitsigiannis *et al.*, 2008; Gould 2013). Dentro de las enfermedades fungosas del tomate, la cenicilla es una enfermedad de suma importancia debido a que puede afectar el rendimiento (Cerkaskas *et al.*, 2000). Esta enfermedad es causada por dos hongos del Phylum Ascomycota *Leveillula taurica* (Lev) Arn y *Oidium neolycopersici* (Kiss *et al.*, 2001).

*L. taurica* a diferencia de otras cenicillas es un endoparásito que forma micelio endofítico y epifítico con conidióforos que emergen a través de los estomas (Kunoh *et al.*, 1979). El hongo afecta a más de 1000 especies de plantas, incluyendo miembros de la familia Compositae y Leguminosae, pero sus hospederos más importantes pertenecen a las Solanáceas. Este patógeno se distribuye tanto en invernadero como en cultivos de campo abierto (Khodaparast *et al.*, 2001). Es una enfermedad asociada a condiciones cálidas y secas, tropicales y subtropicales, ampliamente distribuida en el mundo debido a exigencias térmicas e hídricas bastante amplias (Blancard, 2011). La temperatura óptima para que los conidios germinen es de 25°C (con humedad relativa cercana al 100%). A mayor temperatura la tasa

de germinación se reduce y el desarrollo del tubo germinal es más lento (Reuveni y Rotem, 1973). Temperaturas entre 20 a 25°C y humedad relativa intermedia (50 a 56%) son favorables para el desarrollo de la enfermedad (Guzmán-Plazola *et al.*, 2003).

Los primeros síntomas de cenicilla en tomate ocurren en las hojas más viejas de la planta como lesiones amarillas, con un polvo algodonoso que cubre los tejidos de la superficie inferior (Cerkauskas *et al.*, 2000). Daños muy severos en la planta pueden dar como resultado amarillamiento en las hojas, que permanecen unidas a la planta (Smith *et al.*, 1999; Elad *et al.*, 2007).

La alta incidencia de la cenicilla del tomate en invernadero puede constituir un grave problema y causar bajos rendimientos, como se ha reportado en otros cultivos como el pimiento y melón, donde este tipo de enfermedad causa pérdidas considerables (Sudha y Lakshmanan, 2006; Candido *et al.*, 2014 ), además de que la gran cantidad de fungicidas que se utilizan para su control bajo estas condiciones aumenta los costos de producción y el riesgo de selección de poblaciones resistentes del hongo si no se utilizan adecuadamente. Por otra parte, las aplicaciones curativas de fungicidas sistémicos en general son menos eficaces que las aplicaciones preventivas (Keinath y DuBose, 2004).

Para evitar el desarrollo de resistencia y ahorrar pesticidas se han utilizado modelos de riesgo que detectan condiciones favorables para la infección (Bakeer *et al.*, 2013), reduciendo así el número de aspersiones que se hacen por ciclo de cultivo. Actualmente no existen reportes sobre su utilidad bajo condiciones de cultivo protegido. Para el caso de la cenicilla del tomate se ha generado el modelo de riesgo TOMATO.PM (Guzman-Plazola, 1997), que ha mostrado eficacia bajo condiciones de campo (Guzman-Plazola *et al.*, 2011), pero no se sabe si su uso puede permitir un manejo adecuado de la cenicilla bajo condiciones de invernadero. Si este modelo fuese eficaz, podría permitir una producción con altos rendimientos, reduciendo el número de aspersiones de fungicidas en condiciones de infección natural de la enfermedad.

En el presente trabajo se identificó el agente causal de la cenicilla que afecta al cultivo de tomate bajo condiciones de infección natural en invernaderos de Texcoco, México y de

Zacatepec Morelos, donde, según las percepciones de los productores, puede llegar a ser un problema muy importante. Además, se determinó el impacto de la enfermedad en el rendimiento, su comportamiento epidémico y su relación con el microclima; además de que se compararon estrategias de aspersión calendarizada con las recomendaciones del modelo de riesgo TOMATO.PM para fines de control químico.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Taxonomía, Biología y Epidemiología del patógeno.**

#### **2.1.1 Taxonomía**

La ubicación más reciente del *L. taurica* es la siguiente (NCBI):

Súper-Reino: Eukariota

Reino: Fungi

Sub-Reino: Dikarya

Phylum: Ascomycota

Sub-Phylum: Pezizomycotina

Clase: Letiomycetes

Sub-clase: Letiomycetidae

Orden: Erysiphales

Familia: Erysiphaceae

Género: *Leveillula*

Especie: *L. taurica*

#### **2.1.2 Biología y Epidemiología**

El agente causal de la cenicilla del tomate *L. taurica* ha sido reportado en un amplio rango de hospedantes, en 700 a 1000 especies de 59 familias. Con este amplio rango, el hongo puede presentarse en diferentes estaciones y sobrevivir bajo distintas condiciones ambientales. Su estado anamorfo es *Oidiopsis sicula* Scalia (sin. *O. taurica* E. S. Salmo y su teleomorfo *Leveillula taurica* (Lèv.) G. Arnaud. (Palti, 1988; Khodaparast *et al.*, 2001). Puede atacar al cultivo en cualquier momento de su desarrollo, pero lo hace con mayor intensidad en las hojas maduras. Este hongo sobrevive el invierno como micelio o conidios en residuos de cosecha y sobre otras plantas hospedantes cultivadas (tomate, berenjena, algodón, etc.) o no cultivadas (malezas); o bien como cleistotecios en el suelo, o en algunas malezas como *Sonchus oleraceus* L. y *Physalis* sp. (Correll *et al.*, 1987). *L. taurica* es un

endoparásito que forma tanto micelio endofítico como micelio epifítico con conidióforos ramificados que crecen a través de los estomas (Mielserova y Lebeda, 1999).

El ciclo inicia cuando los conidios descienden a las hojas, donde el conidio germina y el hongo inicia su crecimiento. La cenicilla parasita la planta utilizándola como fuente de alimento. El hongo inicialmente crece de manera interna, con un periodo de incubación de 11 a 12 días (Guzmán-Plazola *et al.*, 2003). Posteriormente crece de manera externa y los conidióforos emergen a través de las estomas, sobre la superficie del envés de la hoja, produciendo más conidios, los cuales están ubicados en conidióforos septados; pueden ser simples o ramificados, especialmente cuando surgen de micelio endofítico (Palti, 1988). Los primeros síntomas aparecen en las plantas más maduras y en las hojas más viejas que son más susceptibles al patógeno como manchas cloróticas, algo angulares, distribuidas irregularmente sobre la superficie de la hoja. A medida que la enfermedad avanza los síntomas aparecen en las hojas más nuevas y las manchas cloróticas se van uniendo, surgiendo áreas necróticas que pueden observarse también en el haz (Neshev, 1993; Correll *et al.*, 1988).

La cenicilla causada por *L. taurica* se desarrolla en climas secos y húmedos. Los conidios pueden germinar en un rango de temperaturas entre 10 y 30°C, con el óptimo a los 20°C y una humedad relativa de 75 a 85%. La colonización de la hoja es óptima de 15 a 25°C, el crecimiento de las lesiones y el ritmo de progreso de la enfermedad fueron significativamente mayores a 20°C que a 25°C (Elad *et al.*, 2007; Guzmán-Plazola *et al.*, 2003). Los conidios germinan con un corto tubo germinativo que penetra por los estomas, luego crece intercelularmente en el mesófilo de la planta; las fructificaciones emergen por los estomas. Bajo condiciones ambientales óptimas, HR nocturna de 90-95%, de día por encima de 85% y temperaturas entre 15-25°C, los conidios germinan e infectan al hospedante en 24-48 h (Elad *et al.*, 2007). Las temperaturas de 30°C y por encima son perjudiciales para la germinación de esporas, exposiciones de dos a cuatro horas diarias con temperaturas de 35°C suprimen el desarrollo de la enfermedad en 70-92%. (Guzmán-Plazola *et al.*, 2003).

En un estudio llevado a cabo por Ashtaputre *et al.* (2007) para conocer la supervivencia del patógeno en diferentes condiciones de almacenamiento, los conidios

sobrevivieron durante 83 días en follaje infectados en campo o condiciones naturales y 136 días bajo congelación (45°C). Se observó la germinación de los conidios hasta después de 92 días a temperatura ambiente (20-25°C) y 104 días bajo la sombra de un árbol (15-20°C). Este estudio indicó que se acorta vida de los conidios del patógeno en condiciones naturales sobre su hospedante y el porcentaje de viabilidad de los conidios disminuyó con el aumento de la duración del almacenamiento en todas las condiciones ensayadas

## **2.2 Efectos de la cenicilla en el Rendimiento de cultivos**

En un estudio realizado por Keinath y DuBose. (2004) se reporta una reducción en el rendimiento debido a la presencia de cenicilla (*Podosphaera xanthii*) en el cultivo de melón. En Canadá, Cerkauskas *et al.* (2000) reportó que la infección por *L. taurica* provoca pérdidas de rendimiento en invernaderos de tomate, mientras que Jones y Thomson (1987) reportan pérdidas de hasta un 40 % en campo abierto. Aegerter *et al.* (2014) reportaron quemaduras en los frutos debido a la defoliación de la planta que ocasionó *L. taurica*, además señala que si existe un incremento moderado de la cenicilla en tomate solo un mes antes de la cosecha puede afectar los sólidos solubles, pero no el rendimiento del cultivo, mientras que una alta presión temprana de la enfermedad puede reducir significativamente el rendimiento. Resultados de estudios previos sobre el impacto en el rendimiento que puede ocasionar la cenicilla en el tomate pueden variar de no ocasionar perdidas en rendimiento (Correll *et al.*, 1988; Dafermos *et al.*, 2012) a generar un impacto variable en el rendimiento de tomate (Guzmán-Plazola *et al.*, 011), o a impactos severos en este (Aydm y Gore, 2010). Estas diferencias probablemente reflejan no sólo la severidad de la enfermedad en estos diferentes brotes, si no también diferencias en cultivares, el periodo de producción y prácticas de producción (Aegerter *et al.*, 2014).

## **2.3 Manejo de la cenicilla**

### **2.3.1 Control químico.**

#### **2.3.1.1 Funguicidas recomendados para el control de la cenicilla**

Los funguicidas son una herramienta importante para el control de la cenicilla; un problema muy importante de producción en muchas áreas del mundo (McGrath, 1996;

Gallian *et al.*, 2006; Cerkauskas *et al.*, 2011). Es necesario el uso fungicidas sistémicos o de actividad translaminar para obtener una protección adecuada de la superficie foliar, debido a que el hongo se desarrolla sobre la superficie de la hoja, el fungicida entra fácilmente en contacto directo con el patógeno actuando con gran eficacia (McGrath, 1996). Sin embargo, estos fungicidas presentan un alto riesgo de desarrollar resistencia porque tienen modos de acción específicos y las cenicillas tienen un alto potencial de desarrollo de resistencia (Damicone y Smith, 2009; McGrath, 2001). Los grupos de fungicidas inhibidores de Quinona (QoI) y los inhibidores de la desmetilación (DMI) son los más utilizados en el control de cenicillas y representan aproximadamente la mitad del total de ventas mundiales en fungicidas (Gallian *et al.*, 2006). Aplicaciones curativas de fungicidas sistémicos en general son menos eficaces que las aplicaciones preventivas (Keinath y DuBose, 2004).

#### **2.3.1.1.1 Grupo Triazoles**

##### **Micobutanil**

Es un fungicida sistémico de amplio espectro con actividad preventiva y curativa que pertenece al grupo químico de los triazoles. Este fungicida interviene con la biosíntesis de los ergosteroles (inhibidores de la desmetilación del esteroles DMI) de los hongos, que son vitales para la formación de su pared celular. Los ergosteroles regulan los intercambios entre el medio ambiente y el interior de las células; su ausencia causa un daño irreparable en la pared celular causando la muerte del hongo. El fungicida también tiene una actividad anti-espulante y no permite la formación de conidios, de este modo evita la propagación de los hongos (Nene y Thapliyal, 1993; Ganeshan *et al.*, 2013).

El miclobutanil se utiliza para el control de Ascomycetes, Deuteromycetes y Basidiomycetes, en una amplia gama de cultivos. Como fungicida sistémico se transloca, fundamentalmente de forma acrópeta más que en sentido basípeta (Klittich, 2014). Se degrada rápidamente en el suelo, plantas y animales. No afecta a la actividad microbiana del suelo y por su escasa movilidad, no contamina las capas freáticas (LeNoir *et al.*, 1999). No se hidroliza en agua a pH 5, 7 y 9 durante 28 días a temperatura ambiente (Wolf *et al.*, 2009). En aguas estancadas, la fotólisis conduce a una degradación muy rápida. Es moderadamente

persistente a persistente (DT50 > 70 días) en suelos aeróbicos, persistente en suelos anaeróbicos y tiene una toxicidad media en animales (Nu-may, 2000; FAO, 1997).

### **Tebuconazol**

Fungicida sistémico del grupo químico de los triazoles. Penetra por la cutícula de la hoja, con acción preventiva, curativa y erradicante. Influye sobre el proceso de biosíntesis del esterol en los hongos patógenos. Se utiliza para el control de Deuteromycetes, Basidiomycetes y Ascomycetes, en más de 14 cultivos. Interfiere en la biosíntesis de la membrana celular del hongo mediante la inhibición de la síntesis de ergosterol. Se transloca en sentido acrópeto en la planta, de forma que es bien absorbido por el vegetal y translocado hacia los meristemos terminales en los que se acumula ligeramente (USA-EPA, 2013; 2001; FAO, 1997).

Tebuconazol es persistente en el suelo (796 días) su movilidad es relativamente baja, por tanto no se lixivia, no se espera que se filtre a las aguas subterráneas del suelo (en suelos de alto contenido orgánico. Su movilidad aumenta a medida que la materia orgánica del suelo disminuye. Tiene poco potencial para llegar a aguas subterráneas, excepto en suelos de alto contenido de arena (FAO, 1997). En el agua se hidroliza y se fotoliza con una vida media de unos 28 días y es estable a pH 5, 7, y 9. (FAO, 1997; Jones *et al.*, 1998). Considerado moderadamente tóxico en peces, parcialmente no tóxico para mamíferos y aves (Forrest *et al.*, 2001). Estudios realizados por Bending *et al.* (2007) y Muñoz-Leoz *et al.* (2011) concuerdan que Tebuconazol afecta la biomasa microbiana del suelo, sin embargo, Bending *et al.* (2007) reporta que en suelos con alto contenido de materia orgánica (MO) y biomasa no hay efectos negativos.

### **Triadimefon**

Triadimefon es un fungicida de amplio espectro que pertenece al grupo de los triazoles, inhibidores de la desmetilación o biosíntesis de esterol en las membranas de los patógenos. Tiene actividad sistémica protectante, curativa y erradicante contra cenizas y royas entre otros hongos. Se absorbe por las raíces de la planta, con una translocación fácil en los tejidos jóvenes, pero presenta menor movimiento en los tejidos viejos de la planta (Zarn *et al.*, 2004).

Es considerado un fungicida muy persistente en el suelo; su residualidad puede durar unos dos meses (FAO, 2011). La conversión en el suelo de triadimefon a triafimenol, por reducción del grupo carbonilo a grupo hidroxilo, en condiciones ambientales naturales se considera que es una reacción microbiana, que puede convertir de 5-32% de triadimefon a triadimenol en 2-5 días (FAO, 1979). En soluciones acuosas estériles se considera estable cuando se encuentra a temperaturas que van desde los 25°C-45°C y a pH 3, 6 Y 9. La tasa de desaparición del compuesto original corresponde a una vida media de 6-8 días en el agua y 18 a 20 días en el suelo (Burger, 1992).

Buchenauer y Grossmann. (1977) reportaron efectos secundarios de aplicaciones de triadimefon en plantas. Uno de los efectos predominantes es un retraso en la elongación; principalmente la elongación de los entrenudos es la más afectada, pero también retrasa el desarrollo de raíces. Estos efectos son retardados parcial o completamente mediante la aplicación de ácido giberélico (GA3).

#### **2.3.1.1.2 Grupo Estrobirulinas**

##### **Trifloxistrobin**

Trifloxistrobin pertenece al grupo químico de las estrobilurinas; tiene actividad fungicida preventiva, curativa y de contacto con propiedades de penetración; especialmente activa contra Ascomycetes, Basidiomycetes, Deuteromycetes y Oomycetes, particularmente para el tratamiento de cenicillas (Dannan y Tasheva, 2004). No se transloca por el sistema vascular de la planta. El modo bioquímico de acción del trifloxistrobin es interferir con la respiración celular del hongo, bloqueando la transferencia de electrones en la mitocondria celular, dando como resultado un potente inhibidor de la germinación de esporas y del crecimiento del micelio (USA-EPA, 1999; USA-EPA, 2014).

En el suelo trifloxistrobin se degrada rápidamente con valores de vida media corta (de 0.5 a 2 días) por los mecanismos que incluyen el metabolismo, la fotólisis e hidrólisis (USA-EPA, 1999; Singh y Singh 2014). En suelos con pH menores a 5 puede ser más estable y persistente (USA-EPA, 1999). La forma libre del metabolito ácido o metabolito primario CGA-321113, parece ser móvil y persistente, el cual es degradado a un ritmo más lento que

el compuesto original. Pruebas indican que Trifloxistrobin no se considera un riesgo para aves, mamíferos y abejas, debido a su baja toxicidad (USA-EPA, 1999; Rajasekar y Jeyakumar, 2014), pero es considerado tóxico para peces y otros organismos acuáticos (Junges *et al.*, 2012), además se ha clasificado con baja probabilidad cancerígena en humanos; solo a dosis altas produce efectos en el hígado y los riñones y toxicidad para el desarrollo prenatal (USA-EPA, 1999; Dannan y Tasheva, 2004; USA-EPA, 2014).

### **Azoxistrobin**

Azoxistrobin es un compuesto  $\beta$ -metacrilato que está relacionado estructuralmente con la forma natural que de estrobilurinas, que son compuestos derivados de algunas especies de hongos que crecen en la madera en descomposición (*Oudemansiella mucida* y *Strobilurus tenacellus*) (Miles *et al.*, 2004; Balba, 2007; Shah y Ray, 2008). Es un fungicida sistémico y translaminar de amplio espectro que actúa mediante la inhibición de transporte de electrones en los hongos patógenos, su actividad está dirigida contra enfermedades causadas por Ascomycetes, Deuteromycetes, Basidiomycetes y Oomycetes (Shah y Ray, 2008). Gran cantidad del producto es tomada por la planta, lo cual asegura que el ingrediente activo que permanece sobre la hoja prevenga la infección al afectar las esporas de los hongos. Azoxystrobin se difunde a través de la hoja hasta alcanzar los tejidos vasculares para posteriormente moverse de manera acropétala por transpiración (Anonymous, 2005).

Azoxystrobin presenta muy bajo riesgo para el agricultor y el consumidor; se degrada muy rápidamente en el suelo bajo condiciones de campo. Se ha demostrado que no tiene potencial de alcanzar las capas de agua subterránea bajo condiciones de uso normal en el suelo; además presenta baja toxicidad a abejas, aves, insectos benéficos, lombrices y microorganismos del suelo (Bending *et al.*, 2007; Shah y Ray 2008; Muñoz-Leoz *et al.*, 2011). La USA-EPA (1997) indica que el azoxystrobin presenta poca probabilidad de que sea carcinogénico. En su Manual de Plaguicidas menciona que no genera efectos oncogénicos en ratones o ratas. No obstante, está etiquetado como peligroso para los peces y otros seres de la vida acuática (Whitehead, 2001). De acuerdo con la USA-EPA (1997) el azoxistrobin es moderadamente persistente en el suelo en ausencia de luz, con potencial moderadamente

móvil en suelos de textura gruesa (arena y arena arcillosa suelos) donde persiste con una vida media de más de 100 días.

### **Piraclostrobin**

Piraclostrobin es un fungicida miembro del grupo de las estrobilurinas, con actividad de amplio espectro; controla Ascomycetes, Basidiomycetes, Deuteromycetoe y Oomicetes, principalmente. Actúa mediante la inhibición de la respiración mitocondrial por el bloqueo de la transferencia de electrones en la cadena respiratoria, que a su vez provoca importantes procesos bioquímicos celulares que se interrumpen gravemente, y da como resultado el cese del crecimiento fúngico (Bartholomaeus, 2003; Ammermann *et al.*, 2000). Impide la formación y penetración de las esporas, con lo cual tiene acción preventiva. Además, afecta el desarrollo del micelio en las hojas, debido a lo cual tiene acción curativa. Aunque su actividad, como consecuencia de su transporte acrópeto, basípeto y por vapor es pobre, su acción traslaminar es muy fuerte. Se ha observado también que, aplicado en ausencia de enfermedades, activa el sistema antioxidante en las hojas de la cebada y evita la liberación de etileno por estrés de la planta y la senescencia prematura (Wu y Tiedemann 2003).

Piraclostrobin tiene una vida media en el suelo de 2 a 37 días. La ausencia de genotoxicidad hace suponer que es de poco riesgo carcinogénico en humanos (Bartholomaeus, 2003). Es estable en solución acuosa en la oscuridad a pH 4, 5 y 7 (25 ° C y 50 ° C). A pH 9 se observó una degradación muy lenta a temperatura ambiente (Scharf, 1999). No se lixivia y tiene escasa movilidad (FAO, 2003. Reuschenbach (1999) evaluó la biodegradación aeróbica de piraclostrobin. Después de 28 días se midió el grado de biodegradación de 0 a 10% de la demanda teórica de oxígeno. La sustancia de ensayo se consideró como difícilmente biodegradable.

#### **2.3.1.1.3 Quinolinas**

##### **Quinoxifen**

Quinoxifen es un fungicida de contacto y translaminar que pertenece al grupo químico de las Quinolinas; es usado para la prevención y control exclusivamente de cenicillas en

cultivos agrícolas (Henry, 2003; Dewhurst y Dellarco, 2006). Actúa suprimiendo la germinación de las esporas, el desarrollo del tubo germinativo e impidiendo el desarrollo de los apresorios (Wheeler *et al.*, 2003). Penetra en la hoja venciendo las superficies lipofílicas (ceras); se mueve en dirección acrópeta y basípeta. La redistribución del fungicida ocurre mediante la fase de vapor del producto; en la superficie de la hoja se volatiliza de forma lenta y persistente (Dewhurst y Dellarco, 2006). Proporciona un nuevo modo de multi-sitio de acción para controlar la cenicilla, que es diferente de los inhibidores de la desmetilación (DMIs) y las estrobilurinas que actúan en un único sitio (Henry, 2003). No se conoce el modo real de acción completamente, pero se cree que inhibe la infección de la cenicilla a través de la interrupción de los eventos de señalización celular temprana en el hongo que controlan los cambios morfológicos que conducen a la infección (CDPR 2004; USAEPA 1998).

Quinoxifen es relativamente no tóxico para la fauna terrestre, pero altamente tóxico para los peces de agua dulce y extremadamente tóxico para los invertebrados acuáticos (CDPR, 2004; USAEPA, 1998; Merli *et al.*, 2010). Los residuos se degradan rápidamente por fotólisis (18 minutos hasta un día dependiendo del pH del agua). Es poco soluble y fuertemente adsorbido por las partículas del suelo, no presenta riesgo de lixiviación, y el principal medio de degradación en suelo son los microorganismos (CDPR 2004; Dewhurst y Dellarco, 2006). Puede ser persistente en el medio ambiente bajo ciertas condiciones. Sin embargo, una vez que está en el suelo es inmóvil a ligeramente móvil en función del tipo de suelo (CDPR, 2004). Se metaboliza rápidamente en condiciones acuáticas, pero es más estable en condiciones terrestres. Sus residuos no se mueven con facilidad por el agua que pasa a través del perfil del suelo (CDPR, 2004; Dewhurst y Dellarco, 2006).

Aunque quinoxifen muestra una tendencia a acumularse en el suelo, no se considera que es un contaminante ambiental, ya que es inmóvil en el suelo. Los compuestos que son fuertemente absorbidos por partículas del suelo probablemente no se lixivian, incluso cuando son persistentes (EC 2003; CDPR,2004). Son retenidos en la zona de la raíz y finalmente absorbidos por las plantas o degradados. Se espera que el uso de quinoxifen tenga un impacto mínimo sobre el medio ambiente y no se espera que se filtre en las aguas subterráneas (CDPR, 2004).

#### **2.3.1.1.4 Carboxamidas**

##### **Boscalid**

Pertenece al grupo químico de las carboxamidas y a la familia de las anilidas. Es un fungicida de amplio espectro con actividad fungicida sistémica y translaminar de efectos preventivos y curativos. Boscalid inhibe la respiración del hongo, al interrumpir la síntesis de la enzima succinato ubiquinona reductasa, ubicada en el complejo citocromo II, en la cadena de transporte de electrones de la membrana mitocondrial, que contribuye a la producción de energía y la regulación de la formación de bloques para los aminoácidos y los lípidos para la síntesis de los componentes esenciales de las células (McGregor y Soleck, 2006). Aplicado sobre la superficie foliar, una parte se transloca de manera translaminar, del haz al envés de la hoja y otra parte se absorbe y se mueve en dirección acrópeta y vía corriente transpiratoria, en dirección acropétala hacia el extremo y bordes de la hoja (Putman y Kaminski, 2011).

Boscalid se degrada totalmente en el suelo y su movilidad se considera baja. No se hidroliza en agua a pH 4, 5, 7 y 9 (McGregor y Soleck, 2006). Ebert y Harder (2000) y Stephan (1999) coinciden en que el metabolismo aeróbico del boscalid en diferentes tipos de suelo a diferentes temperaturas mostró que este fungicida se degrada lentamente y los metabolitos identificados fueron una pequeña parte de los residuos que a su vez se degradan casi a la misma velocidad. Por su modo de acción es eficaz contra hongos resistentes a los inhibidores de los esteroides. Presenta toxicidad alta en peces, crustáceos, algas y ligera en aves, abejas y lombrices de tierra (USA-EPA, 2003; McGregor y Soleck, 2006).

#### **2.3.1.1.5 Compuestos inorgánicos**

##### **Azufre**

El azufre es el mejor fungicida de contacto y preventivo más utilizado que se puede aplicar de manera foliar como azufre humectable, líquido o sublimado (Orozco, 2006; Villalobos *et al.*, 2013). El reglamento Específico de Producción Integrada de Cultivos Hortícolas Protegidos de la Junta de Andalucía recomienda el uso de sublimadores como

medida preventiva para el control de *Leveillula taurica* (Pérez Parra *et al.*, 2012) ya que puede proporcionar un control razonable de la cenicienta si se aplica antes de la aparición de la enfermedad y a intervalos frecuentes. Se ha utilizado para el control de la cenicienta, con aplicaciones calendarizadas de 7 a 10 días. Sin embargo, el uso de azufre tiene ciertas limitaciones como la fitotoxicidad a altas temperaturas (Smith *et al.*, 1999).

Debido a que no se han detectado casos de desarrollo de resistencia al azufre, una mezcla de azufre con cualquier fungicida en situación de riesgo como una práctica común le dará un buen control de las cenicientas y puede ser muy útil en la prevención de la resistencia, además de que el costo de aplicación es muy bajo (Gallian *et al.*, 2006).

### **2.3.1.2 Resistencia a fungicidas**

Los fungicidas afectan primordialmente la funcionalidad de la membrana celular; ya sea en la biosíntesis de compuestos, procesos de respiración y producción de energía; muy pocos poseen la capacidad de matar las células del patógeno (McGrath, 2004). La resistencia es un ajuste genético dado por un patógeno que resulta en una sensibilidad reducida a un fungicida, que le da la capacidad al patógeno de contrarrestar o eludir la actividad del producto químico (Gallian *et al.*, 2006; Damicone y Smith, 2009). Los fungicidas sistémicos y translaminares generalmente son más susceptibles para desarrollar resistencia que los fungicidas de contacto, porque que suelen ser específicos a un solo modo de acción (McGrath, 2001). El rasgo de resistencia puede ser consecuencia de un gen único o múltiples mutaciones genéticas (McGrath, 2001; Damicone y Smith, 2009). Mutaciones de un solo gen que confieren resistencia específica son más probables de desarrollarse que las mutaciones en múltiples genes (Damicone y Smith, 2009). Cinco de los principales grupos químicos de fungicidas, Metil Bencimidazol Carbamatos (Grupo 1), dicarboxamidas (Grupo 2), inhibidores de la desmetilación del esteroles (DMI, Grupo 3), fenilamidas (Grupo 4), y los inhibidores de Qo (QoI, principalmente estrobilurinas, Grupo 11), son los más efectivos para el control de enfermedades, además los más favorables para desarrollar resistencia al patógeno (Gallian *et al.*, 2006; Damicone y Smith, 2009) por tener un modo acción específico, es decir, son activos en un punto de una ruta metabólica del patógeno (Gisi, 2002). El mecanismo de acción de los fungicidas DMI es muy específico y se desarrolla lentamente;

es relativamente inestable y la sensibilidad puede ser restaurada con la no utilización de este grupo (Gallian *et al.*, 2006). Esta resistencia es en general poligénica o cuantitativa (McGrath, 2001; Kumar y Rani, 2013) y resulta de la modificación de varios genes que interactúan y se desarrollan poco a poco, especialmente en cenicillas (Ypema *et al.*, 1997). Triadimefon, miclobutanil y propiconazol son ejemplos de productos a los que se ha generado resistencia cuantitativa (Gallian *et al.*, 2006).

Guzmán-Plazola *et al.* (2011) reportó una reducción en la eficacia del fungicida miclobutanil a *Leveillula taurica*. Reportes similares se han publicado para *Podosphaera xanthii*, cenicilla de las cucurbitáceas y la cenicilla de la vid *Erysiphe necator*, debido a al uso excesivo de este fungicida (Coffey *et al.*, 2007; Gubler *et al.*, 1996).

Los fungicidas del grupo de las estrobilurinas son los principales en el grupo de las QoI (inhibidores de Qo) y se caracterizan por tener una mayor residualidad y mayor resistencia al lavado por las lluvias que los fungicidas de contacto (Brent y Hollomon, 1998; Damicone and Smith, 2009). Desde su registro en 1996 las estrobilurinas (QoIs) se convirtieron rápidamente en uno de los fungicidas agrícolas más importantes, representando más del 20% del mercado global de fungicidas dentro de sus primeros diez años (Fernández-Ortuño *et al.*, 2010). Sin embargo, uno de sus aparentes puntos más fuertes de estos fungicidas, su modo de acción específica, ha demostrado ser una grave debilidad, debido a que un número significativo de patógenos ha desarrollado resistencia a QoIs (Gallian *et al.*, 2006; Fernández-Ortuño *et al.*, 2010). Sin embargo, patógenos como *Fusarium graminearum* (Dubos *et al.*, 2011), *Erysiphe necator* (Miller y Gubler, 2004), han mostrado sensibilidad a trifloxistrobin, fungicida perteneciente a este grupo.

Se sabe que las estrobilurinas se unen de forma reversible al sitio de quinol-oxidación (Qo) del citocromo b, una parte del complejo de citocromo bc1, situada en la membrana mitocondrial interna de los hongos, para después bloquear la transferencia de electrones entre el citocromo b y el citocromo c. La interferencia en la transferencia de electrones conduce a la inhibición de la respiración mitocondrial mediante inhibición de la síntesis de ATP (Balba, 2007; Bartlett *et al.*, 2002). El modo de acción tan específico de las QoI presenta un riesgo de generación de resistencia cualitativa, la cual se desarrolla rápidamente y es estable. Es la

responsable del alto riesgo de generar resistencia en este grupo (Kumar y Rani, 2013; Brent y Hollomon, 1998). Una sustitución de un aminoácido glicina por alanina en la posición 143 (G143A) de la proteína del citocromo b se asocia con la resistencia parcial a el QoI (Zheng *et al.*, 2000; Gisi *et al.*, 2002). Se ha reportado resistencia cruzada entre azoxistrobin y miclobutanil y la sensibilidad de *U. necator* a azoxistrobin (Wong y Wilcox, 2002).

El grupo de las carboxamidas presenta un riesgo bajo de desarrollar problemas de resistencia (Kummar y Rani, 2013). Sin embargo, se ha reportado el desarrollo de cepas resistentes a boscalid, por ejemplo, *Corynespora cassiicola* y *Podosphaera xanthii* en el cultivo de pepino (McGrath, 2008; Miyamoto *et al.*, 2010) y *Alternaria alternata* en pistacho (Avenot y Michailides, 2007). Los estudios sobre los mecanismos moleculares responsables de la adquisición de resistencia a boscalid en poblaciones de campo de algunos hongos, tales como *A. alternata* (Avenot *et al.*, 2009), *B. cinérea* (Stammler *et al.*, 2008) y *C. cassiicola* (Miyamoto *et al.*, 2010) mostraron que las mutaciones son el resultado de sustituciones de aminoácidos en las subunidades SDHB, SDHC y SDHD de SDH.

### **2.3.2 Control Cultural**

Las medidas de control cultural como estrategias sanitarias para eliminar o erradicar plantas infectadas de los invernaderos son importantes en el manejo de enfermedades (Tsitsigiannis *et al.*, 2008). Algunos métodos culturales como la elección de la época de transplante, el deshoje de las hojas más viejas y su eliminación posterior del campo debido a que serían una importante fuente de inóculo para el resto de las plantas, pueden ayudar a disminuir la incidencia de la enfermedad.

La remoción de hojas maduras en el tomate produce una mayor tasa de asimilación neta, posiblemente por el incremento del área foliar de las hojas remanentes; el potencial metabólico y la actividad fotosintética de las restantes hojas se expresa al máximo (Tanaka *et al.*, 1974). Esta práctica no causa pérdidas en el rendimiento, pero debe ser adoptada cuidadosamente a fin de no reducir demasiado el área fotosintéticamente activa, o no aumentar excesivamente la exposición de los frutos al sol por falta de protección foliar

(Adams *et al.*, 2002). La remoción de hojas de hasta un 30% en el cultivo de tomate no presenta efectos significativos en la producción de frutos (Tanaka y Fujita, 1974).

### 2.3.3 Control Biológico

La agricultura orgánica requiere el uso de productos que tengan un menor impacto con el medio ambiente y que no tengan efectos dañinos en la salud de los consumidores (Derbalah *et al.*, 2012). Existen estudios con productos biológicos (antagonistas, extractos de plantas, etc.) como una alternativa a los fungicidas como medida de control. El uso de inductores naturales como Milsana (*Reynoutria sachalinensis*) para inducir resistencia natural contra *L. taurica* en el cultivo de tomate proporciona una alternativa a los tratamientos convencionales, reduciendo la enfermedad de un 42 a un 64 % (Konstantinidou-Doltsinis *et al.*, 2006; Kasselaki *et al.*, 2006) y afectando positivamente las concentraciones de algunos productos químicos naturales en el tomate como por ejemplo ácido ascórbico, quercetina, quercetina-3-O-rutinosido,  $\beta$ -caroteno y potasio, los cuales son conocidos como inductores de resistencia natural.

Brand *et al.* (2009) realizaron un estudio en el que probaron dos agentes biológicos bajo condiciones controladas a diferentes temperaturas. Encontraron en el experimento de 15-25°C que *Ampelomyces quisqualis* solo redujo la colonización de las hifas a 25°C. Sin embargo, para el caso de *Trichoderma harzianum* disminuyó significativamente la colonización de las hojas, pero la incidencia de la enfermedad solo se redujo de 20-25°C. Derbalah *et al.* (2012) realizó estudios con extractos de aceite de clavo, filtrado de cultivos de *Bacillus subtilis* y *Artemisia cina* y mostraron ser efectivos contra la cenicilla del tomate y el tizón temprano en condiciones de invernadero.

El uso de aceites naturales como el aceite de canola emulsionado, aceite de maíz, aceite de semilla de uva, aceite de cacahuete, aceite de cártamo, aceite de soja o aceite de girasol mostraron eficacia en el control de *O. neolicopersici* en el cultivo de tomate, inhibiendo la germinación de conidios y suprimiendo el crecimiento del micelio en la hoja (Ko *et al.*, 2003). Otros compuestos como el aceite de árbol de té, un vapor de aceite esencial destilado de la planta australiana *Melaleuca alternifolia*, que contiene más de 100

componentes, como monoterpenos, sesquiterpenos y sus alcoholes, se ha utilizado en aplicaciones foliares para el control de *Phytophthora infestans* y cenicilla del tomate causada por *O. neolycopersici* y *L. taurica*, mostrando un efecto duradero y eficaz, además de no causar daños a la fauna benéfica (Reuveni *et al.*, 2007).

Yanar *et al.* (2011) demostró la eficacia del silicato de potasio ( $K_2SiO_3$ ), como un fungicida biocompatible, de actividad protectora, además de ser un fertilizante foliar, contra *L. taurica* en el cultivo de tomate en condiciones naturales de infección, donde la incidencia de la enfermedad fue de 77.5 y 74.7%. El uso de  $K_2SiO_3$  causó una reducción de la enfermedad entre 5.8 y 4.6%.

#### **2.3.4. Control genético**

Además de aplicaciones de fungicidas, la cenicilla podría ser controlada usando cultivares resistentes. La resistencia a hongos fitopatógenos frecuentemente incluye la inducción de una respuesta de hipersensibilidad (HR) y el desarrollo de resistencia sistémica adquirida (SAR) por la vía del ácido salicílico (SA), caracterizado por una resistencia de amplio espectro a patógenos virulentos que involucra una activación de genes R en sitios separados del sitio de infección inicial (Eckardt, 2002).

Para crear materiales resistentes se realiza principalmente introgresión del rasgo de resistencia a partir de especies silvestres a la especie cultivada (Chunwongse *et al.*, 1994). En el cultivo de tomate el gen Lv es el único gen de resistencia (R) identificado hasta el momento que confiere resistencia a *L. taurica*, el cual fue encontrado en la especie silvestre de tomate *Solanum chilense* y mapeado en el cromosoma 12, el cual confiere resistencia inducida mediante una respuesta de hipersensibilidad (HR) (Chunwongse *et al.*, 1997; De Souza y Café-Filho, 2003). Son varios los genes que confieren resistencia a *O. neolycopersici* en el cultivo de tomate; se incluyen seis genes monogénicos Ol (Ol-1 - Ol-6) y tres QLT (quantitative trait loci) (Ol-qt1- Ol-qt3) (Bai *et al.*, 2003; Bai *et al.*, 2005; Huang *et al.*, 2000; Gao *et al.*, 2014). Sin embargo, existen varias desventajas en el uso de genes-R, como la barrera de hibridación interespecífica que podría restringir la introgresión de un gen R del donante resistente en la especie cultivada y aunque el donante del gen resistente pueda

cruzarse fácilmente con las especies cultivadas, se requieren más retrocruzamientos para eliminar los rasgos indeseables (Fu *et al.*, 2009). Otra desventaja es que los genes R que confieren la resistencia específica podrían ser superados por nuevas razas del patógeno (Xiao *et al.*, 2003).

Otra estrategia para crear materiales resistentes es desactivar genes susceptibles de la planta (Genes-S) para lograr una resistencia durable y de amplio espectro (Pavan *et al.*, 2010). El deterioro de la función de los genes-S de la planta da como resultado una resistencia recesiva. Un ejemplo importante de este tipo de genes son los mildew resistance locus (MLO) familia de genes específica de plantas que juega un papel importante en la resistencia de plantas contra la cenicienta y que primeramente fue identificado en el cultivo de cebada. Estos genes confieren resistencia de amplio espectro y permanente a todos los aislamientos del hongo *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* (Büschges *et al.*, 1997; Pavan *et al.*, 2010). Estos genes se han identificado en especies de plantas como arábiga (Devoto *et al.*, 2003; Consonni *et al.*, 2006), tomate (Bai *et al.*, 2008; Zheng *et al.*, 2013), chicharro (Humphry *et al.*, 2011; Pavan *et al.*, 2011), pimiento (Zheng *et al.*, 2013) y trigo (Wang *et al.*, 2014). Los genes MLO codifican una clase de proteínas específicas de la planta anclados en la membrana plasmática por siete dominios transmembranales (Büschges *et al.*, 1997). Cuando faltan las proteínas funcionales de susceptibilidad MLO, los hongos que producen las cenicientas no son capaces de llegar a su hospedante (Consonni *et al.*, 2006).

En solanáceas se han caracterizado dos genes, MLO SIMLO1 en tomate que confieren resistencia total a *O. neolycopersici* (Bai *et al.*, 2008; Zheng *et al.*, 2013) y resistencia parcial a *L. taurica* (Zheng *et al.*, 2013) y CaMLO2 en pimiento, cuya inactivación está asociado con la resistencia a cenicienta (Bai *et al.*, 2008; Zheng *et al.*, 2013).

## **2.4 Modelos de Riesgo**

El objetivo del modelado de epidemias es idear maneras de intervenir en los agroecosistemas para reducir pérdidas de rendimiento en los cultivos. Esta estrategia debe ser útil para los productores y utilizar datos que puedan ser colectados rápidamente (Belanger *et al.*, 2002). Cuando existe la probabilidad de que una enfermedad sea una amenaza y resulte en mermas de un cultivo, se puede hacer uso de modelos de riesgo, los cuales pueden predecir

el primer brote o el incremento de la intensidad de una enfermedad, tomando en cuenta variables como el clima, hospedante y condiciones del patógeno (Madden y Ellis, 1988; Cooke *et al.*, 2006). Los modelos de riesgo son requeridos por tres razones, la primera es la económica, ya que se reducen los costos de producción con la aplicación oportuna de medidas de control, generalmente utilizando fungicidas y evitando aplicaciones innecesarias, usándolos solo cuando son requeridos. La segunda razón es la seguridad, al reducir riesgos de una posible fitotoxicidad debido al uso de fungicidas. La tercera razón es reducir el uso injustificado de estos pesticidas (Cooke *et al.*, 2006).

La implementación de modelos de riesgo se ha llevado a cabo en varios cultivos con diferentes enfermedades, obteniendo resultados favorables en cuando a la detección temprana de la enfermedad para lograr reducir el número de aspersiones de fungicidas y pérdidas de rendimiento en los cultivos. El modelo MELCAST es utilizado para detectar la cenicilla del melón (*Podosphaera xanthii*). En evaluaciones de su eficacia se hicieron de dos a tres aplicaciones con base al modelo (Keinath y DuBose, 2004) mientras que sin el modelo se hacen de seis a diez aspersiones por ciclo (Zhou y Everts 2008). El modelo de predicción ZWIPERO desarrollado por el Servicio Meteorológico de Alemania, determina el riesgo de infección por *Peronospora destructor* con base a datos meteorológicos pronosticados en tiempo real, (temperatura, humedad relativa, humedad de las hojas). El modelo se considera como un sistema de soporte de decisiones para llevar a cabo las medidas adecuadas, previendo la ocurrencia del inóculo primario o infección y la aplicación de fungicidas ante la primera infección (Friedrich *et al.*, 2003).

Se han desarrollado modelos de riesgo para la cenicilla del tomate (*L. taurica*), que es una enfermedad limitante en la producción de este cultivo. El modelo TOMATO.PM es un sistema computarizado que identifica las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad, reduciendo el número de aplicaciones de fungicidas en el ciclo del cultivo, que van de 11 hasta 16 mediante un esquema de aspersión calendarizada (Guzman-Plazola *et al.*, 2011; Guzman-Plazola, 1997). El modelo se basa en resultados de experimentos bajo condiciones controladas (cámaras de crecimiento) y monitoreo de campo de la enfermedad y datos del clima. El modelo determina cuando es conveniente la aspersión de fungicidas, clasificando las condiciones de la enfermedad cada día (Guzman-Plazola, 1997). La inclusión de estos modelos en el manejo integrado de cultivos es de gran importancia en la reducción

de la cantidad total de aplicaciones de fungicidas mientras se mantiene la calidad de producción con un bajo impacto sobre el medio ambiente (Bakeer *et al.*, 2013).

## **2.5 Métodos alternativos de control**

En un intento por proteger los cultivos de futuras infecciones, se han estudiado distintos métodos alternativos para el control de la cenicilla del tomate. Se han evaluado métodos de control físico para prevenir la dispersión de las esporas del hongo *O. neolycopersici* dentro del invernadero como el desarrollado por Matsuda *et al.* (2006), quien utilizó un precipitador electrostático de esporas en el que un conductor de cable de cobre está unido a un generador electrostático y se cubre con un cilindro de acrílico transparente (aislante). El conductor se carga negativamente por el generador y el campo electrostático creado por el conductor se utiliza para polarizar dieléctricamente el cilindro aislante. Esta fuerza, que es directamente proporcional a la potencial aplicado al conductor, se utilizó para atraer conidios del patógeno. Durante todo este experimento las plántulas permanecieron sanas a pesar de la rápida propagación de las esporas en todas las hojas de las plántulas. Las cenicillas sobreviven y proliferan mejor bajo condiciones de sombra, esto indica que los conidios son sensibles a la luz directa del sol y la radiación UV (Jordan y Richmond, 1972). Otro método físico estudiado es el efecto que puede tener el colocar mallas sombra de colores con diferentes intensidades de sombra y cualidades de transmisión de radiación sobre *L. taurica*. Las mallas sombra de colores se diseñaron específicamente para modificar incidencia de radiación (espectro, dispersión y componentes térmicos), además de tener un efecto en la temperatura y la humedad relativa. Las redes negras, azul-plata, verde y rojo se asociaron con los niveles más bajos de la enfermedad en experimentos de campo (Elad *et al.*, 2007).

Se han realizado trabajos que han demostrado que las aplicaciones foliares de mezclas de leche de vaca y agua son eficaces para prevenir la cenicilla de calabaza (*Podosphaera xanthii* y *Sphaerotheca fuliginea*), reduciendo los síntomas entre un 50-70%. La leche no es un potencial contaminante ambiental o de los alimentos, por lo que se puede utilizar en la agricultura orgánica (Bettiol 1999; Ferrandino y Smith 2007).

En otros estudios, con la aplicación foliar del fertilizante fosfato monopotásico (MKP) se logró reducir eficazmente la cenicilla del pimiento (*Leveillula taurica*), inhibiendo del desarrollo de nuevos conidios así como la producción de conidios en el tejido infectado, mostrando destrucción tanto de hifas como conidios en las hojas tratadas con MKP (Reuveni y Reuveni, 1998).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Determinación del agente causal de la enfermedad**

##### **3.1.1 Taxonómica clásica**

Para la identificación del agente causal se tomaron muestras de hojas que presentaban síntomas típicos de la enfermedad. Se analizaron la morfología microscópica del hongo y aspectos tales como la presencia del micelio en el hospedante, tamaño y forma de conidios. Esta información se comparó con lo descrito por Braun y Cook (2012).

##### **3.1.2 Análisis molecular**

###### **3.1.2.1 Extracción del Acido Desoxirribonucleico (ADN)**

Para la extracción ADN se utilizó micelio y conidios de hojas con los síntomas de cenicilla. Se realizó y acetato de sodio. Se etiquetaron tubos de Eppendorf de 2 mL; se precalentó el CTAB 2% (Tris-HCL 10 mm pH 8.0, Na<sub>2</sub> EDTA<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O 20 mM pH 8.0, CTAB, NaCL 1.4 M a 80 °C) en baño maría. Se agregó el tubo de 2 ml (250 µL) de H<sub>2</sub>O HPLC, posteriormente con una punta de 200 µL se tomó el micelio y se diluyó en 1 ml de CTAB. Se incubó a baño María a 96°C por 60 minutos, se mezcló a intervalo de 10 minutos. Posteriormente se centrifugó a 11,000 xg por 5 minutos, y el sobrenadante se pasó a tubos de 2 ml. Después se agregó 500 µL de cloroformo-alcohol isoamilico (24:1) y se agitó por inversión por 10 minutos. Se centrifugó a 11,000 xg durante 10 minutos, se extrajo la fase acuosa y se colocó en tubos nuevos de 2 ml. Posteriormente se agregó 700 µL de cloroformo-alcohol isoamilico (24:1), se agitó por inversión durante 10 minutos y se centrifugó a 11,000 xg por 10 minutos. La fase acuosa se transfirió a un tubo nuevo de 1.5 ml con 950 µL de etanol al 100 % previamente enfriados a -20°C, se mezcló suavemente por inversión 10 veces y se incubó por dos horas a -20°C. Se centrifugó a 11,000 xg durante 30 minutos y se decantó evitando perder la pastilla. Después se desprendió la pastilla en 400 µL de agua HPLC y se incubó a 55°C por 15 minutos, se añadió 34 µL de NaOAc 3M y 1ml de etanol a 95 % y se incubó a 20 °C por 1 hora. Se centrifugó a 11,000 xg durante 5 minutos y el sobrenadante se decantó. Se lavó con 600 µL de isopropanol al 70% y se centrifugó por 10 minutos a 11 xg

y se dejó secar por al menos 30 minutos. Se resuspendió la pastilla en agua HPLC y se incubó a 80 °C durante 10 minutos, se dio un spin, y se almacenó a -20 °C para su posterior uso. La presencia de DNA se verificó por electroforesis mediante un gel de agarosa al 1.5 % preparado con 1x TAE buffer (Tris ácido acético glacial-EDTA).

### **3.1.2.2 Reacción en cadena de polimerasa (PCR)**

Para la amplificación la región correspondiente al Espacio Transcrito Interno (ITS) se utilizaron los iniciadores universales ITS5 (5'-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3') e ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') (White et al., 1990) de genes rRNA de las subunidades 18S-5.8S y 5.8S-28S. Para la reacción de PCR se utilizó un volumen final de 25 µL conteniendo 13.1 µL de agua ultrapura esterilizada, 5µL de una solución amortiguadora de 5x PCR buffer (con 2.0 µL MgCl<sub>2</sub>), 1 µL de dNTPs (de cada uno 2.0 µL), 0.3 µL de cada iniciador (10 µM), 5 µL de DNA genómico (20ng), y 0.3 µL (2U) de GoTaq DNA (Promega, USA).

La reacción de PCR se llevó a cabo en un termociclador BIO-RAD C200 Touch, Therlman Cycle con las siguientes condiciones de amplificación fue un ciclo inicial de desnaturalización de 95°C a 4 min, seguido por 30 ciclos de 95°C a 1 min, 58°C a 1 min y 2 min a 72°C, y finalmente un ciclo de desnaturalización de 72°C a 10 min. El producto final de PCR se purificó con ExoSAP-IT (Affymetrix, USA) de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Las secuencias obtenidas se compararon con las disponibles en el GenBank del National Center for Biotechnology Information (NCBI), mediante la opción BLASTIN.

## **3.2 Experimentos**

Se establecieron cuatro experimentos. Dos de ellos se establecieron en invernaderos instalados en el Campus Montecillo, del Colegio de Postgraduados, ubicado en Texcoco, Estado de México. Los otros dos en invernaderos de la empresa “Agroinvernaderos de Morelos” ubicados en Zacatepec, estado de Morelos.

### **3.2.1 Experimentos 1 y 2**

Los experimentos 1 y 2 se realizaron en invernaderos hidropónicos del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Edo. De México. Se utilizó la variedad saladette SUN7705 (Nuhems), de crecimiento indeterminado y susceptible a *L. taurica* (Guzmán-Plazola *et al.*, 2011). El trasplante se realizó el 11 de marzo de 2015. La unidad experimental (UE) constó de 6 plantas ubicadas en doble hilera. Se utilizaron bolsas negras de polietileno de con capacidad para 8 kg, donde se agregó tezontle rojo de diámetro menor a 1 cm. Este material fue desinfectado previamente con una solución de acidulada con ácido sulfúrico. Cada planta fue irrigada independientemente con solución nutritiva, (solución nutritiva de Steiner) mediante un sistema de riego por goteo. En el Cuadro 1 se indican las concentraciones de los diferentes nutrientes utilizados durante el ciclo del cultivo. Como parcela útil se usaron las dos plantas centrales de cada UE. Se dejó como cabecera sin evaluar una planta en cada extremo. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cinco repeticiones. Como tratamientos se aplicaron los fungicidas indicados en el Cuadro 2, recomendados para el control de la cenicilla del tomate por el Diccionario de Especialidades Agronómicas, versión 2015. En un primer conjunto de tratamientos, se aplicaron los fungicidas bajo un esquema calendarizado, cada 10 días, a partir del día juliano 140 (20 de mayo). Estos tratamientos se compararon con las recomendaciones de aspersión generadas por el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola, (1997) denominado TOMATO.PM. Se incluyó un tratamiento testigo, donde no se aplicaron fungicidas; de esta forma se evaluaron un total de 13 tratamientos.

### **3.3.2 Experimentos 3 y 4**

Los experimentos 3 y 4 se establecieron en invernaderos de la empresa Agroinvernaderos de Morelos, en Zacatepec Morelos. Se utilizó la variedad saladette Ramses (Harris Moran), de crecimiento indeterminado y con antecedentes de susceptibilidad a la cenicilla del tomate (comunicación personal del agricultor). En este caso se realizó trasplante directo al suelo. El trasplante se hizo el 18 de diciembre de 2015. La UE constó de parcelas de dos surcos con seis plantas cada uno. Se tomó como parcela útil dos plantas de los surcos

Cuadro 1. Concentraciones de los diferentes nutrientes utilizados en la solución nutritiva (solución nutritiva de Steiner) para el invernadero hidropónico del Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco, México. Experimento 1 y 2. (concentración en 10000 L de agua.)

	Cantidad
Ácido sulfúrico	500 ml
Sulfato ferroso	75 g
Ácido fosfórico	1200 ml
Nitrato de calcio	8.4 kg
Nitrato de potasio	3.5 kg
Sulfato de magnesio	4.2 kg
Sulfato de potasio	3 kg
Sulfato de manganeso	40 g
Sulfato de zinc	5 g
Sulfato de cobre	5 g
Borax	50 g

centrales de cada UE, se dejó sin evaluar las dos plantas de cada extremo. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Estos experimentos tuvieron el mismo diseño de tratamientos que los experimentos 1 y 2. El DJ 42 (11 de febrero) se inició con las aspersiones calendarizadas en el experimento 3. En estos experimentos ya existían síntomas de la enfermedad cuando iniciaron las evaluaciones, (3-20%) de incidencia y (0.02- 1%) de severidad. En el experimento 4 las aspersiones calendarizadas iniciaron el 22 de febrero (DJ 53). En esta fecha también habían iniciado los primeros síntomas de la enfermedad

### 3.2.3 Monitoreo del microclima en los experimentos

En los cuatro experimentos se colocaron estaciones meteorológicas en la parte media del dosel vegetal. Se ubicó una estación por cada repetición, la cual constó de un micrologger marca WatchDog con sensores de temperatura ambiental, humedad relativa y humedad foliar. El micrologger tomó datos es estas variables cada cinco minutos durante las 24 horas del día. Los datos microclimáticos se procesaron mediante el modelo TOMATO.PM (Guzmán-Plazola, 1997), implementado en el paquete estadístico SAS (Statical Analysis System V.

9.4, Cary North Carolina). Este modelo categoriza el microclima diario en tres categorías: C, favorable, que indica que las condiciones son propicias para el desarrollo de la enfermedad en el cultivo; M, condiciones moderadamente favorables para el desarrollo de la enfermedad y N, no favorables para que se establezca la enfermedad. La decisión de llevar a cabo la aspersión de los fungicidas se tomó analizando periodos de seis días, que representan la mitad del periodo latente de la enfermedad (Guzmán-Plazola *et al.*, 2003). El modelo recomienda asperjar fungicidas en los casos donde en ese período de seis días ocurran al menos tres días favorables para la enfermedad y no ocurran dos días consecutivos con microclima no favorables. En estas situaciones se espera el desarrollo de altos niveles de severidad de la cenicilla. Si prevalece un clima moderadamente favorable, el modelo no recomienda asperjar puesto que se espera que la enfermedad, si llega a ocurrir, no afecte el rendimiento del cultivo. Si prevalece un microclima no favorable, el modelo pronostica niveles muy bajos a nulos de cenicilla. Cuando el modelo recomienda una aspersión de fungicida, se asume un período de protección de diez días y al término de éste, reinicia la evaluación de las condiciones microclimáticas.

### **3.2.4 Fungicidas**

Se evaluaron los fungicidas indicados en el Cuadro 2. Estos productos fueron aplicados bajo dos criterios: aspersión calendarizada (cada 10 d) y con base en lo recomendado por el modelo de riesgo Tomato.PM (Guzmán-Plazola, 1997). Incluyendo además un Testigo, dando un total de 13 tratamientos.

La aplicación calendarizada de los productos se realizó desde el trasplante. En el caso del modelo sólo se asperjaron los fungicidas cuando se detectaron condiciones de riesgo. Las dosis por producto están indicadas en el Cuadro 2. Se realizó una pre-mezcla del producto en un recipiente por separado y se utilizó un aspersor de mochila con capacidad para 20 L previamente calibrado.

Cuadro 2. Fungicidas recomendados para el control de la cenicilla del tomate por el Diccionario de Especialidades Agronómicas, versión 2015 y utilizados en el experimento para el control de la cenicilla del tomate.

Fungicida (Nombre comercial)	Ingrediente activo	Dosis	Grupo químico
Amistar ® 50 WG	Azoxistrobin	0.4/0.5 kg/ha	Estrobilurinas
Rally® 40W / Eagle 40W	Myclobutanil	228g/ha	Triazoles
Cabrio C®	Boscalid– Pyraclostrobin	0.75/0.80 kg/ha	Anilidas y estrobilurinas
Quintec ®	Quinoxifen	100-300 ml/ha	Quinolinas
Consist Max ®	Tebuconazol - Trifloxistrobin	0.3-0.5 L/ha	Triazoles y estrobilurinas.
Lucaflow®	Azufre humectable. Azufre elemental	200-500 g /100L	

Cuadro 3. Número de aspersiones de fungicidas\* para controlar la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) siguiendo las recomendaciones del modelo de riesgo Tomato.PM (Guzmán-Plazola, 1997) o bajo un esquema de aspersiones cada 10 días.

Localidad	Experimento	Repetición	Aspersiones	
			Con base en el modelo	Calendarizadas
Texcoco, Estado de México	1	1	2	15
Texcoco, Estado de México	1	2	3	15
Texcoco, Estado de México	1	3	0	15
Texcoco, Estado de México	1	4	0	15
Texcoco, Estado de México	1	5	0	15
Texcoco, Estado de México	2	1	1	15
Texcoco, Estado de México	2	2	0	15
Texcoco, Estado de México	2	3	0	15
Texcoco, Estado de México	2	4	1	15
Texcoco, Estado de México	2	5	1	15
Zacatepec, Morelos	1	1	0	7
Zacatepec, Morelos	1	2	0	7
Zacatepec, Morelos	1	3	0	7
Zacatepec, Morelos	1	4	1	7

### **3.2.5 Variables evaluadas**

En los experimentos 1 y 2 se determinó la fecha de la aparición de los primeros síntomas de cenicilla y se evaluó semanalmente la severidad en cada hoja durante la duración de cada experimento mediante dos diagramas estándar de área foliar dañada (SAD) (Lage *et al.*, 2015). Los valores de severidad de todas las hojas en la planta fueron promediados para obtener un valor único por planta. Los datos de cada planta se promediaron para obtener un valor único por cada UE. Se estimó la incidencia de la enfermedad, se contabilizó el número de hojas por planta con síntomas de cenicilla y se calculó el porcentaje correspondiente. Se evaluó además el rendimiento de frutos cada 10 días. En cada cosecha se cortaron frutos maduros y verde-maduros. Los frutos fueron pesados en una balanza marca OHAUS, modelo Scout Pro SPU2001. Los rendimientos por dos plantas fueron extrapolados a rendimientos por hectárea considerando una población de 40000 plantas.

En los experimentos 3 y 4 se realizaron las mismas evaluaciones que en los experimentos 1 y 2, pero en este caso se consideró una población de 60 000 plantas /ha para estimar los rendimientos.

### **3.2.6 Análisis estadístico**

Los datos de incidencia y severidad se analizaron como área bajo la curva del progreso de cada una de estas variables (ABCPS y ABCPI). Para calcular el área se utilizó el método de integración trapezoidal (Shaner y Finney, 1977). Adicionalmente los valores de incidencia y severidad fueron graficados para visualizar el comportamiento temporal de la enfermedad en cada experimento.

Las áreas bajo la curva del progreso de la enfermedad y los rendimientos de frutos se calcularon y analizaron estadísticamente mediante el paquete estadístico SAS. Se realizaron análisis de varianza y comparaciones de rango múltiple mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error (Steel y Torrie, 1980).

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Identificación del patógeno**

#### **4.1.1 Identificación morfológica**

La cenicilla del tomate en el invernadero de Montecillo, Texcoco, se identificó según sus características morfológicas el estado sexual (anamorfo) de *Leveillula taurica*. Se observaron conidióforos ramificados y sencillos emergentes por los estomas de la hoja de la planta de tomate, además de conidios en forma lanceolado (conidios primarios) y conidios elipsoides, cilíndricos (conidios secundarios), no se identificó la forma sexual. Los conidios de la cenicilla observada en los invernaderos de Zacatepec, modelos, se observaron conidióforos formados por uno o dos conidios ovoides.

#### **4.1.2 Identificación molecular**

La comparación de las secuencias génicas de la región ITS de muestras de los cuatro invernaderos (574 bp para Texcoco y 654 bp para Zacatepec) con la secuencia KU886148.1 del GenBank confirmó que el patógeno causante de la cenicilla es *Leveillula taurica*. El análisis filogenético indicó un soporte de 100% idéntico a *L. taurica* en *Capsicum annuum* L. (Fig. 1). Se alinearon las dos secuencias ITS (Morelos y Texcoco) con 14 secuencias de *Leveillula* tomadas en la base de datos del GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) mediante la opción BLASTN (Zhang et al., 2000). La reconstrucción filogenética se realizó utilizando métodos bayesianos con 1 M de generaciones (Huelsenbeck and Ronquist, 2001).

### **4.2. Experimentos en el municipio de Texcoco**

#### **4.2.1 Estrategias de control de la cenicilla y comportamiento del microclima**

En el primer experimento, realizado en el año 2015, se hicieron un total de 15 aspersiones de fungicidas bajo el esquema calendarizado, iniciando a partir de día juliano (DJ) 140 (50 días después del trasplante, Cuadro 3, Figuras 2 a 5). El modelo de riesgo de Guzmán-Plazola, (1997) recomendó de cero a tres aspersiones por bloque durante todo el ciclo de cultivo en el primer experimento. Estas aspersiones se realizaron los DJ 150, 184 y 273 (30 de mayo, 3 de julio y 30 de septiembre).

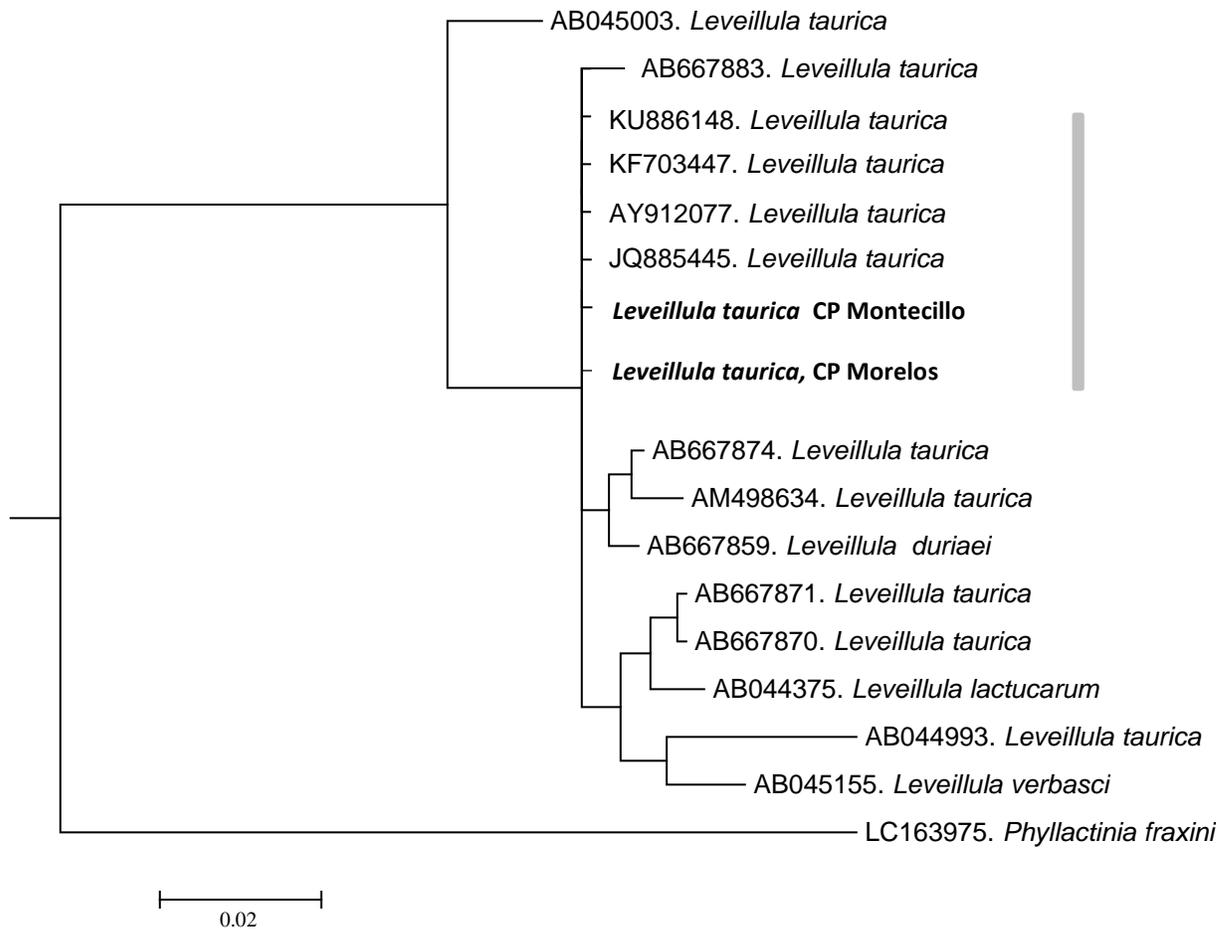


Figura 1. Árbol Filogenético de *L. taurica* con el método de inferencia bayesiana con 1 millón de generaciones, la desviación estándar final fue de 0.00467.

De acuerdo al modelo de riesgo, el microclima se comportó de manera diferente en los distintos bloques que constituyeron los experimentos. En la primera repetición del Experimento 1 se detectaron dos períodos favorables para un comportamiento severo de la enfermedad (Fig. 2). En la segunda repetición se detectaron cuatro períodos, pero uno de ellos no requirió de tratamiento con fungicidas porque se ubicó dentro del período de protección después de una aspersion previa recomendada por el propio modelo. En las repeticiones 3, 4 y 5 el modelo no detectó períodos de alto riesgo de enfermedad. En la mayoría de los casos prevaleció un microclima moderadamente favorable para el desarrollo de la cenicilla, con intermitencia de días favorables y no favorables (Figuras 2 a 5).

En segundo experimento se realizaron también 15 aplicaciones de fungicidas con base en el esquema de aspersiones calendarizadas, iniciando a partir del día juliano 140, mientras

que con base en el modelo de riesgo se recomendaron de cero a una aspersión por bloque (Cuadro 3, Figuras 6 a 9). La primera se aplicó sólo en el bloque uno en el DJ 211 (30 de julio) y la segunda en los bloques cuatro y cinco, el DJ 244 (1 de septiembre).

En la primera repetición del Experimento 2, el microclima se comportó moderadamente favorable durante casi todo el bioensayo y sólo se detectó un período de alto riesgo de desarrollo severo de la cenicilla (Fig. 6). En las repeticiones 2 y 3 el microclima se mantuvo moderado a no favorable para el desarrollo de la enfermedad, mientras que en las repeticiones 4 y 5 ocurrió una tendencia similar, con excepción de la ocurrencia de un solo período de alto riesgo.

#### **4.2.2 Dinámica de la incidencia de cenicilla**

Aunque durante los primeros 40 d desde el inicio del Experimento 1 no se realizaron aspersiones de fungicidas en ningún tratamiento, los síntomas de la enfermedad se detectaron hasta el DJ 160 (70 días después del trasplante). En esta evaluación el porcentaje de hojas con síntomas de cenicilla varió de 5 a 20 % (Fig. 10). Después de esta fecha la enfermedad tuvo un comportamiento aparentemente cíclico, con períodos de aproximadamente 20 d. Un primer grupo de curvas de desarrollo epidémico, con los valores numéricamente más bajos, correspondió en general a los tratamientos con aspersiones calendarizas. Un segundo grupo, con valores intermedios, correspondió a los tratamientos con aspersiones basadas en el modelo de riesgo. La curva de desarrollo de la enfermedad en el Testigo mantuvo una clara separación del resto de curvas y tuvo, en todas las evaluaciones, los valores más altos de porcentaje de incidencia.

Similarmente, aunque durante los primeros 40 d desde el inicio del Experimento 2 no se realizaron aspersiones de fungicidas en ninguno de los tratamientos, los primeros síntomas de la enfermedad se detectaron hasta el DJ 160 (9 de junio). En esta fecha se estimaron porcentajes de incidencia entre 5 y 30% (Fig. 11) incluyendo al testigo. El comportamiento de la incidencia de cenicilla también fue aparentemente cíclico. En el caso de las curvas de desarrollo epidémico se pueden diferenciar dos grupos. Un grupo, con los más bajos porcentajes de incidencia, correspondió a los tratamientos aplicados con base al sistema

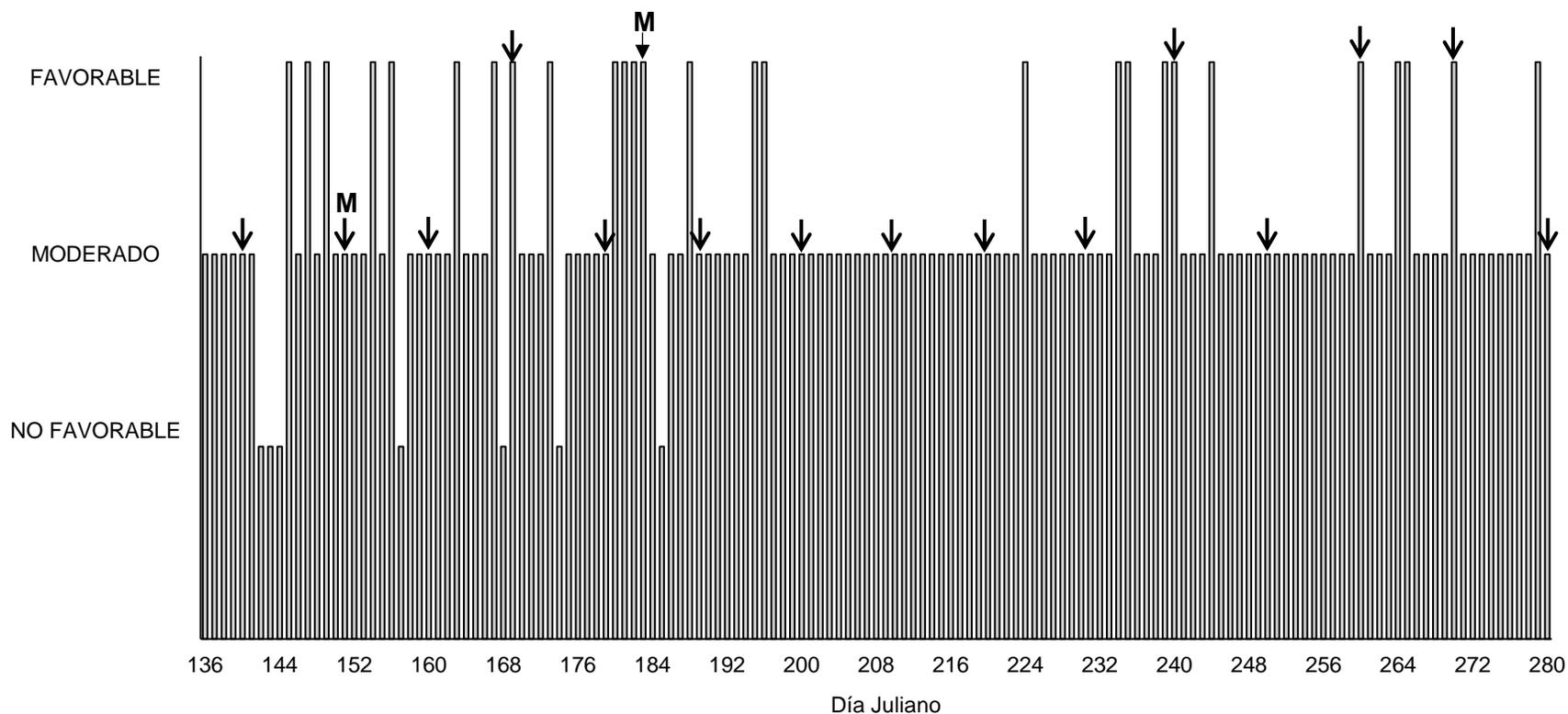


Figura 2. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el primer bloque del Experimento 1 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base al modelo (M) o con base en el esquema calendarizado. (C).

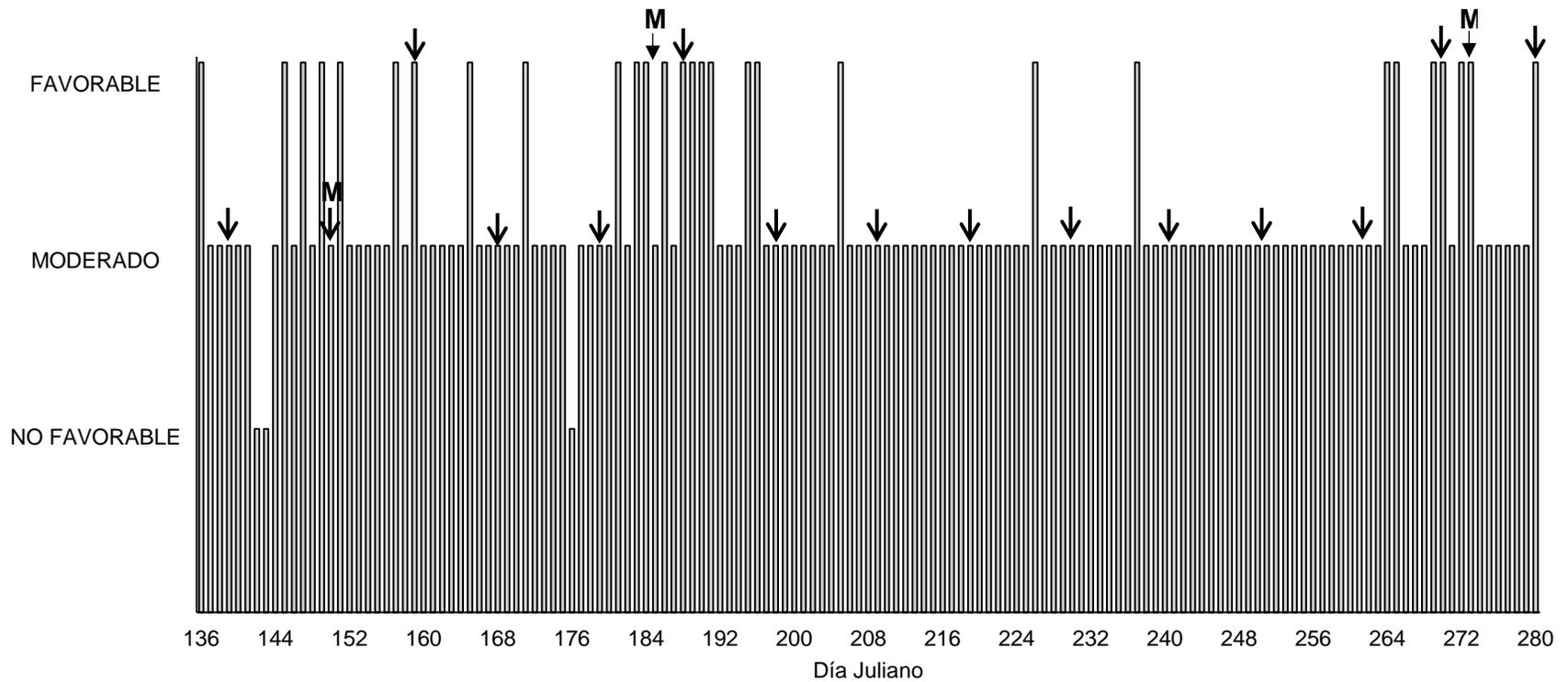


Figura 3. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el segundo bloque del Experimento 1 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base al modelo (M) o con base en el esquema calendarizado (una flecha).

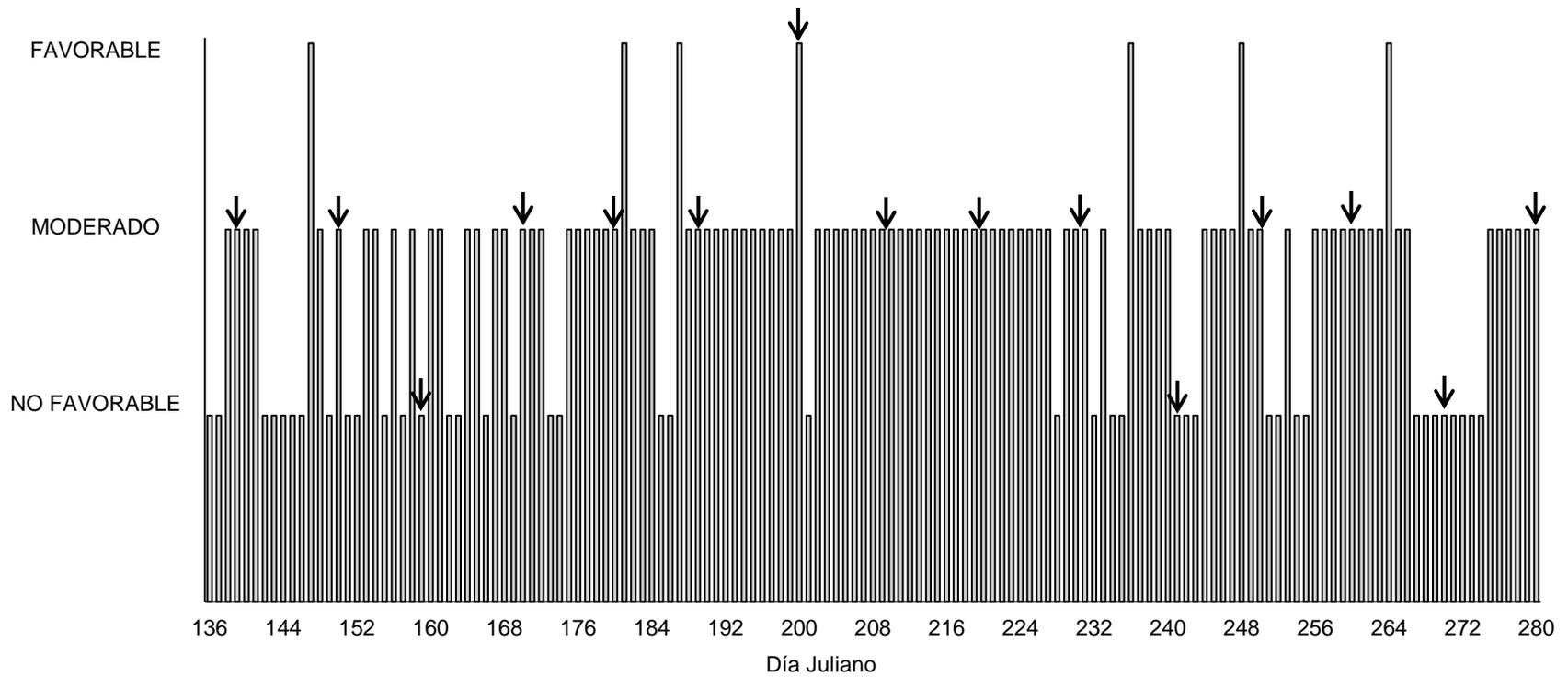


Figura 4. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el tercer bloque del Experimento 1 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. En esta repetición el modelo no recomendó aspersiones. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base en el esquema calendarizado (C).

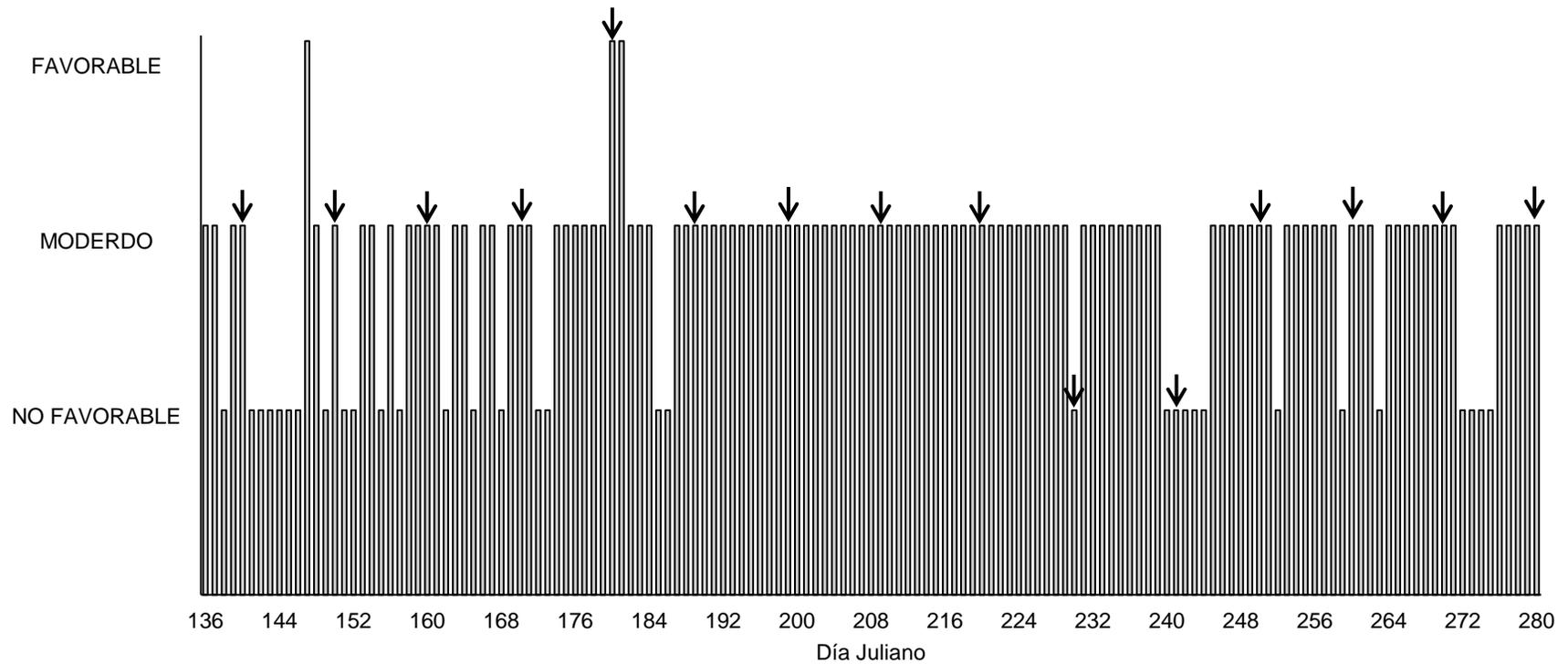


Figura 5. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el cuarto y quinto bloque del Experimento 1 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. En estas repeticiones el modelo no recomendó aspersiones. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base en el esquema calendarizado (C).

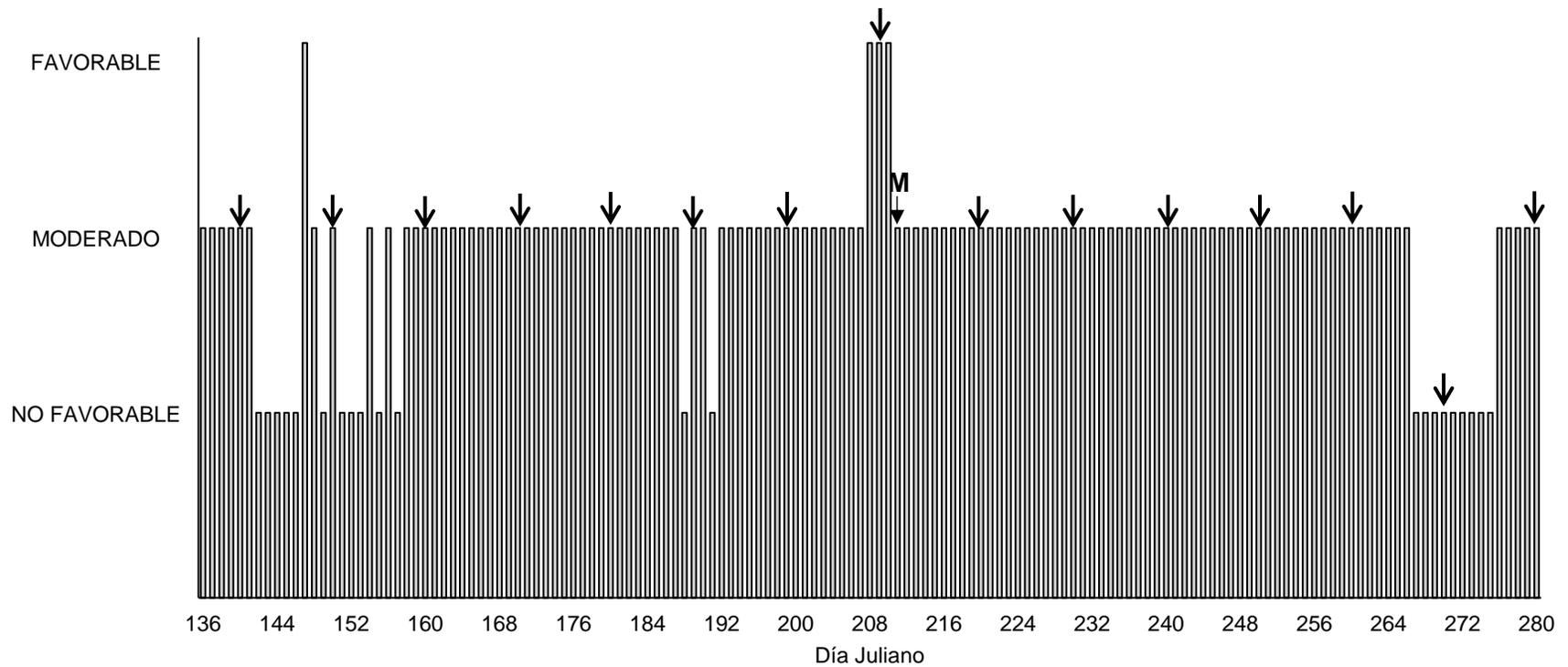


Figura 6. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el primer bloque del Experimento 2 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base en el modelo (M) o con base en el esquema calendarizado (C).

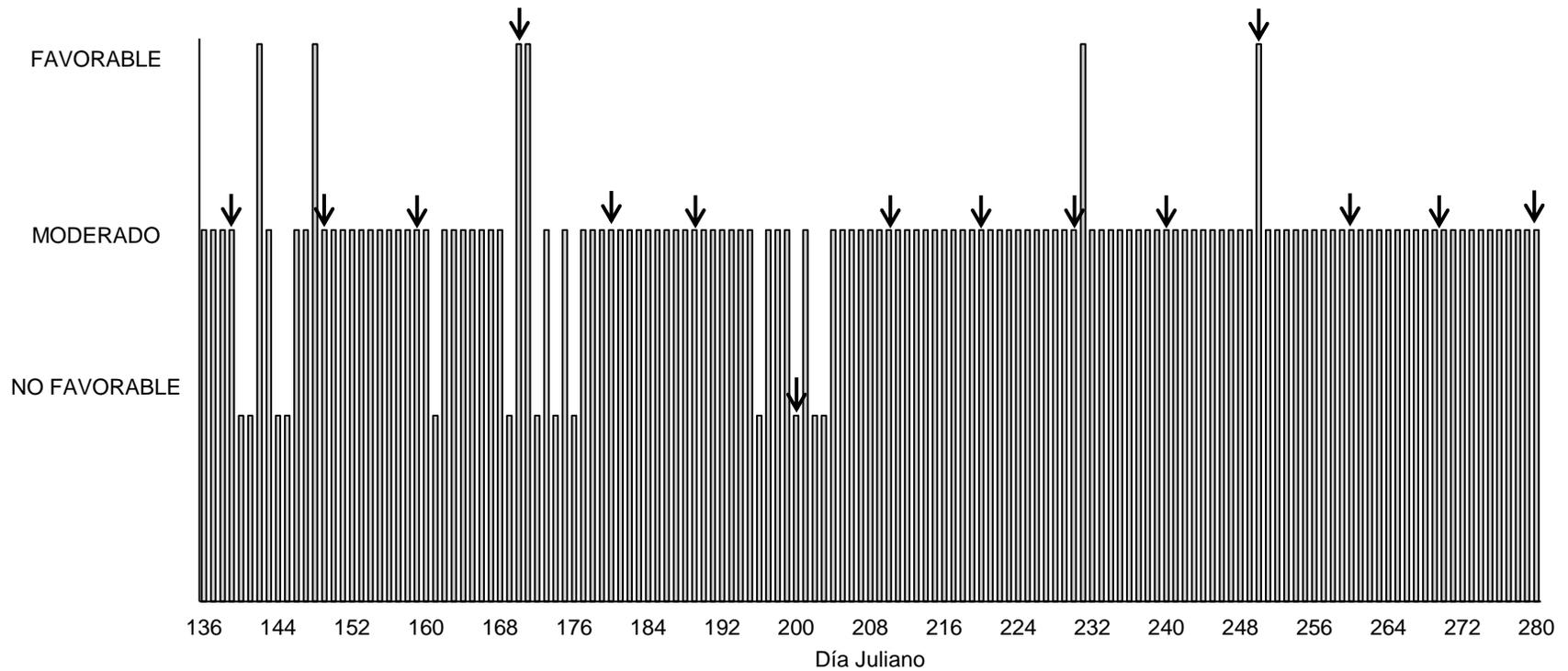


Figura 7. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el segundo bloque del Experimento 2 de evaluación de fungicidas contra la cenicienta del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. En esta repetición el modelo no recomendó aspersiones. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base en el esquema calendarizado (C).

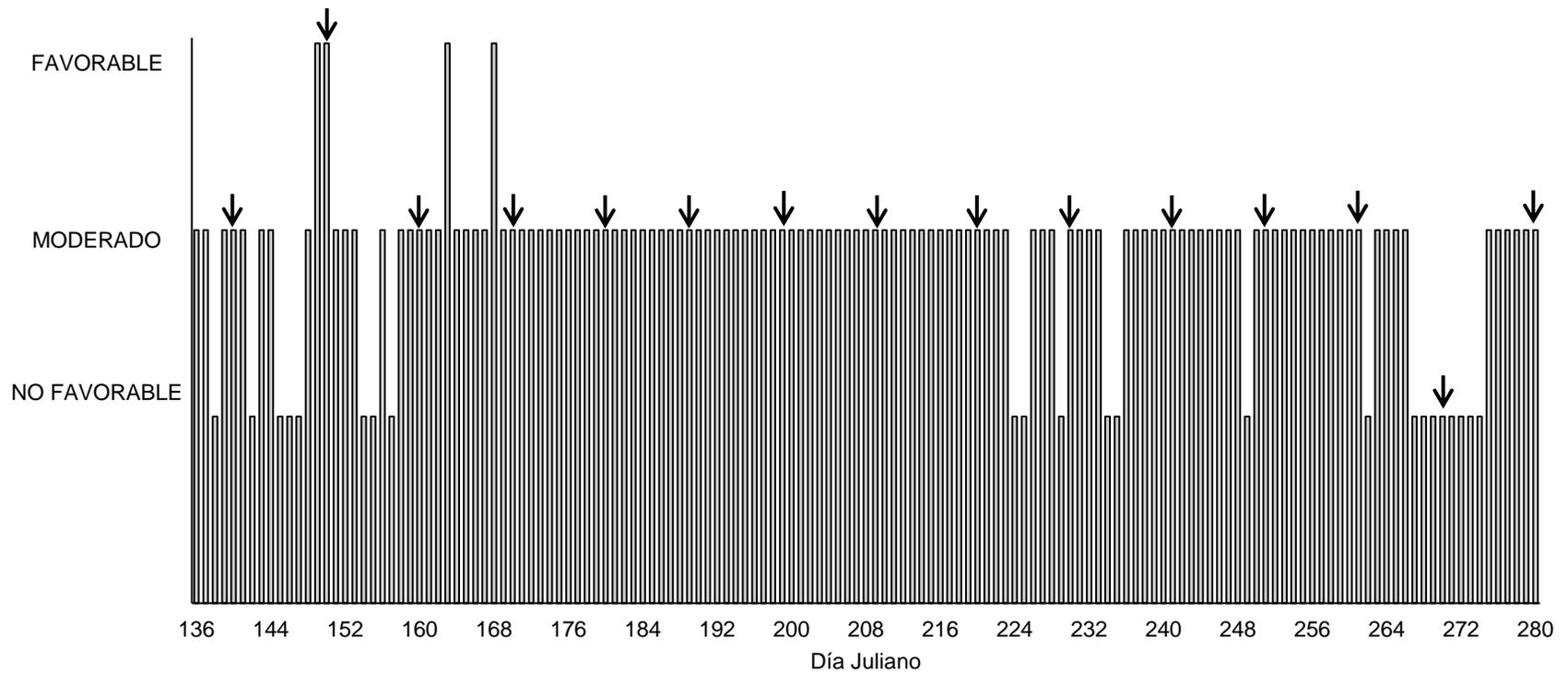


Figura 8. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el tercer bloque del Experimento 2 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. En esta repetición el modelo no recomendó aspersiones. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base en el esquema calendarizado (C).

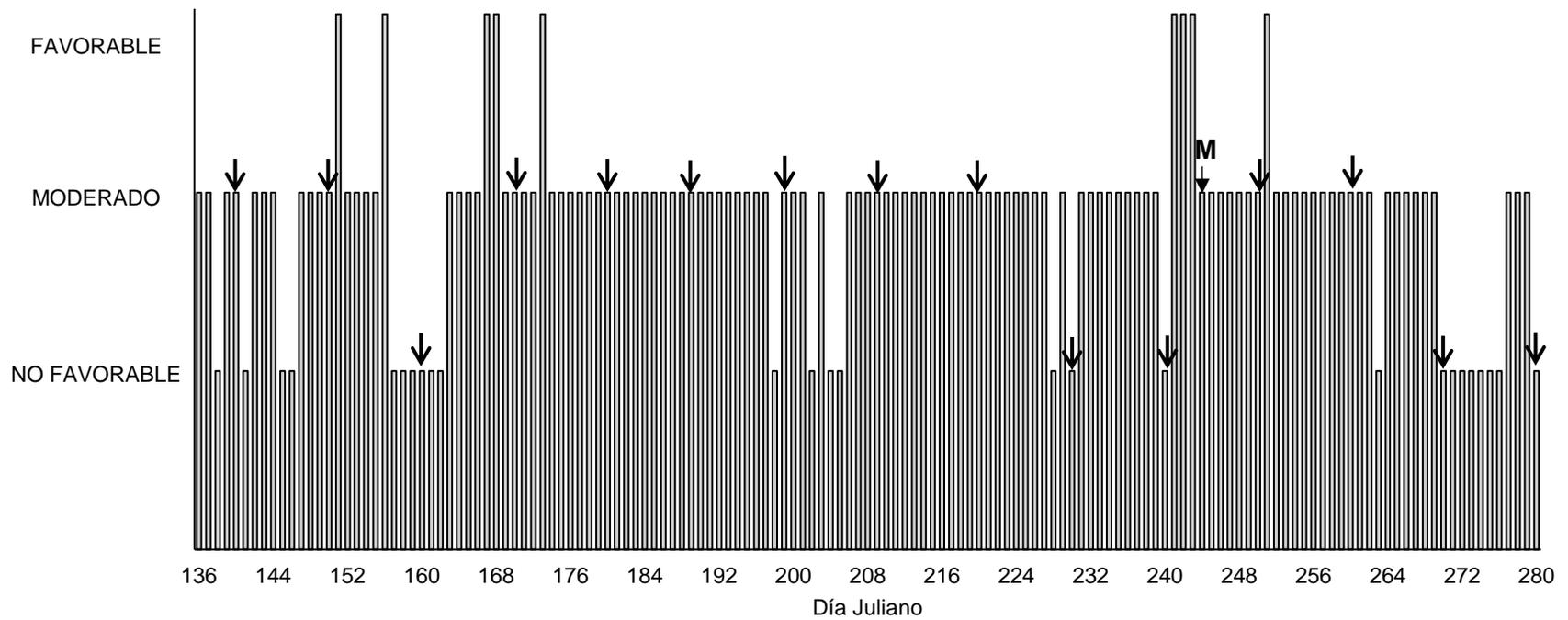


Figura 9. Categorización diaria del microclima por el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en el cuarto y quinto bloque del Experimento 1 de evaluación de fungicidas contra la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) bajo condiciones de invernadero en Texcoco, Estado de México. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base al modelo (M) o con base en el modelo de riesgo (C).

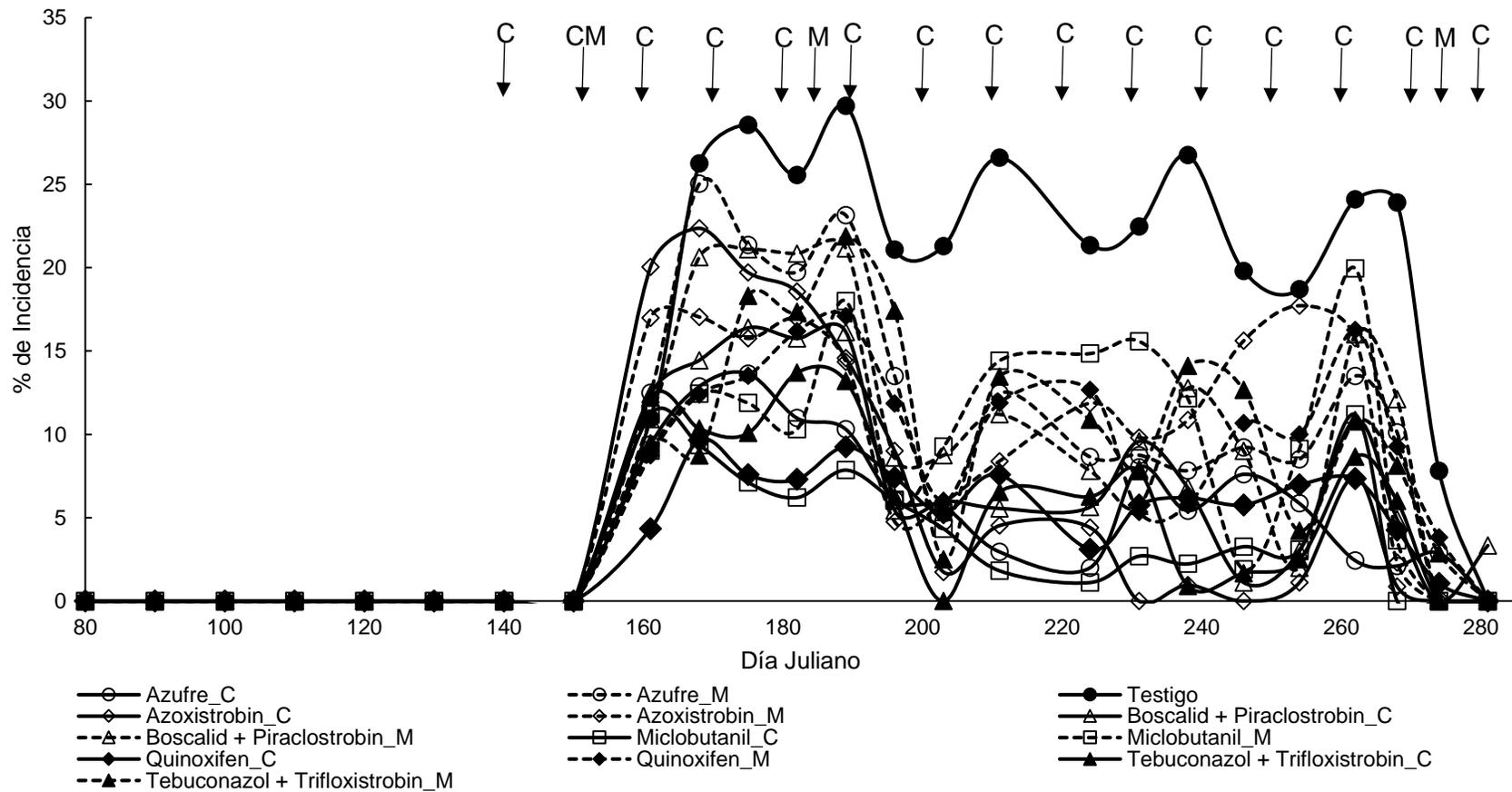


Figura 10. Incidencia de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cinco repeticiones. Experimento 1. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema.

calendarizado. Los tratamientos con base al modelo de riesgo presentaron un porcentaje de incidencia mayor, pero los correspondientes al testigo tuvieron valores aún más altos en la mayoría de las fechas de evaluación.

#### **4.2.3 Área bajo la curva del progreso de la incidencia**

El Área bajo la curva del progreso de la incidencia (ABCPI) de cenicilla en las plantas testigo del Experimento 1, tuvo un valor significativamente más alto que en los tratamientos con fungicida (Fig. 12A). El manejo de la enfermedad con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997) permitió una reducción de 1166 (Testigo vs azufre humectable\_M) a 1337 (Testigo vs miclobutanil\_M) unidades de área (u.a.). No se detectaron diferencias en el ABCPI entre ninguna de las parcelas manejadas con base en este criterio. Dentro del grupo de parcelas tratadas con aspersiones regulares de fungicidas, las plantas asperjadas con azoxistrobin, azufre humectable o con boscalid + piraclostrobin resultaron estadísticamente iguales a las del grupo tratado con base en el modelo; sólo las plantas tratadas miclobutanil, quinoxifen o con tebuconazol+ trifloxistrobin resultaron con un ABCPI estadísticamente más bajo. La aspersión regular de fungicidas permitió una reducción mínima adicional de 595 u.a. con respecto al manejo basado en el modelo de riesgo (azufre humectable\_M vs azoxistrobin\_C). Aunque el promedio más bajo de ABCPI correspondió al tratamiento regular con miclobutanil, no se detectaron diferencias significativas en el nivel de enfermedad entre las plantas tratadas bajo el esquema calendarizado.

En el Experimento 2, al igual que en el Experimento 1, el manejo de la enfermedad con base en el modelo de riesgo permitió una reducción significativa en el ABCPI con respecto a las plantas testigo (Fig. 11B). En este caso la aplicación del modelo causó una reducción de 1189 (Testigo vs azufre humectable\_M) a 1704 (Testigo vs azoxistrobin\_M) unidades de área. Similarmente, tampoco ocurrieron diferencias significativas en el ABCPI entre las parcelas manejadas con base en el modelo. En las plantas asperjadas bajo el esquema calendarizado ningún tratamiento tuvo diferencias estadísticamente significativas con respecto a las manejadas siguiendo los criterios del modelo de riesgo, con excepción de los tratamientos con azufre\_M y miclobutanil\_C, donde éste último tuvo el valor más bajo.

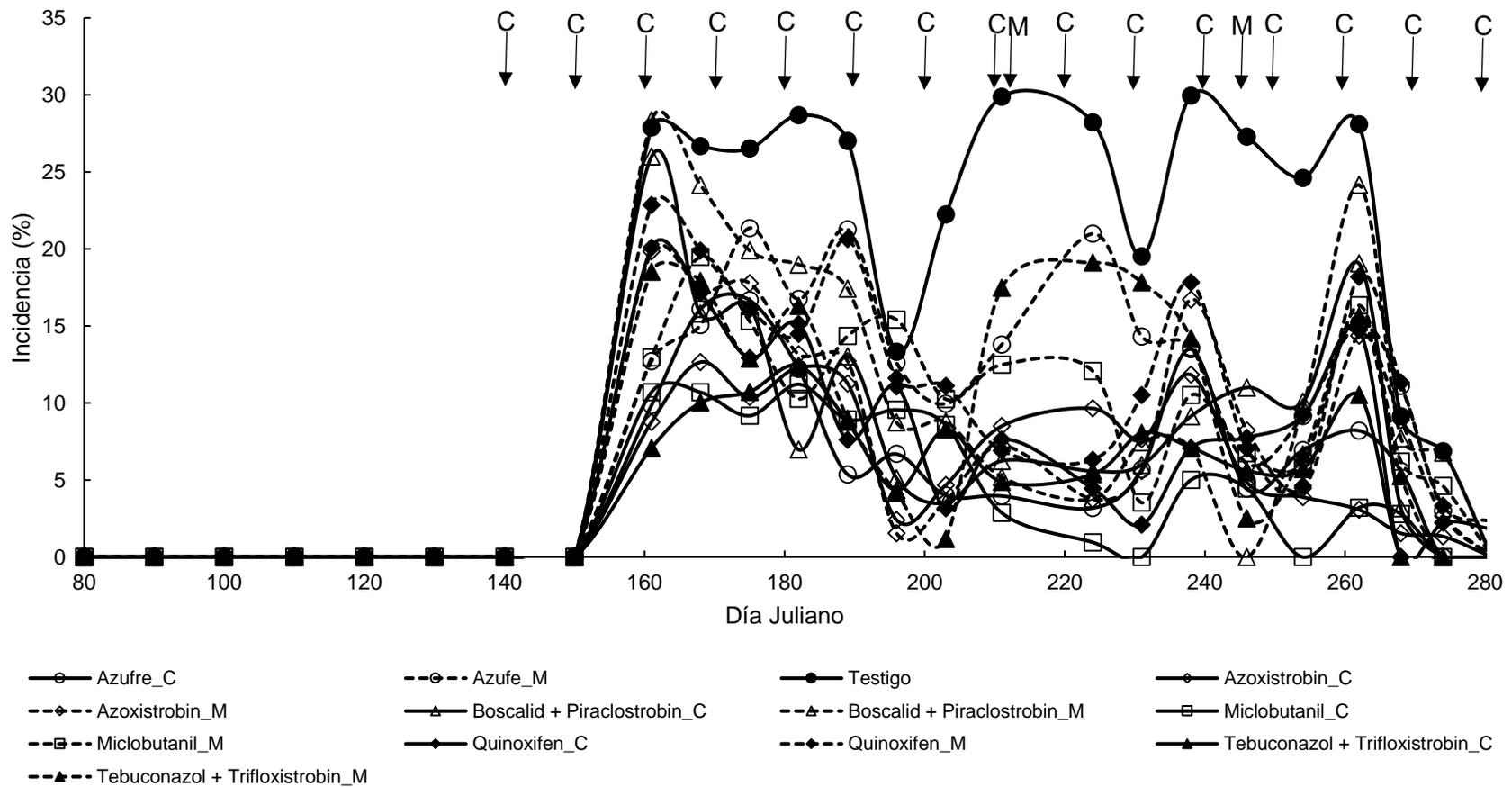


Figura 11. Incidencia de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cinco repeticiones. Experimento 2. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema.

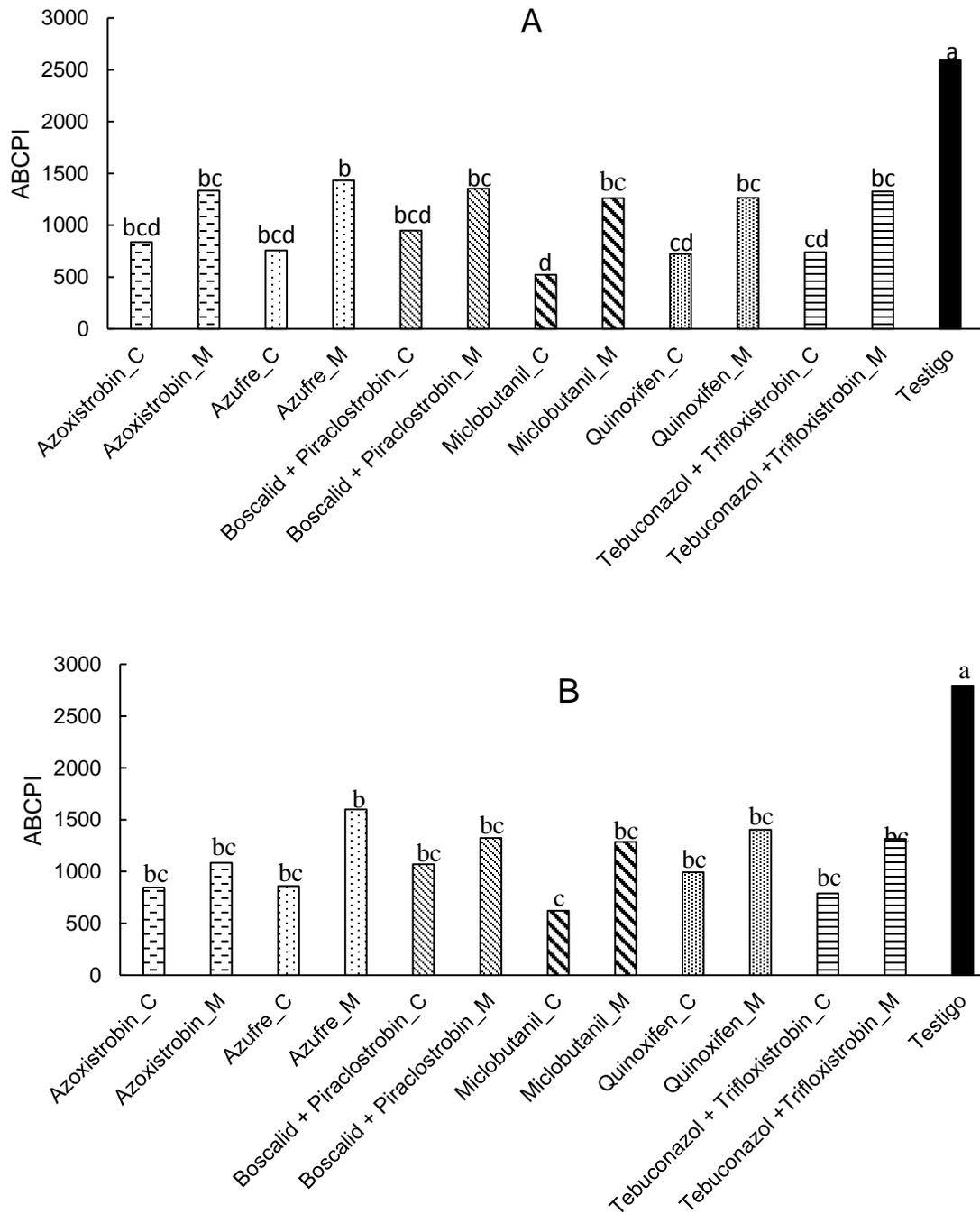


Figura 12. Área bajo la curva del progreso de la incidencia de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cinco repeticiones. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $P = 0.05$ ). A = Experimento 1. B = Experimento 2

#### **4.2.4 Dinámica de la severidad de la cenicienta**

Los porcentajes de área foliar afectada por la cenicienta en los diferentes tratamientos del Experimento 1 fueron considerablemente más bajos que los valores de incidencia y ABCPI. En el peor de los casos el promedio de severidad no excedió de 1.15%. Sin embargo, como se puede apreciar en la Fig. 13, aún bajo estas condiciones el testigo se diferenció de los demás tratamientos por tener porcentajes relativamente más altos durante todo el ciclo del cultivo. De manera similar a la incidencia, en la gráfica de esta variable, además de observarse un patrón aparentemente cíclico en algunos tratamientos, particularmente en el testigo, un primer grupo de curvas con los valores más bajos de severidad correspondió a las plantas tratadas con aspersiones regulares de fungicidas; les siguió el grupo de plantas manejadas con base al modelo de riesgo, con valores ligeramente más altos, seguidos del testigo, quien tuvo una diferenciación más marcada.

En el segundo experimento, realizado en Texcoco, la severidad tuvo un patrón muy similar al reportado en el caso anterior (Fig. 14), con un comportamiento aparentemente cíclico y una diferenciación en la curva del testigo con respecto a los demás tratamientos. En este experimento los promedios más altos de área foliar dañada se observaron en el testigo, en la mayoría de las evaluaciones, pero el porcentaje de severidad no excedió de 1.04 %.

#### **4.2.5 Área bajo la curva del progreso de la severidad**

No obstante, los bajos valores de severidad observados en los experimentos de Texcoco, al evaluar esta variable como Área bajo la curva del progreso de la severidad (ABCPS) de cenicienta, el testigo resultó con un promedio significativamente más alto que el resto de tratamientos (Fig. 15A). No se detectaron diferencias entre parcelas asperjadas regularmente o manejadas con base al modelo de riesgo. Las diferencias en ABCPS entre el testigo y los demás tratamientos estuvieron en el rango de 58 (Testigo vs azufre humectable\_M) a 62 (Testigo vs miclobutanil\_C) u.a.

Similarmente, en el Experimento 2, el manejo de la enfermedad con base en el modelo de riesgo y con aspersiones calendarizadas permitieron una reducción estadísticamente significativa en el ABCPS con respecto a las plantas testigo (Fig. 15B). La reducción varió de 39 (Testigo vs azufre\_M) a 47 (Testigo vs azoxistrobin\_M) unidades de área.

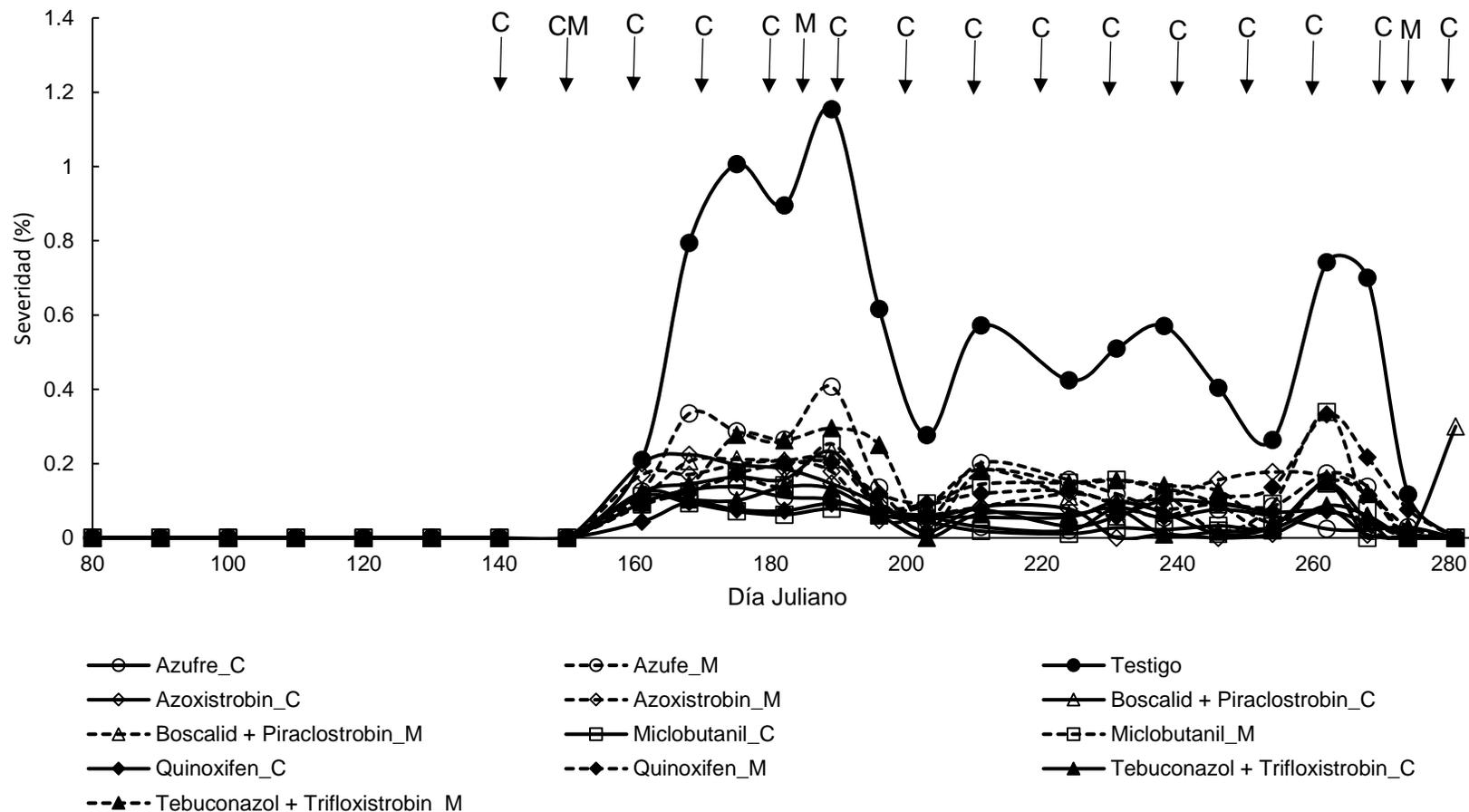


Figura 13. Dinámica de la severidad de la cenicienta del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Montecillo, Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cinco repeticiones. Experimento 1. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema.

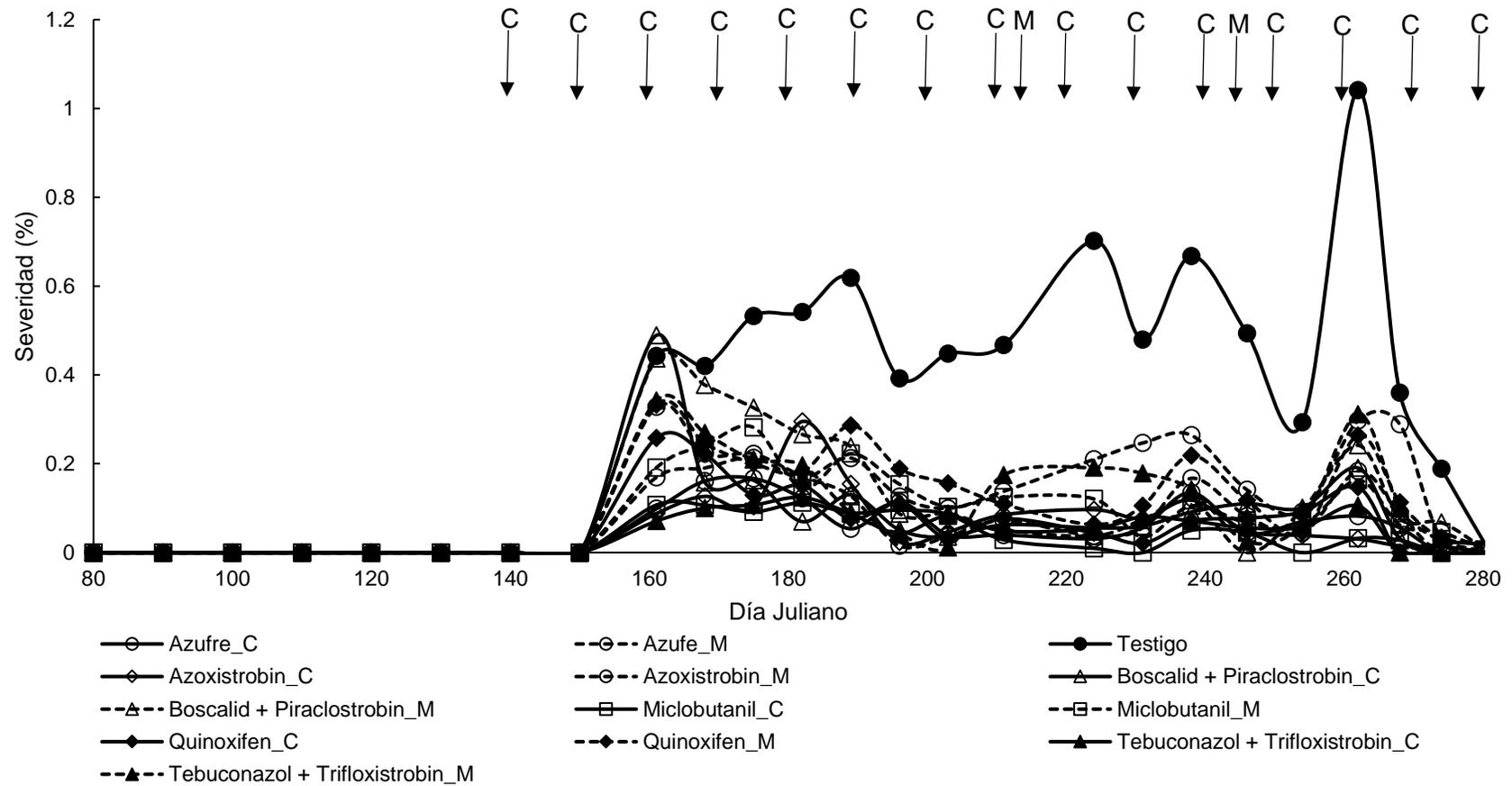


Figura 14. Dinámica de la severidad de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Montecillo, Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cinco repeticiones. Experimento 2 Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema.

No ocurrieron diferencias significativas dentro del grupo de tratamientos manejados con base al modelo ni dentro del grupo de parcelas asperjadas en forma calendarizada. Solamente el miclobutanil\_C tuvo diferencias con los tratamientos azufre humectable\_M, quinoxifen\_M y tebuconazol más trifloxistrobin\_M.

#### **4.2.6 Rendimiento**

En el Experimento 1 no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el rendimiento acumulado de frutos en ninguna de las 14 evaluaciones realizadas a lo largo del ciclo del cultivo (Fig. 16). Las diferentes curvas mostraron un patrón lineal en todos los casos, con rendimientos totales entre 93,747 y 126,130 kg/ha. Una situación muy similar se observó en el caso del Experimento 2 (Fig. 17), donde los rendimientos totales variaron entre 126,432 y 160,622 kg/ha.

### **4.3 Experimentos en el municipio de Zacatepec, Morelos**

#### **4.3.1 Estrategias de control de la cenicilla y comportamiento del microclima**

En el tercer experimento, realizado en 2016 en el municipio de Zacatepec, Morelos, se realizaron siete aspersiones calendarizadas, las cuales iniciaron el DJ 42 (11 de febrero, cuadro 3, Figuras 18 a 20). En este experimento el modelo de riesgo solo recomendó una aspersión de fungicidas DJ 78, (18 de marzo) en el bloque número cuatro y ninguna en el resto de bloques, durante todo el desarrollo del experimento. En este experimento el microclima diario fue moderadamente favorable para el desarrollo de la enfermedad en la gran mayoría de los casos, con intermitencia de días no favorables (Figuras 18 a 20). Solamente en la repetición cuatro se detectó un período de alto riesgo de desarrollo severo de la enfermedad.

En las cuatro repeticiones del Experimento 4 prevalecieron los días moderadamente favorables para el desarrollo de la cenicilla, con escasos días no favorables (Figuras 21 a 25), por lo que no fue necesaria la aspersión de fungicidas en ninguna repetición de este experimento.

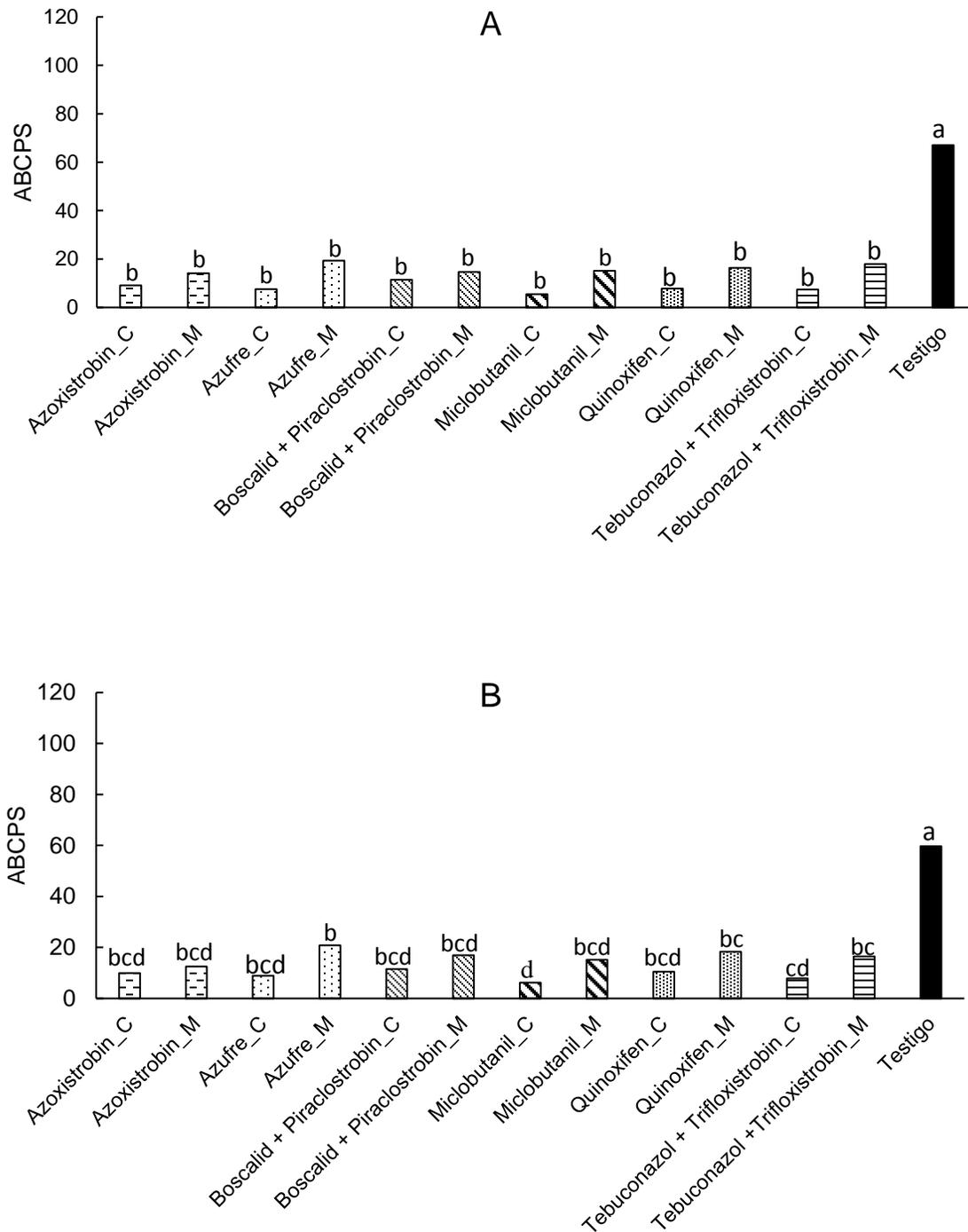


Figura 15. Área bajo la curva del progreso de la severidad de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cinco repeticiones. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.05). A = Experimento 1. B = Experimento 2.

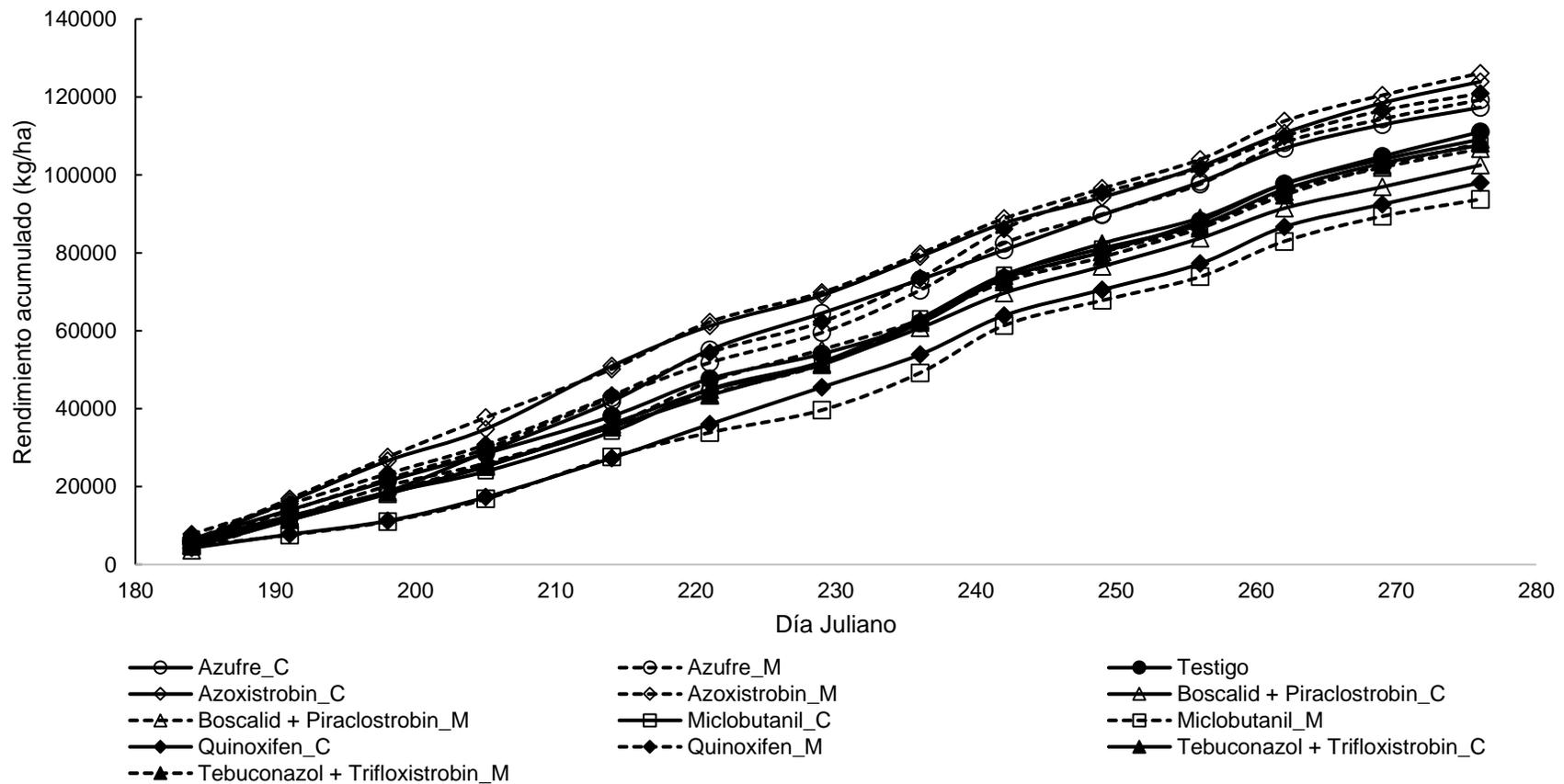


Figura 16. Rendimiento acumulado de frutos de tomate en el primer experimento de evaluación del efecto de fungicidas para el control de la cenicienta del tomate en invernadero de Texcoco, México, aplicados bajo un esquema calendarizado o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). C = esquema de aspersión cada 10 días. M = aspersión con base al modelo. Promedios de cinco repeticiones. Las diferencias entre tratamientos en cada evaluación, no fueron significativas. Experimento 1.

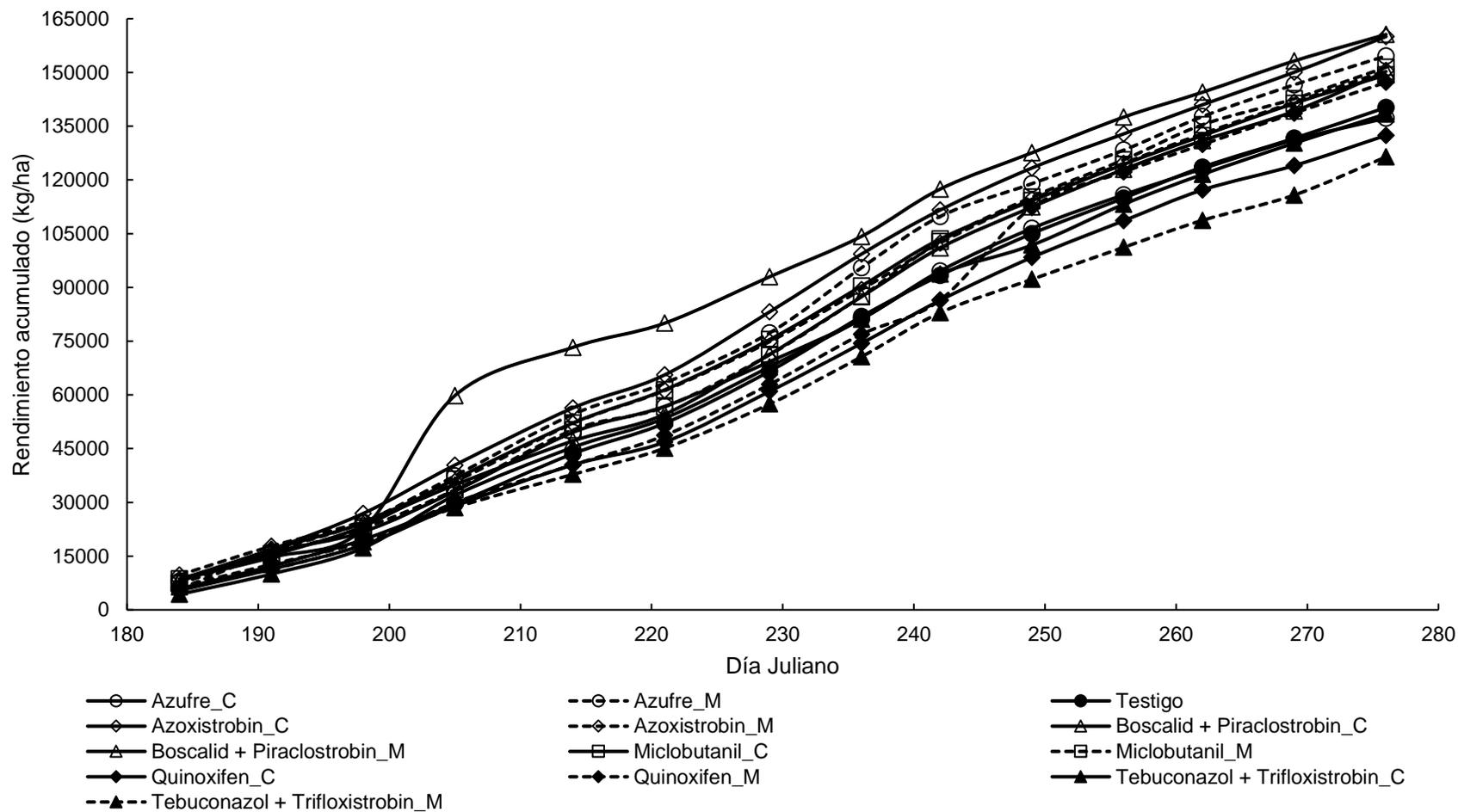


Figura 17. Rendimiento acumulado de frutos de tomate en el segundo experimento de evaluación de efecto de fungicidas para el control de la cenicilla del tomate en invernadero de Texcoco, México, aplicados bajo un esquema calendarizado o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). C = esquema de aspersión cada 10 días. M = aspersión con base al modelo. Promedios de cinco repeticiones. Las diferencias entre tratamientos, en cada evaluación, no fueron significativas (Tukey  $P = 0.5$ ). Experimento 2.

### 4.3.2 Dinámica de la incidencia de cenicilla

Dado que en este invernadero ya habían ocurrido los primeros síntomas de cenicilla cuando se inició el experimento, las aspersiones calendarizadas se iniciaron desde el establecimiento de este (DJ 42). Los porcentajes de incidencia en la primera evaluación variaron de 8 a 22 % (Fig. 26). Subsecuentemente, el testigo tuvo los porcentajes de incidencia más altos en los DJ 71, 81, 91 y 126, mientras que en el resto de tratamientos no hubo una clara diferenciación en los niveles de enfermedad. En el día juliano 78 (18 de marzo) (Fig. 26) se observó un aumento general del porcentaje de incidencia en todos los tratamientos y fue en esta fecha en que el modelo de riesgo recomendó una aspersión. En la siguiente evaluación (DJ 91) los porcentajes no variaron considerablemente con respecto a la evaluación previa, mientras que en el DJ 103 se observó una reducción en todos los tratamientos. Posteriormente, en el DJ 126 la enfermedad tuvo ligeros incrementos en todos los casos, destacando el testigo con los niveles más altos de enfermedad. Aunque los tratamientos con boscalid + pyraclostrobin o con azoxistrobin sólo tuvieron valores más altos de incidencia que el resto de tratamientos con fungicida en los DJ 71, 91 y 103, estos no superaron a los observados en el testigo. El resto de tratamientos mantuvo valores más bajos, pero sin diferencias claras entre sí. Las diferencias entre los niveles de enfermedad y los tratamientos con fungicida no variaron considerablemente.

También en el Experimento 4 ya existían síntomas de cenicilla al momento de su establecimiento (DJ 53). En este caso se realizaron seis aspersiones calendarizadas de fungicidas a partir del DJ 60 (29 de febrero). El modelo de riesgo no detectó condiciones favorables para un desarrollo significativo de la cenicilla, por lo que no recomendó aplicar fungicidas durante todo el experimento. En la primera evaluación de enfermedad, realizada el DJ 60, los porcentajes de incidencia fueron menores a 10% (Fig. 27). Subsecuentemente, en la evaluación realizada en el DJ 71 se observó un marcado incremento en la incidencia, con valores entre 24 y 48% para los tratamientos con fungicida y de 56 % para el testigo. A partir de esta evaluación la incidencia decreció gradualmente, con una clara diferenciación de dos grupos. Un grupo con los valores más bajos correspondió a las plantas asperjadas bajo

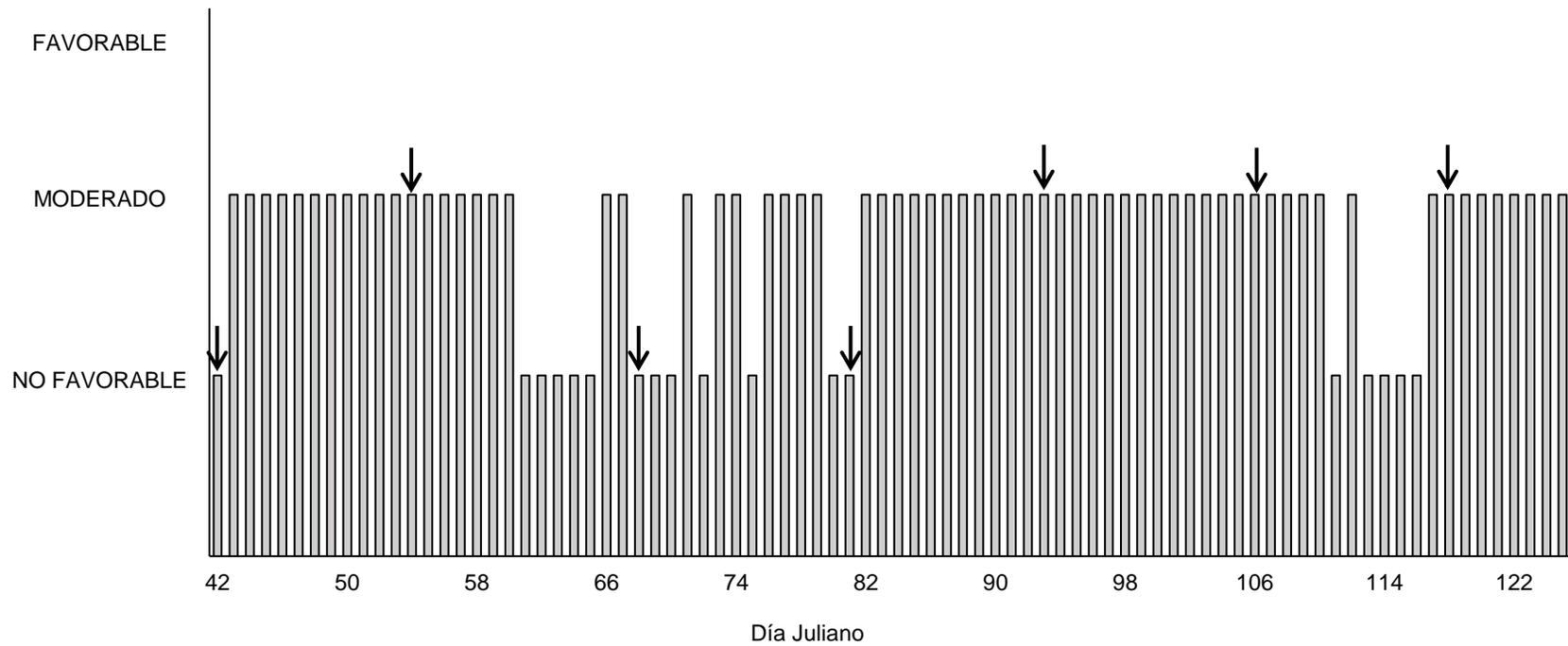


Figura 18. Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM (Guzmán-Plazola, 1997). en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque uno, Experimento 1. En esta repetición el modelo no recomendó aspersiones. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación calendarizada.

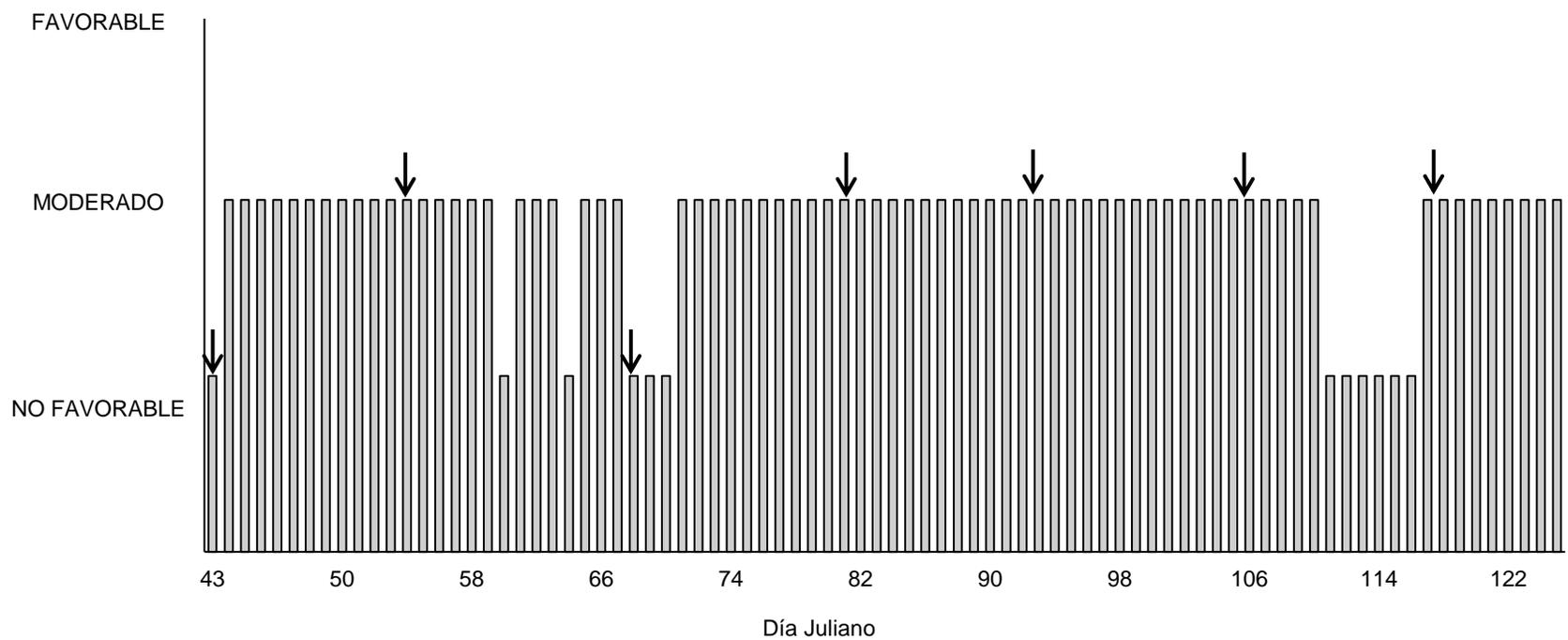


Figura 19. Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque dos, Experimento 1. En esta repetición el modelo no recomendó la aplicación de fungicidas. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación calendarizada.

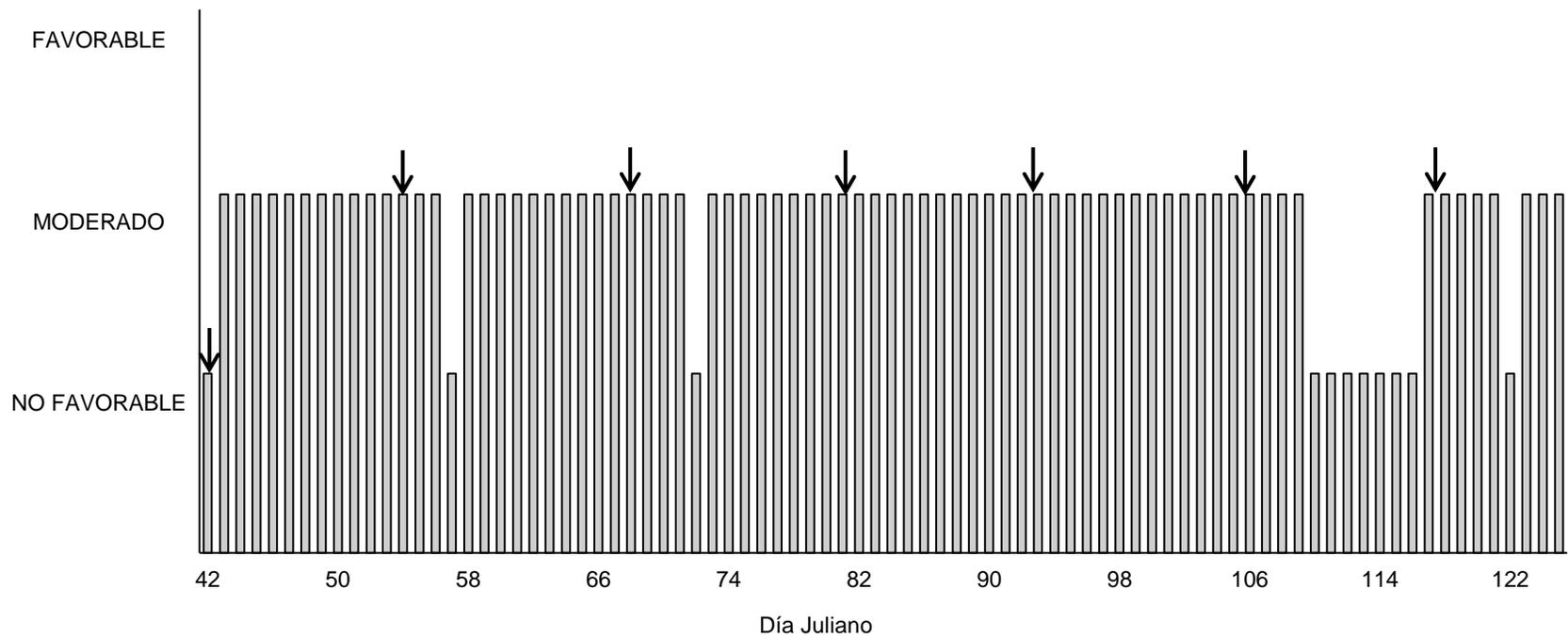


Figura 20. Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque tres, Experimento 1. En esta repetición el modelo no recomendó aplicación de fungicidas. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación calendarizada.

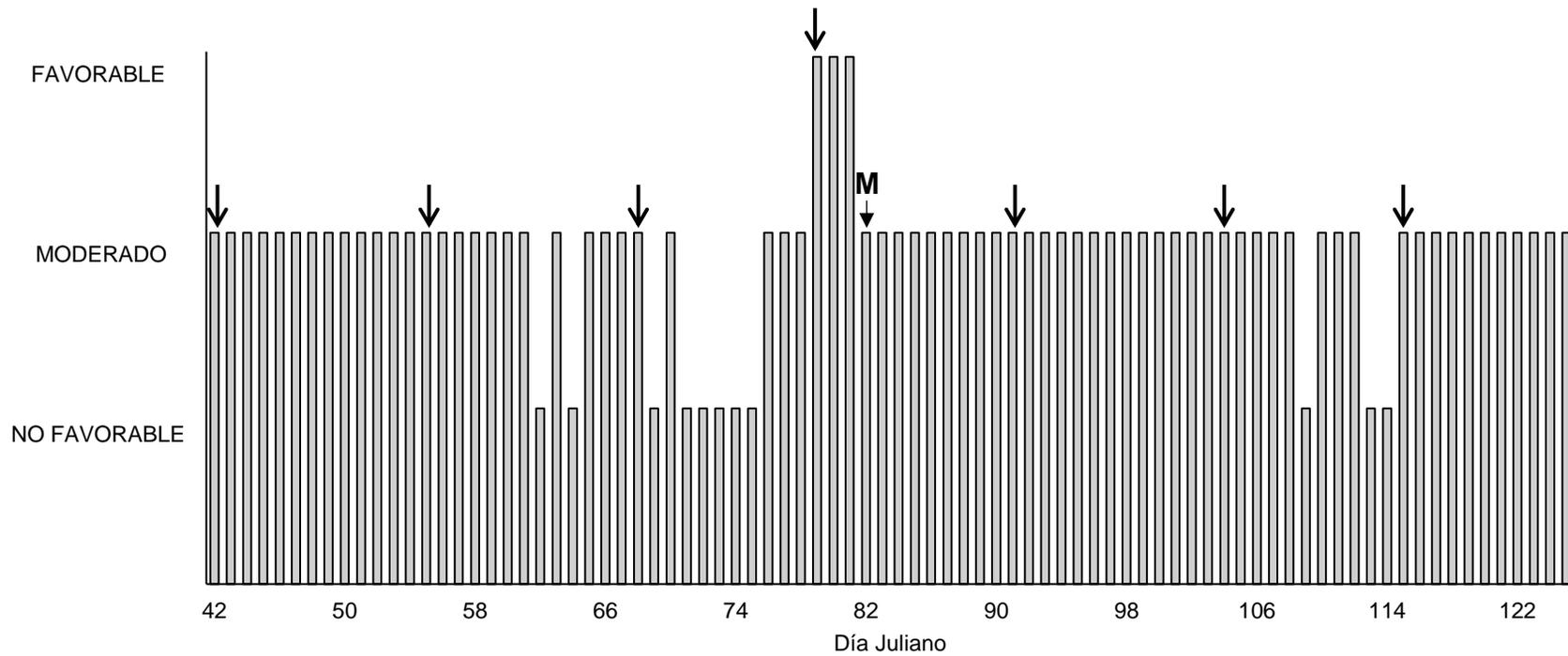


Figura 21. Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque cuatro, Experimento 1. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base en el modelo de riesgo (M) o bajo el esquema de aspersión calendarizada (C).

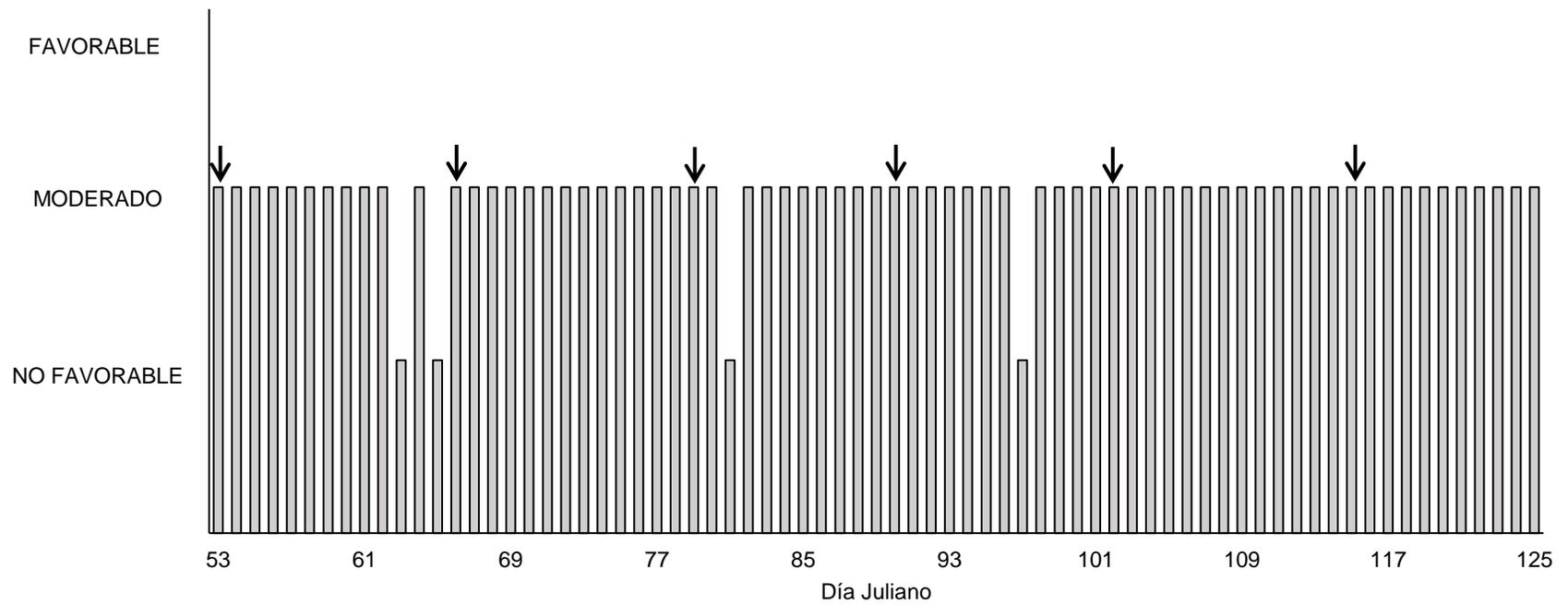


Figura 22. Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque uno, Experimento 2. En esta repetición el modelo no recomendó aspersiones de fungicidas. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo el esquema de aspersión calendarizada.

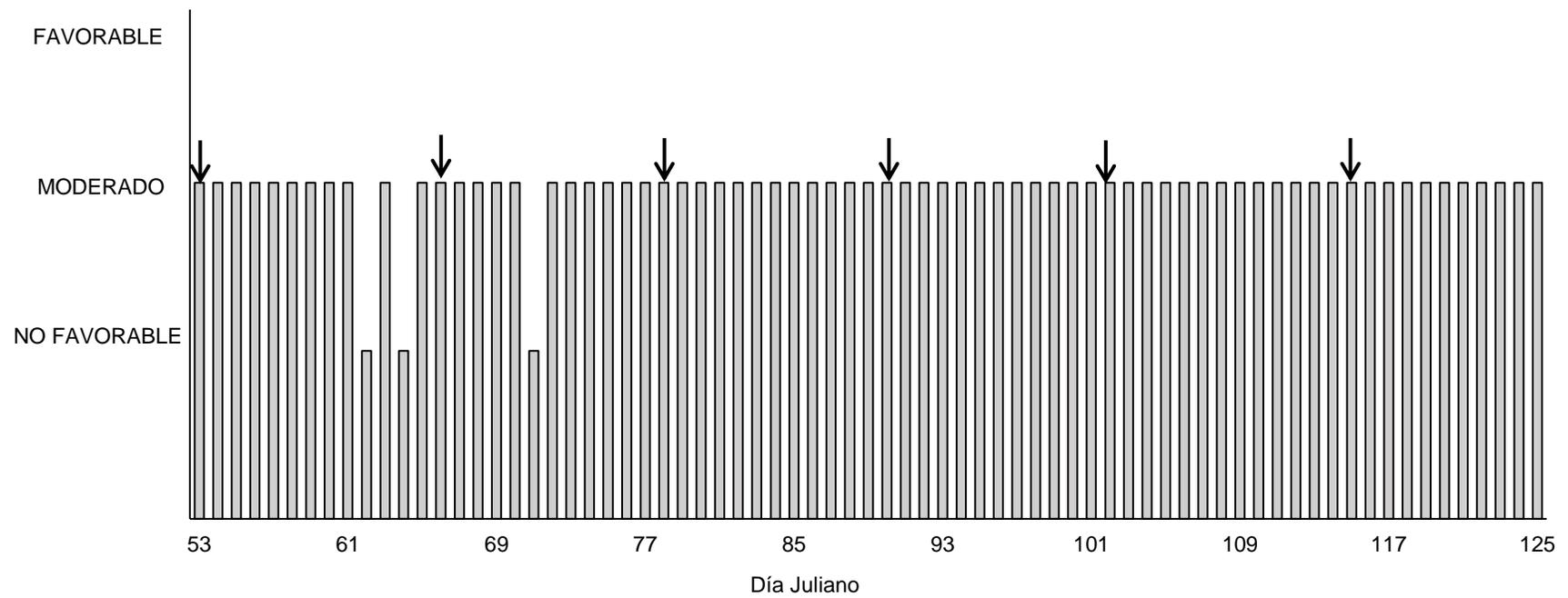


Figura 23. Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque dos, Experimento 2. En esta repetición el modelo no recomendó aspersiones de fungicidas. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base al esquema calendarizado.

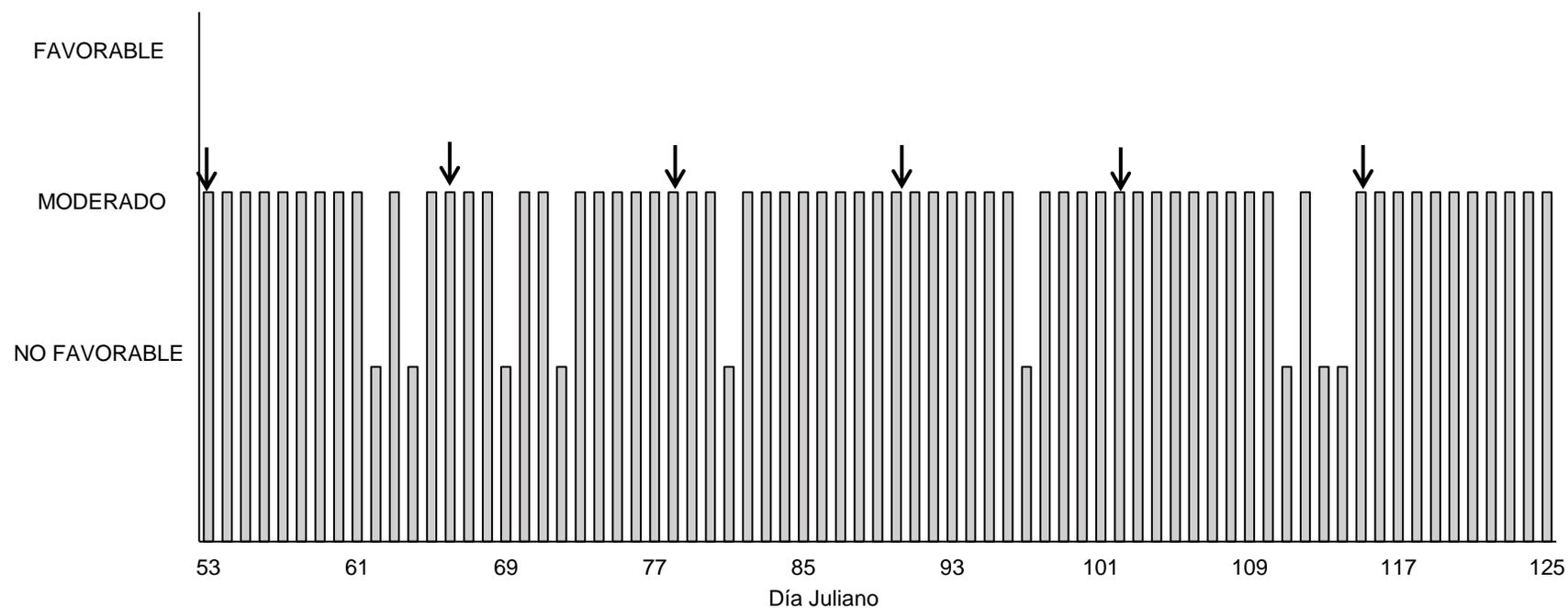


Figura 24. Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque tres, Experimento 2. En esta repetición el modelo no recomendó la aplicación de fungicidas. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas con base al esquema calendarizado.

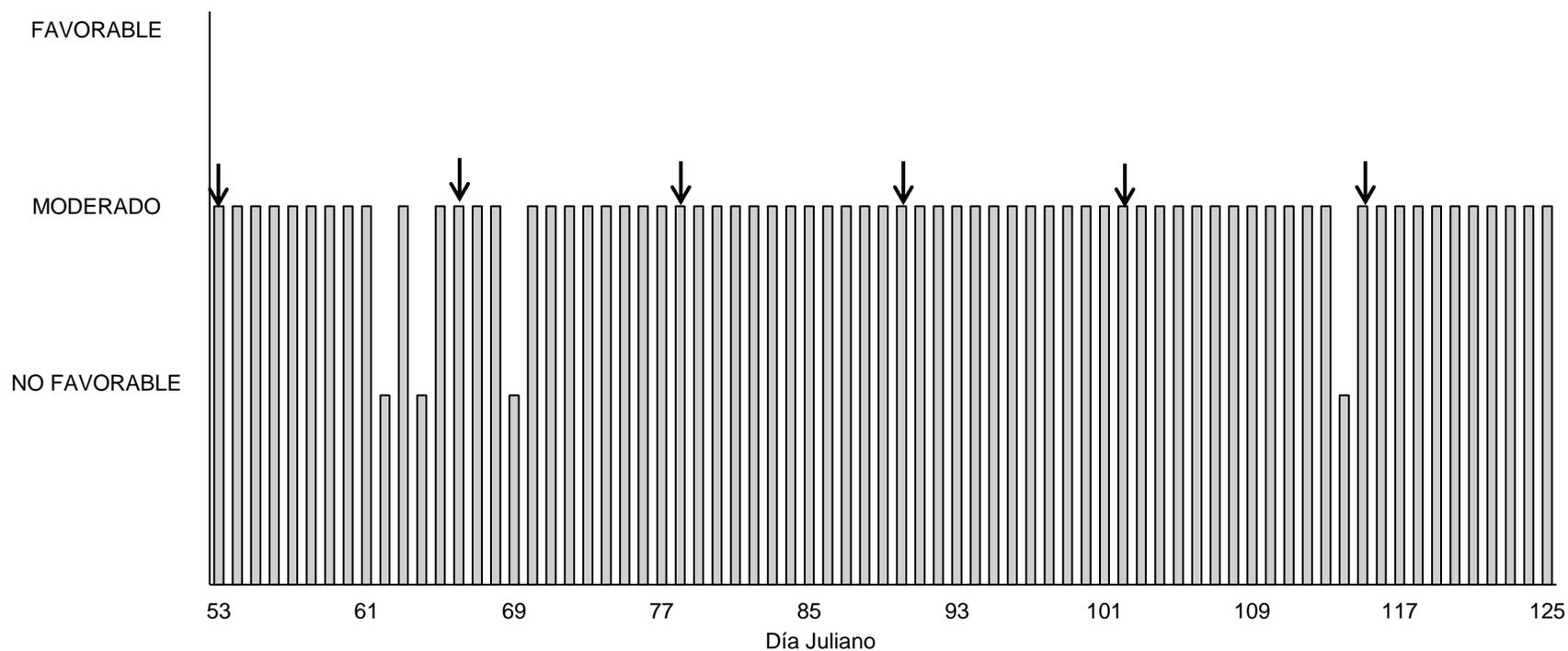


Figura 25. Categorización diaria del microclima usando el modelo de riesgo Tomato.PM. (Guzmán-Plazola, 1997) en invernadero de Zacatepec, Morelos. Bloque cuatro, Experimento 2. En esta repetición el modelo no recomendó la aplicación de fungicidas. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo el esquema de aspersión calendarizada.

un esquema calendarizado, con valores finales entre 9 y 21%, y otro grupo que incluyó al testigo, con valores finales entre 33 y 38% que correspondió a las plantas manejadas con base en el modelo y que no fueron asperjadas.

#### **4.3.3 Área bajo la curva del progreso de la incidencia**

En el Experimento 3 el testigo tuvo los valores más altos de área bajo el ABCPI, pero los promedios de los tratamientos con azoxistrobin\_M, azufre\_M, boscalid + piraclostrobin\_M y quinoxifen\_M resultaron estadísticamente iguales a este (Fig. 27A). A su vez, estos tratamientos con fungicida no tuvieron diferencias significativas con el resto de tratamientos, ya sea que fuesen aplicados con base al modelo de riesgo o bajo un esquema calendarizado. El ABCPI de todos los tratamientos con fungicida en este experimento resultó estadísticamente igual.

En el caso el Experimento 4, el ABCPI de los tratamientos manejados con base al modelo de riesgo, donde no se realizó ninguna aspersion, resultó estadísticamente igual al testigo (Fig. 27B), mientras que todos los tratamientos con fungicida aplicados bajo un esquema calendarizado resultaron estadísticamente diferentes a los anteriores, pero sin diferencias entre sí. En estos casos la reducción con respecto al testigo varió de 1195 (Testigo vs Miclobutanil\_C) y 1587 (Testigo vs Azufre\_C) u.a.

#### **4.3.4 Dinámica de la severidad de la cenicilla**

En el tercer experimento realizado en Zacatepec, Morelos se obtuvieron porcentajes de área foliar dañada ligeramente más altos que en los experimentos de Texcoco. En este caso el máximo promedio fue de 2.6 % (Fig. 29). En general, la aspersion regular de fungicidas en los diferentes tratamientos mantuvo los porcentajes de severidad por debajo del testigo durante casi todo el ciclo del cultivo, además de observarse un comportamiento aparentemente cíclico.

En el Experimento 4, la severidad se incrementó hasta alcanzar un máximo en la tercera evaluación del testigo (1.7 %, DJ 81) y en la cuarta evaluación de los tratamientos con base al modelo (DJ 91) (Fig. 29). En las siguientes dos evaluaciones el valor de la

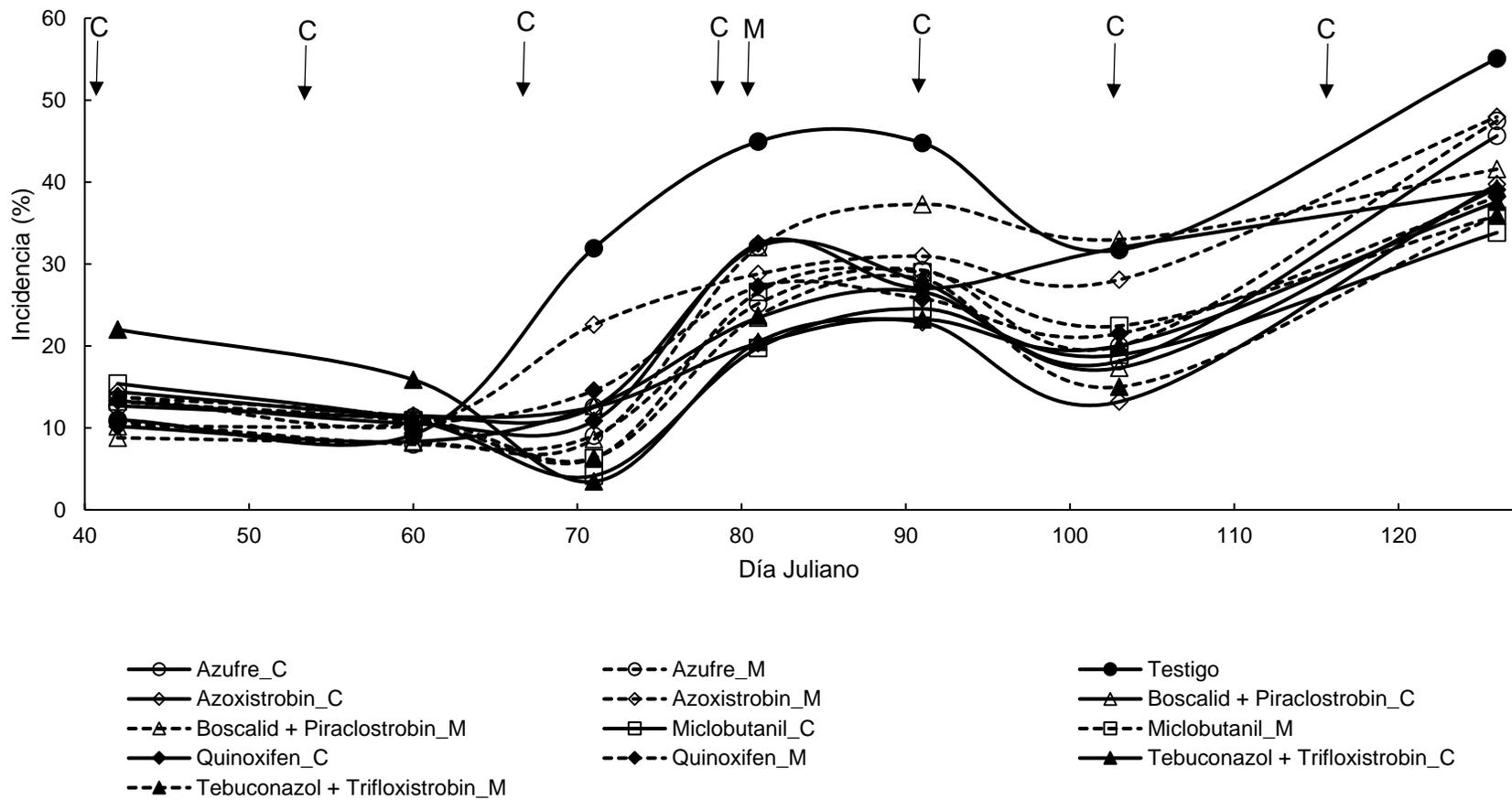


Figura 26. Incidencia de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cuatro repeticiones. Experimento 3. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema.

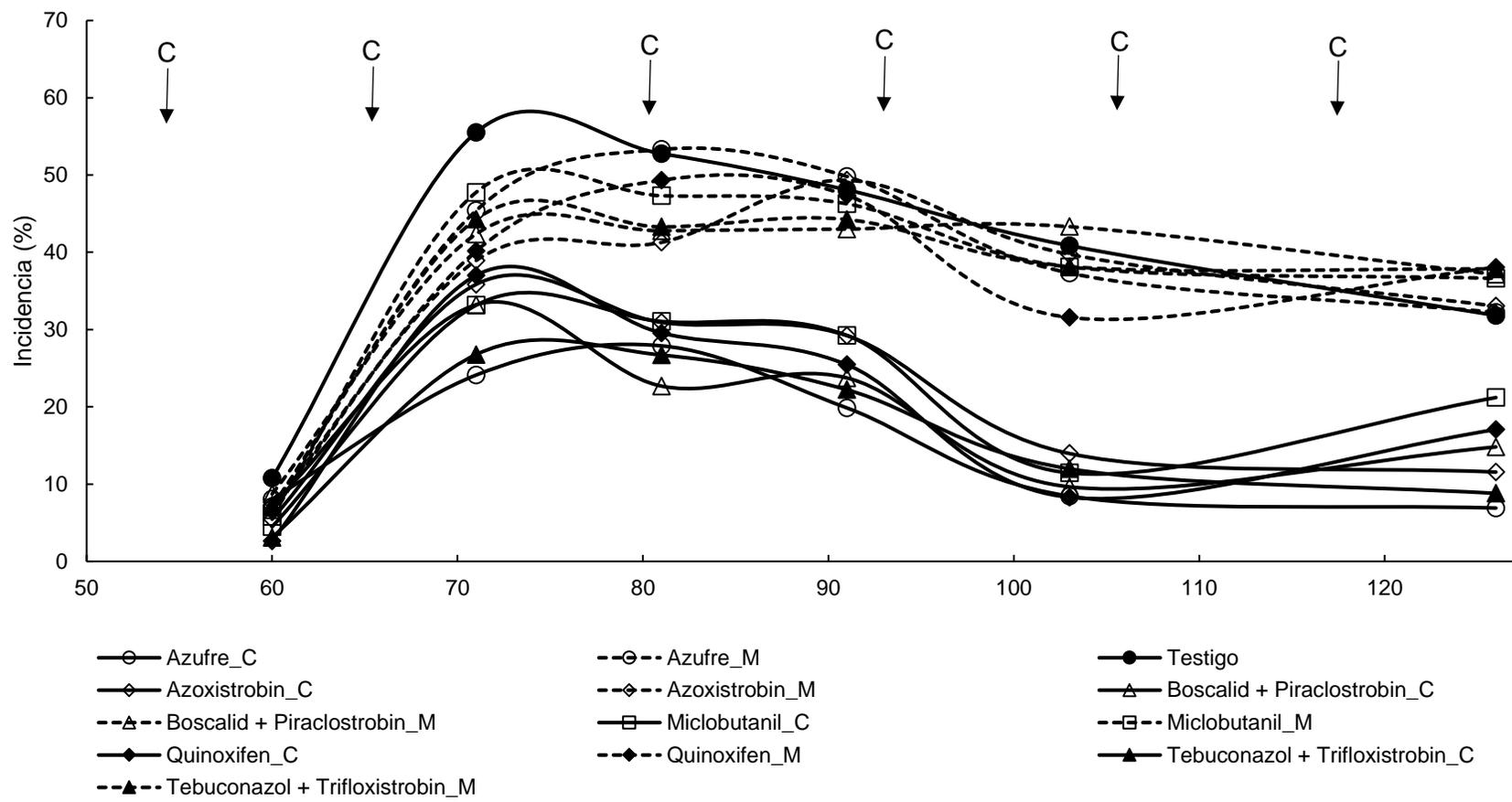


Figura 27. Incidencia de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cuatro repeticiones. Experimento 4. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema.

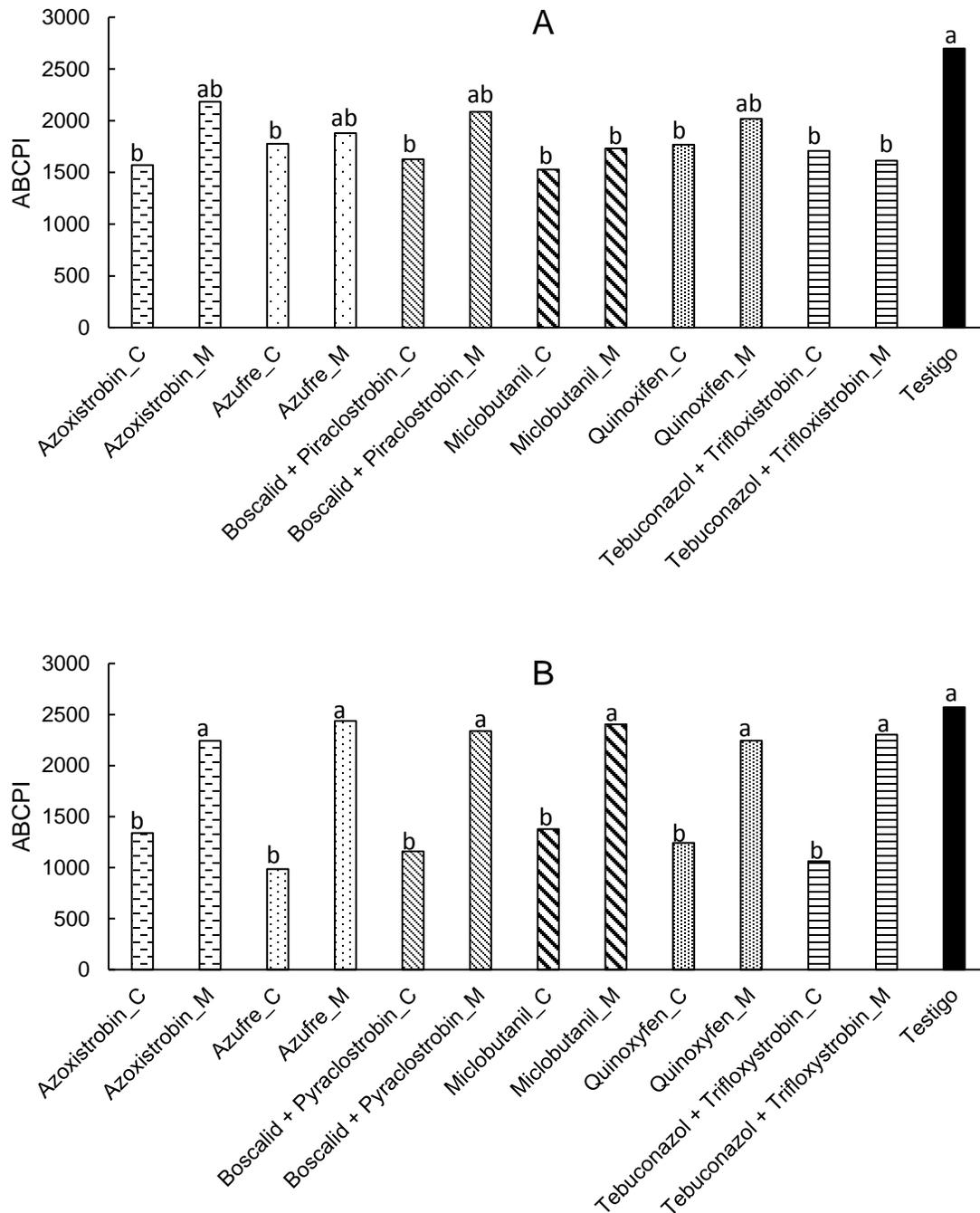


Figura 28. Área bajo la curva del progreso de la incidencia de la cenicienta del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cuatro repeticiones. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey P = 0.05). A = Experimento 3. B = Experimento 4.

variable disminuyó ligeramente en todos los casos. No obstante, los bajos valores de porcentaje de área foliar dañada, es posible distinguir dos grupos de curvas; el primero corresponde a las parcelas tratadas regularmente con fungicidas; el segundo corresponde a las plantas asperjadas en base al modelo de riesgo y al testigo.

#### **4.3.5 Área bajo la curva del progreso de la severidad**

En el Experimento 3, el testigo tuvo el promedio más alto de ABCPS, pero éste resultó estadísticamente igual al de la aplicación de azoxistrobin, boscalid + piraclostrobin y quinoxifen, basados en el modelo, y al de la aplicación regular de tebuconazol + trifloxistrobin (Fig. 31A). Las reducciones en ABCPS en los tratamientos basados en el modelo, con respecto al testigo, variaron de 32 (Testigo vs azoxistrobin\_M) a 59 (Testigo vs miclobutanil\_M) unidades de área, mientras que en el caso de los tratamientos con aspersiones calendarizadas las reducciones fueron de 42 (Testigo vs tebuconazol\_C) y 67 (testigo vs miclobutanil\_C) u.a. No se detectaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos con fungicida.

En el Experimento 4, los tratamientos con base al modelo de riesgo, donde no se realizaron aspersiones, resultaron estadísticamente iguales al testigo. Todos los promedios de las parcelas tratadas con base al esquema de aspersiones calendarizadas, con excepción de las tratadas con azoxistrobin, tuvieron una reducción estadísticamente significativa en el ABCPS (Fig. 31B), con respecto a los tratamientos anteriores.

#### **4.4. Rendimiento**

En el Experimento 3 no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el rendimiento acumulado de frutos durante el ciclo del cultivo (Fig. 32). Se observó un patrón lineal en todos los casos, con rendimientos totales entre 55,593 y 69,704 kg/ha. Lo mismo ocurrió en el Experimento 4 (Fig. 33), donde los rendimientos totales variaron entre 54,226 y 69,535 kg/ha.

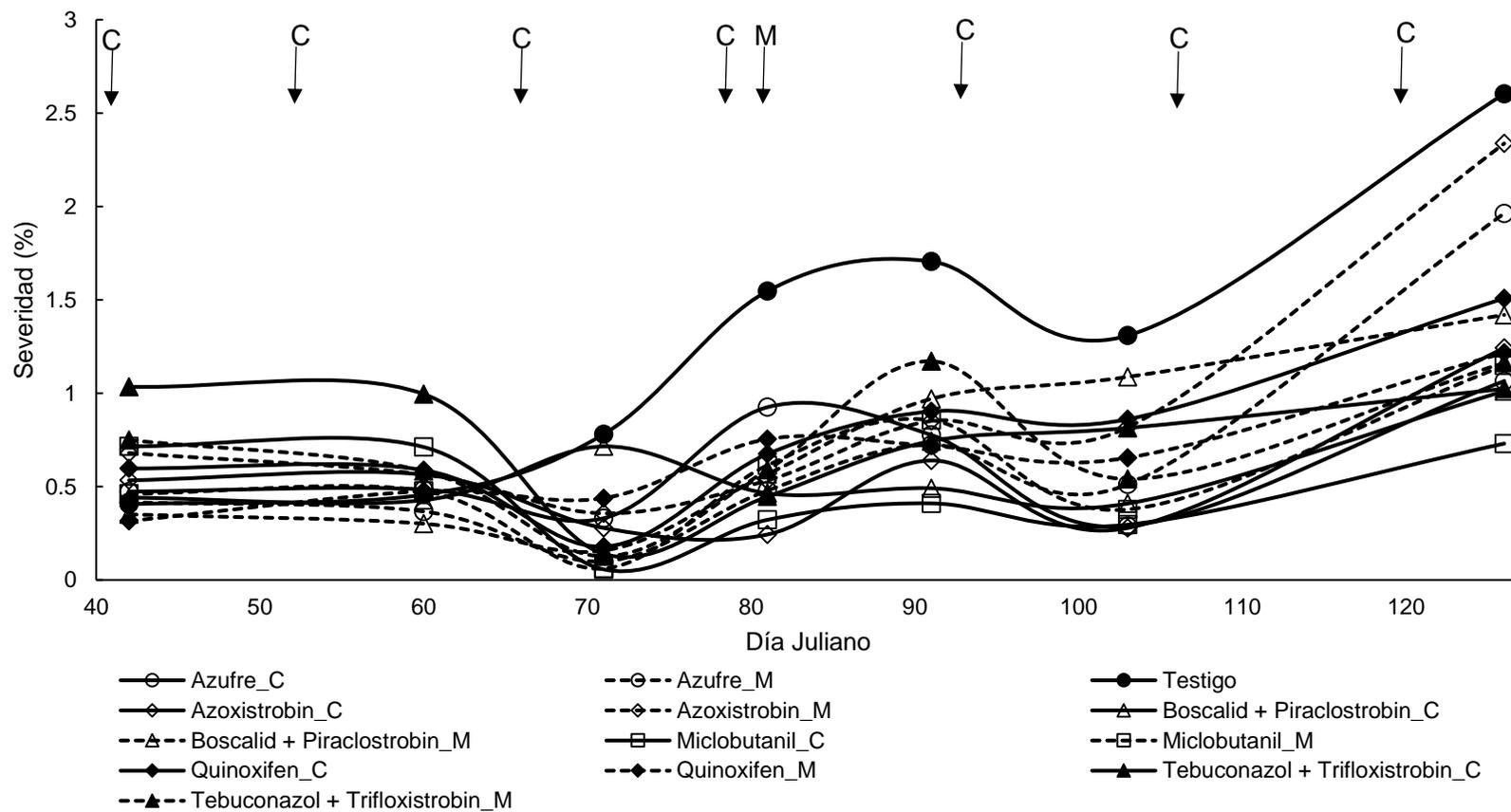


Figura 29. Dinámica de la severidad de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cuatro repeticiones. Experimento 3. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema.

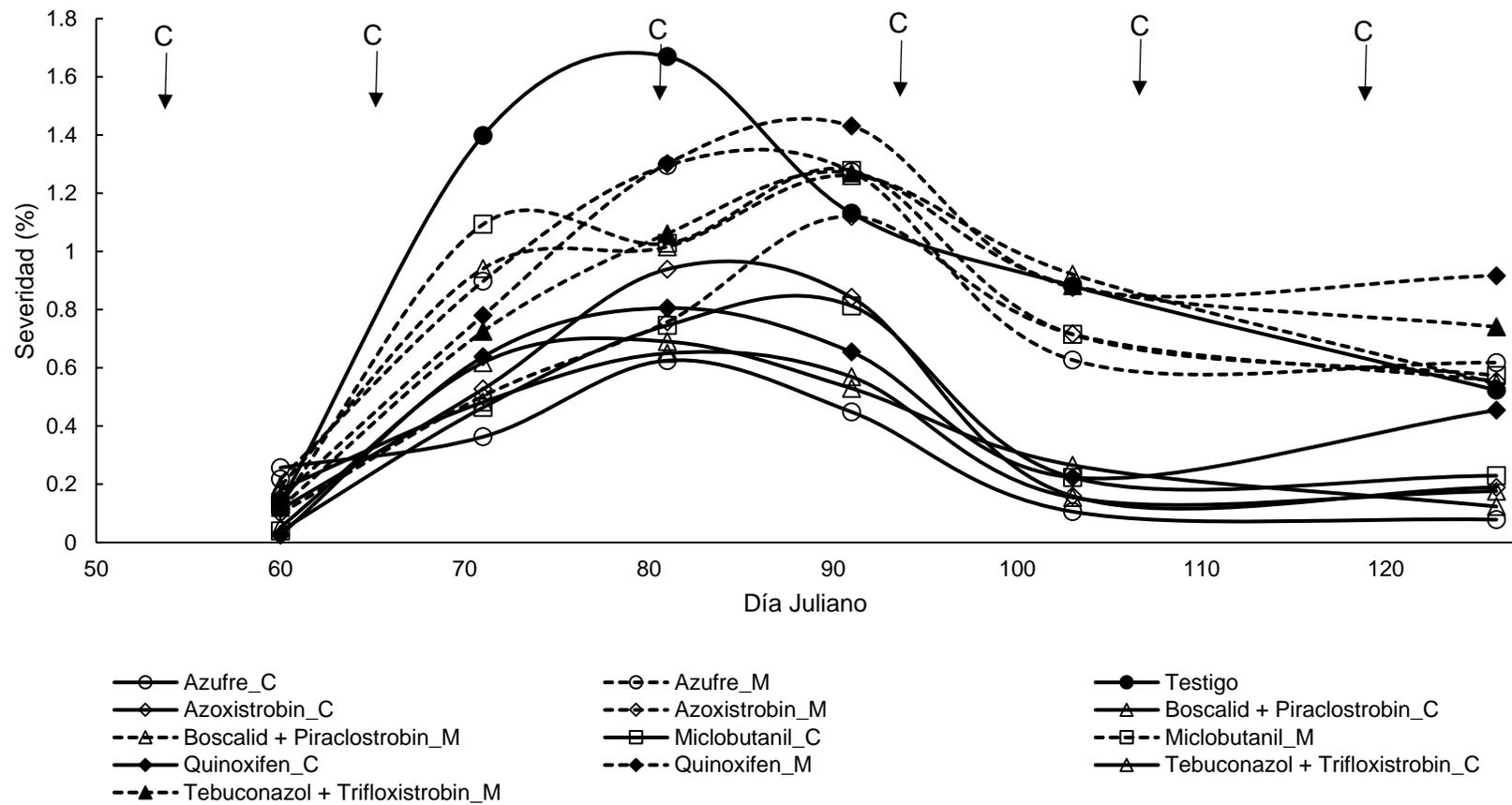


Figura 30. Dinámica de la severidad de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cuatro repeticiones. Experimento 4. Las flechas verticales indican la fecha de aplicación de fungicidas bajo cada esquema.

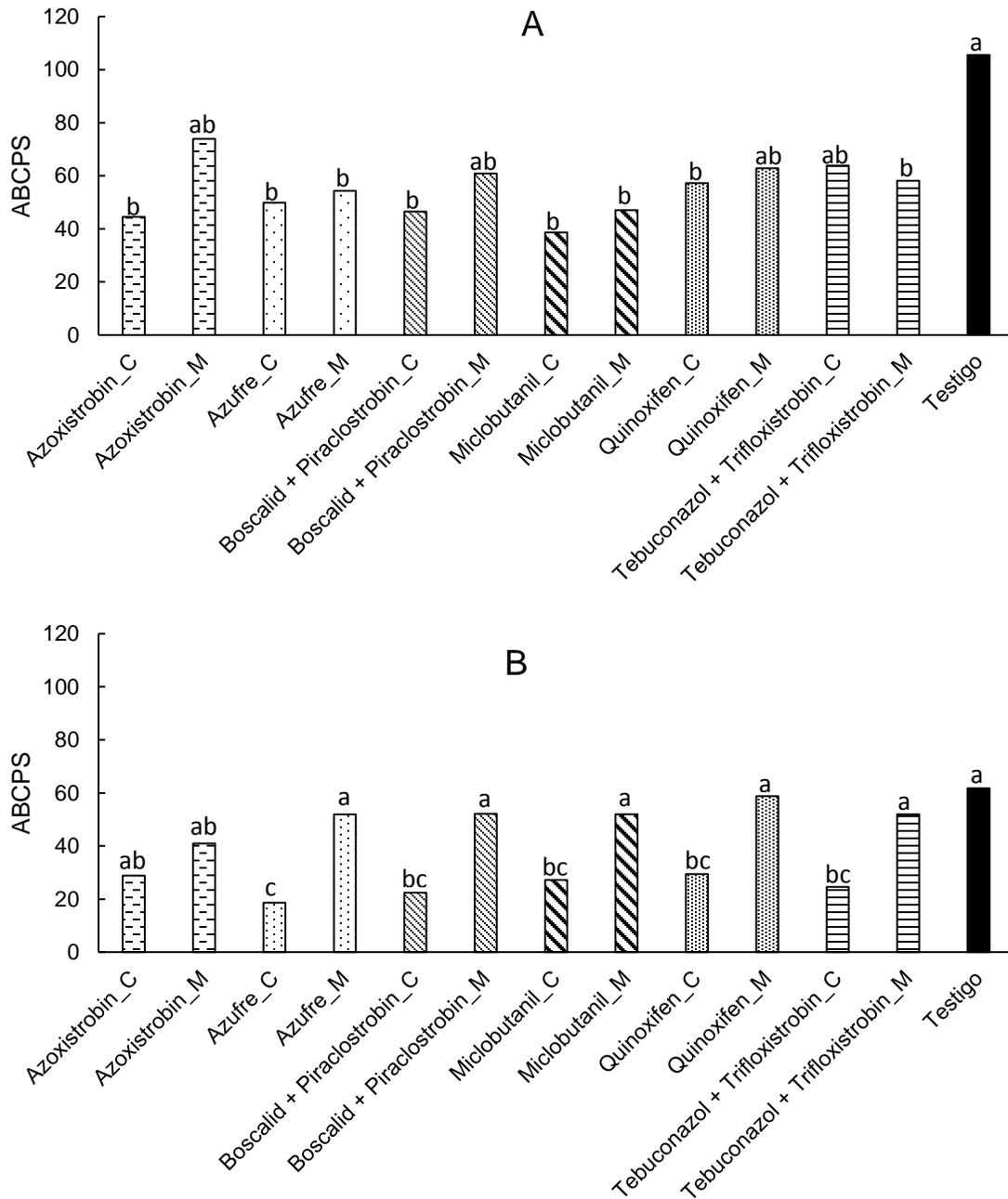


Figura 31. Área bajo la curva del progreso de la severidad de la cenicienta del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas con diferentes fungicidas, aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados (C) o con base en el modelo de riesgo (M) de Guzmán-Plazola (1997). Promedios de cuatro repeticiones. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $P = 0.05$ ) A = Experimento 3. B = Experimento 4.

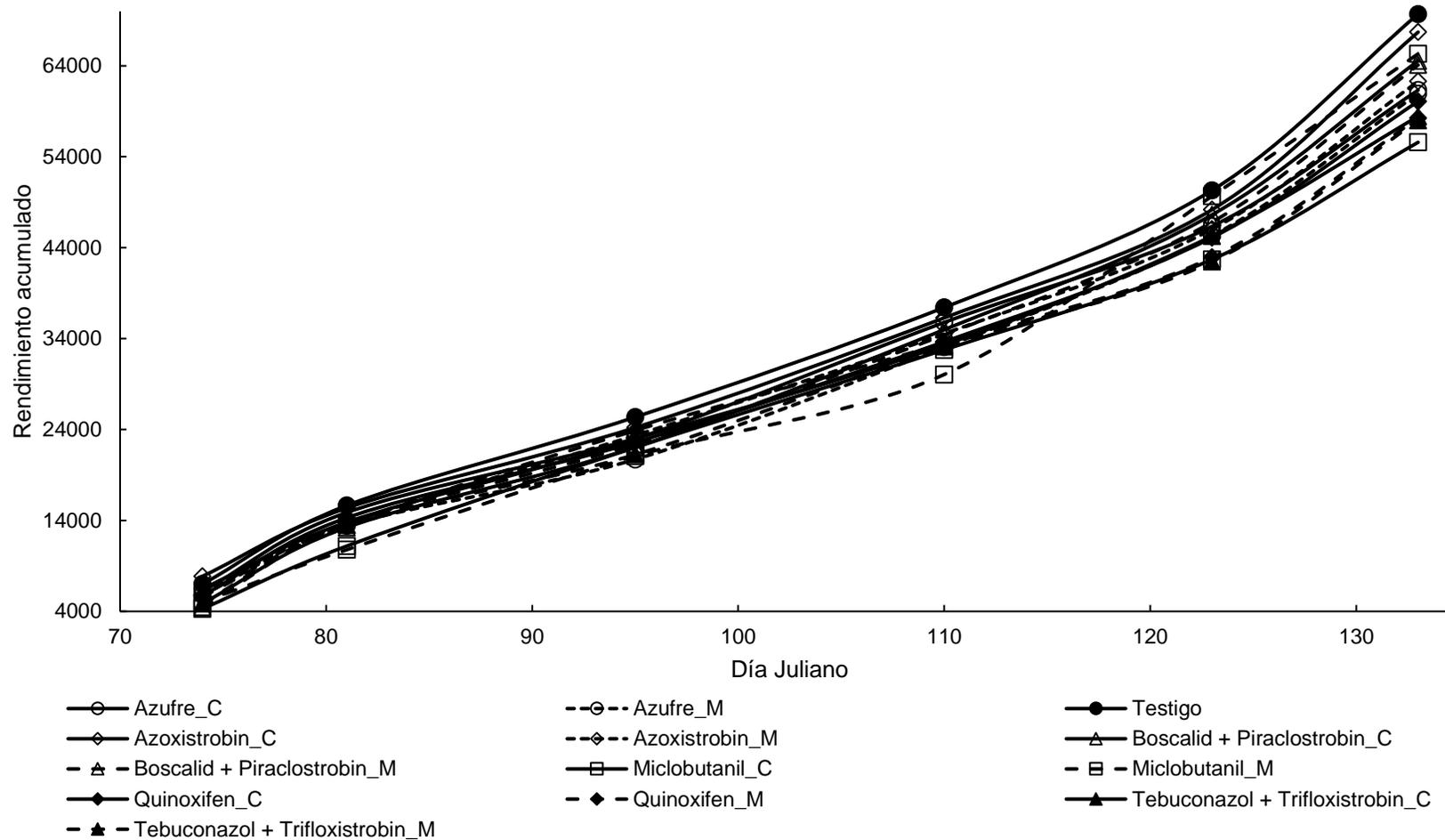


Figura 32. Rendimiento acumulado de frutos de tomate en el tercer experimento de evaluación de efecto de fungicidas para el control de la cenicienta del tomate en invernadero de Zacatepec, Morelos, aplicados bajo un esquema calendarizado o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). C = esquema de aspersión cada 10 días. M = aspersión con base al modelo. Promedios de cuatro repeticiones. Las diferencias entre tratamientos en cada evaluación, no fueron significativas. Experimento 3.

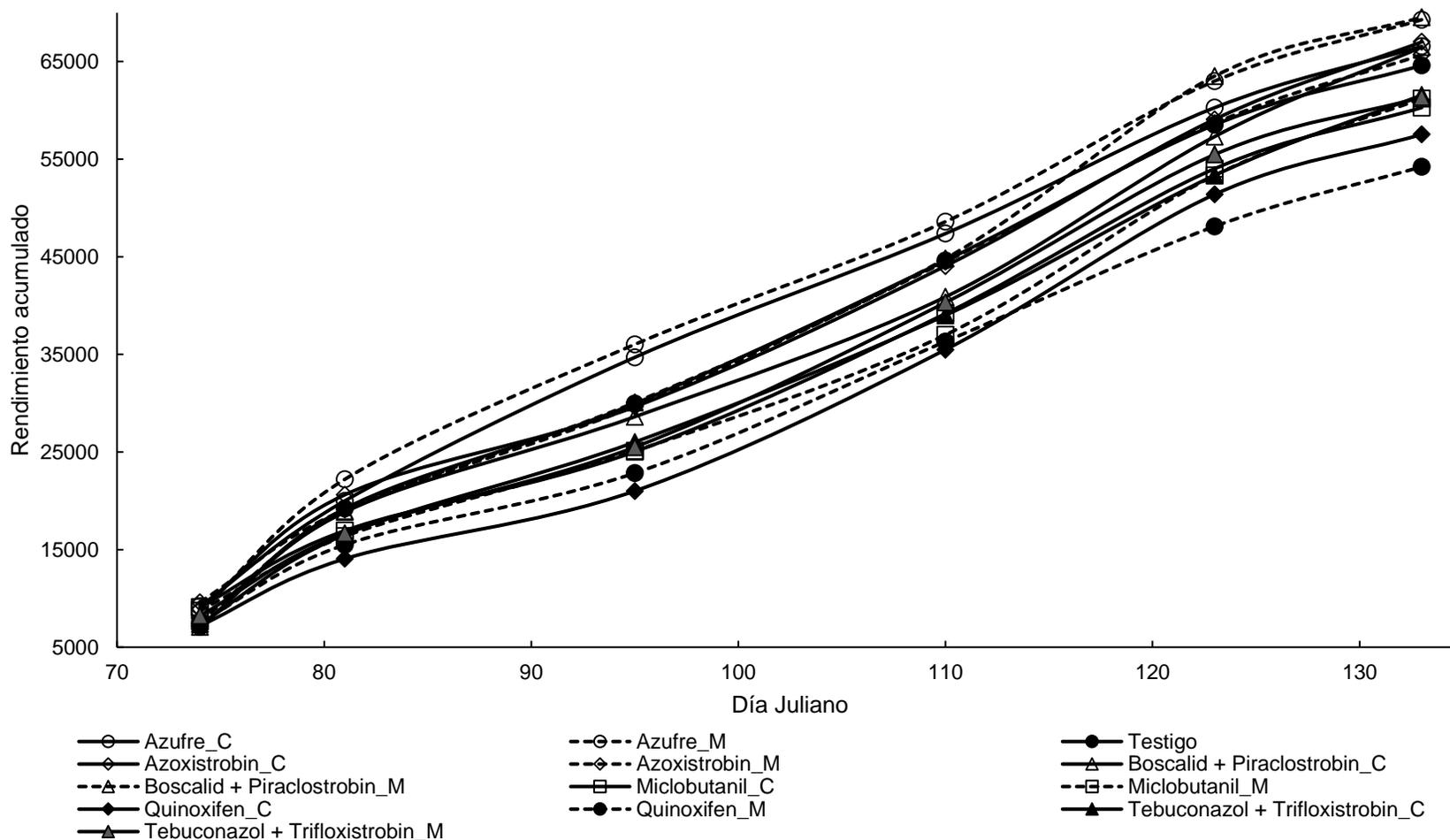


Figura 33. Rendimiento acumulado de frutos de tomate en el cuarto experimento de evaluación de efecto de fungicidas para el control de la cenicilla del tomate en invernadero de Zacatepec, Morelos, aplicados bajo un esquema calendarizado o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). C = esquema de aspersión cada 10 días. M = aspersión con base al modelo. Promedios de cuatro repeticiones. Las diferencias entre tratamientos en cada evaluación, no fueron significativas. Experimento 4.

## 5. DISCUSIÓN

Los agricultores de los estados de México y Morelos tienen la percepción de que la cenicilla puede afectar la producción de tomate en invernadero, pero no existen antecedentes publicados de que se haya realizado con anterioridad una estimación de las posibles pérdidas de rendimiento debido a la cenicilla. En los cuatro experimentos realizados en el presente trabajo en dos localidades de esos estados no se observaron efectos en el rendimiento de frutos debidos a esta enfermedad. Resultados similares han sido reportados en condiciones de invernadero de Ontario Canadá, donde con niveles de severidad de 42% no se observaron pérdidas en el rendimiento (Cerkauskas y Brown, 2015). En nuestro caso es necesario realizar evaluaciones en un mayor número de ciclos y localidades para llegar a una conclusión definitiva al respecto. Además, el uso de fungicidas para el control de la cenicilla no mostró efectos negativos en el rendimiento como se ha reportado anteriormente con el cultivo del cártamo donde Saeidi y Sharifnabi (2009) señalan que la aplicación de fungicida reduce el rendimiento de las semillas en algunos genotipos, lo que puede deberse a problemas fisiológicos posiblemente causados por los fungicidas.

El empleo de fungicidas es una herramienta importante para el manejo de la cenicilla del tomate y garantizar altos rendimientos y calidad del cultivo (Cerkauskas *et al.*, 2011). En el pasado el uso de fungicidas se consideraba la única forma de obtener altos rendimientos al controlar la enfermedad (Candido *et al.*, 2014). Nuestros resultados indican que no fue necesaria la aspersión calendarizada y recurrente de fungicidas, ya que el modelo de riesgo TOMATO.PM detectó en general condiciones microclimáticas moderadamente favorables para el desarrollo de la enfermedad. La implementación de este modelo es una opción recomendable para el manejo integrado de cultivo, porque en condiciones de campo (Guzman-Plazola *et al.*, 2011) y en invernadero permite reducir y optimizar la aplicación de fungicidas. Además de reducir el número de aspersiones por ciclo de cultivo, si se hace rotación de grupos químico con riesgo de desarrollar resistencia, con azufre humectable, quien en nuestros estudios ha mostrado ser eficaz para el control de la cenicilla, se reduciría el riesgo de desarrollar poblaciones resistentes como ha ocurrido en *Uncinula necator* (Wong y Wilcox 2002) y *Podosphaera xanthii* (Coffey *et al.*, 2007), con azoxistrobin y miclobutanil, atendiendo así la actual preocupación del uso de productos químicos para el control de

enfermedades por el impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana (Yanar *et al.*, 2011).

Se ha estudiado el efecto de fungicidas como azoxistrobin, quinoxifen y azufre para el control de la cenicilla del tomate, logrando reducir los niveles de enfermedad, pero sin erradicarla completamente (Cerkauskas y Brown, 2015). El uso intensivo y frecuente del mismo grupo químico, aumenta el potencial del desarrollo de resistencia a los fungicidas (McGrath, 2001; Keinath y DuBose, 2004); grupos como los QoI y los DMI, que son los más utilizados en el control de cenicillas, al tener modos de acción muy específicos presentan un alto potencial a desarrollar resistencia (McGrath, 2004). La reducción del inóculo primario, como eliminación de malezas o plantas infectadas y la aplicación oportuna de fungicidas puede ser uno de los principales métodos de control de la cenicilla (Reuveni *et al.*, 2007). En nuestros experimentos se realizó regularmente la práctica cultural de remoción de hojas enfermas adultas, que son las que normalmente tienen los niveles más altos de enfermedad. Bajo este sistema, la incidencia de la enfermedad en hojas tuvo porcentajes de hasta 48 %, la severidad se mantuvo en porcentajes menores a 3 %. Esa labor en conjunción con la predominancia de un clima moderadamente favorable para la enfermedad, explican tanto los bajos niveles de enfermedad observados como la ausencia de efectos en el rendimiento. El comportamiento aparentemente cíclico de la intensidad de la cenicilla puede ser explicado por la eliminación periódica de hojas, la cual dio lugar a reducciones en los porcentajes de incidencia y severidad.

Un factor poco documentado que puede ser importante en el desarrollo de la enfermedad, y que pudo influir en que la severidad dentro del invernadero en nuestros experimentos resultara en porcentajes menores a 3 %, es el uso de cubiertas de polietileno, las cuales tienen capacidad para filtrar los rayos UV. Se ha demostrado que estas cubiertas tienen el potencial de disminuir el desarrollo de enfermedades incluyendo a las cenicillas (Elad, 1997). La luz solar afecta la germinación de los conidios (Jacob *et al.*, 2008).

Finalmente, existe el potencial de automatizar el uso del modelo de riesgo Tomato.PM, pero es necesario realizar más evaluaciones en condiciones donde los niveles de incidencia y severidad sean más altos, para estimar si solo las aplicaciones en los días indicados por el modelo logran controlar la enfermedad, sin afectar el rendimiento.

## 6. CONCLUSIONES

En condiciones de invernadero de Texcoco, estado de México y Zacatepec, Morelos, la cenicilla no afectó el rendimiento del cultivo de tomate, debido a que las condiciones microclimáticas dentro del invernadero fueron moderadamente favorables y los niveles de severidad fueron bajos; además, los bajos niveles de severidad en nuestro experimento dentro del dosel de la planta se atribuyen a las prácticas culturales de remoción de las hojas más viejas, lo cual fue fundamental para el decremento de la enfermedad.

El modelo de riesgo TOMATO.PM reduce el número de aspersiones de cero a tres comparado con el modelo de aspersiones calendarizado, donde se realizaron de siete a quince aspersiones, esto permite una optimización en la aplicación de fungicidas.

Una combinación de azufre humectable en rotación con fungicidas con sitio de acción específico, puede reducir el impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana, además del riesgo de desarrollo de poblaciones del patógeno resistente a estos agroquímicos.

La especie de hongo causante de cenicilla en el cultivo de tomate en invernaderos hidropónico de Texcoco, México y en Zacatepec, Morelos, fue *Leveillula taurica*.

## APENDICE

Cuadro A1. Análisis de varianza del área bajo la curva de la incidencia de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas\* aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). Experimento 1.

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	F	P > F
Modelo	16	17915569.15	11.41	0.0001
Error	48	4711189.14		
Total	64	22626758.29		
Tratamiento	12	16738172.40	14.21	0.0001
Bloque	4	1177396.75	3.00	0.0274

$R^2 = 0.88$

C.V. = 38.6

\*Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol+ Trifloxystrobin y testigo.

Cuadro A2. Análisis de varianza del área bajo la curva de la severidad de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas\* aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). Experimento 1.

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	F	P > F
Modelo	16	15213.56243	23.75	0.0001
Error	48	1921.49717		
Total	64	17135.05960		
Tratamiento	12	15082.93341	31.40	0.0001
Bloque	4	130.62902	0.82	0.5214

$R^2 = 0.88$

C.V. = 38.6

\*Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol+ Trifloxystrobin y testigo.

Cuadro A3. Análisis de varianza del área bajo la curva de la incidencia de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas\* aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). Experimento 2.

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	F	P > F
Modelo	16	18069576.51	7.38	0.0001
Error	48	7346933.73		
Total	64	25416510.24		
Tratamiento	12	17827866.32	9.71	0.0001
Bloque	4	241710.19	0.39	0.8114

$R^2 = 0.71$

C.V. = 31.8

\*Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol+ Trifloxystrobin y testigo.

Cuadro A4. Análisis de varianza del área bajo la curva de la severidad de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Texcoco, México, tratadas con diferentes fungicidas\* aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). Experimento 2.

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	F	P > F
Modelo	16	11329.26851	23.84	0.0001
Error	48	1425.81078		
Total	64	12755.07929		
Tratamiento	12	11239.58038	31.53	0.0001
Bloque	4	89.68813	0.75	0.5598

$R^2 = 0.88$

C.V. = 32.96

\*Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol+ Trifloxystrobin y testigo.

Cuadro A5. Análisis de varianza del área bajo la curva de la incidencia de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas con diferentes fungicidas\* aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). Experimento 3.

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	F	P > F
Modelo	15	6246242.83	3.19	0.0022
Error	36	4704778.49		
Total	51	10951021.31		
Tratamiento	12	4980456.687	3.18	0.0036
Bloque	3	1265786.138	3.23	0.0337

$R^2 = 0.57$

C.V. = 19.4

\*Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol+ Trifloxystrobin y testigo.

Cuadro A6. Análisis de varianza del área bajo la curva de la severidad de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas con diferentes fungicidas\* aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). Experimento 3.

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	F	P > F
Modelo	15	14512.41702	2.77	0.0061
Error	36	12562.67484		
Total	51	27075.09186		
Tratamiento	12	13845.27615	3.31	0.0027
Bloque	3	667.14087	0.64	0.5959

$R^2 = 0.53$

C.V. = 31.8

\*Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol+ Trifloxystrobin y testigo.

Cuadro A7. Análisis de varianza del área bajo la curva de la incidencia de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos, tratadas con diferentes fungicidas\* aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). Experimento 4.

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	F	P > F
Modelo	15	24766195.45	22.56	0.0001
Error	36	2634490.07		
Total	51	27400685.51		
Tratamiento	12	18472246.81	21.04	0.0001
Bloque	3	6293948.64	28.67	0.0001

$R^2 = 0.90$

C.V. = 14.84

\*Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol+ Trifloxystrobin y testigo.

Cuadro A8. Análisis de varianza del área bajo la curva de la severidad de la cenicilla del tomate (*Leveillula taurica*) en plantas cultivadas bajo condiciones de invernadero en Zacatepec, Morelos y tratadas con diferentes fungicidas\* aplicados mediante esquemas de aspersión calendarizados o con base en el modelo de riesgo de Guzmán-Plazola (1997). Experimento 4.

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	F	P > F
Modelo	15	13899.19681	12.56	0.0001
Error	36	2656.94487		
Total	51	16556.14168		
Tratamiento	12	11224.72564	12.67	0.0001
Bloque	3	2674.47116	12.08	0.0001

$R^2 = 0.84$

C.V. = 21.5

\*Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol+ Trifloxystrobin y testigo.

Cuadro A9. Resumen del análisis de varianza del rendimiento de frutos de tomate cv SUN 707 en invernadero de Texcoco, México, bajo el efecto de diferentes fungicidas\* aplicados para el control de la cenicilla (*Leveillula taurica*). Resultados obtenidos en diferentes fechas (Día Juliano) de evaluación. Experimento 1

Día Juliano	g.l.	Suma de cuadrados	F	P > F
184	16	650560.6	1.19	0.3094
191	16	2024945.8	1.98	0.0347
198	16	1136663.4	1.30	0.2363
205	16	1934857.9	0.84	0.6333
214	16	2166606.0	1.77	0.0645
221	16	949509.5	1.71	0.0765
229	16	1082212.8	1.12	0.3639
236	16	1260950.0	1.25	0.2654
242	16	492431.3	0.70	0.7832
249	16	436955.9	1.13	0.3527
256	16	357566.3	0.87	0.6040
262	16	217591.1	0.78	0.6965
269	16	283648.3	1.59	0.1090
276	16	266580.7	0.64	0.8383

\* Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol + Trifloxystrobin y testigo.

Cuadro A10. Análisis de varianza del rendimiento acumulado de frutos de tomate cv SUN 707 en invernadero de Texcoco, México, bajo el efecto de diferentes fungicidas\* aplicados para el control de la cenicilla (*Leveillula taurica*). Experimento 1.

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	F	P > F
Modelo	16	42830302.2	1.32	0.2241
Error	48	97307958.9		
Total	64	140138261.0		
Tratamiento	12	39756586.2	1.63	0.1136
Bloque	4	3073716.0	0.38	0.8225

$R^2 = 0.30$

C.V. = 16.3

\*Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol + Trifloxystrobin, y testigo.

Cuadro A 11. Resumen del análisis de varianza del rendimiento de frutos de tomate cv SUN 707 en invernadero de Texcoco, México, bajo el efecto de diferentes fungicidas\* aplicados para el control de la cenicilla (*Leveillula taurica*). Resultados obtenidos en diferentes fechas (Día Juliano) de evaluación. Experimento 2.

Día Juliano	g.l.	Suma de cuadrados	F	P > F
184	16	193241108.7	1.59	0.1072
191	16	163216477.3	1.07	0.4064
198	16	128257827.4	0.74	0.7029
205	16	4391704913.0	0.99	0.4828
214	16	526999297.0	1.34	0.2252
221	16	100717407.4	0.89	0.5787
229	16	162366851.2	0.65	0.8250
236	16	261281406.5	1.39	0.1890
242	16	124372150.0	0.99	0.4844
249	16	1469919629.0	0.95	0.5254
256	16	29110348.8	0.95	0.5200
262	16	41484727.0	1.37	0.1985
269	16	51411591.6	0.76	0.7194
276	16	144770514.9	0.98	0.4964

\* Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol + Trifloxystrobin y testigo.

Cuadro A 12. Análisis de varianza del rendimiento acumulado de frutos de tomate cv SUN 707 en invernadero de Texcoco, México, bajo el efecto de diferentes fungicidas\* aplicados para el control de la cenicilla (*Leveillula taurica*). Experimento 2.

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	F	P > F
Modelo	16	9078815119.0	1.19	0.3067
Error	52	22809078086.0		
Total	64	31887893205.0		
Tratamiento	12	6497661665.0	1.14	0.3525
Bloque	4	2581153454.0	1.36	0.2625

$R^2 = 0.28$

C.V. = 14.92

\*Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol + Trifloxystrobin y testigo.

Cuadro A 13. Resumen del análisis de varianza del rendimiento de frutos de tomate cv Ramses en invernadero de Zacatepec, Morelos, bajo el efecto de diferentes fungicidas\* aplicados para el control de la cenicilla (*Leveillula taurica*). Resultados obtenidos en diferentes fechas (Día Juliano) de evaluación. Experimento 3.

Día Juliano	g.l	Suma de cuadrados	F	P > F
74	15	232716245.3	2.92	0.0042
81	15	255599351.5	1.87	0.0627
95	15	457325361.0	146	0.1723
110	15	366946214.2	1.44	0.1810
123	15	2705518889.0	1.45	0.1752
133	15	2106646728.0	1.82	0.0705

\* Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol + Trifloxystrobin y testigo

Cuadro A 14. Análisis de varianza del rendimiento acumulado de frutos de tomate cv Ramses en invernadero de Zacatepec, Morelos, bajo el efecto de diferentes fungicidas\* aplicados para el control de la cenicilla (*Leveillula taurica*). Experimento 3.

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	F	P > F
Modelo	15	3914150513.0	0.71	0.7547
Error	36	13163013612.0		
Total	51	17077164125.0		
Tratamiento	12	3250125097.0	0.74	0.7033
Bloque	3	664025417.0	0.61	0.6158

$R^2 = 0.19$

C.V. = 15.2

\*Fungicidas evaluados: Azufre, Azoxistrobin, Boscalid + Pyraclostrobin, Miclobutanil, Quinoxifen Tebuconazol + Trifloxystrobin y testigo.

Cuadro A 15. Fungicidas recomendados para el control de cenicilla (*Leveillula taurica*) por el PLM\* y autorizados por la COFEPRIS y la EPA.

Fungicida	Recomendado PLM*	Autorizado por COFEPRIS	Autorizado EPA
Azoxistrobin	Si	Si	Si
Myclobutanil	Si	Si	Si
Boscalid+	Si	No	Si
Pyraclostrobin			
Quinoxifen	Si	No	Si
Tebuconazol +	Si	Si	Si
Trifloxystrobin			
Azufre humectable.	Si	Si	Si
Azufre elemental			

\*Diccionario de especialidades agroquímicas 2015.

## LITERATURA CITADA

- Adams, S. R., Woodward, G. C. y Valdés, V. M. 2002. The effects of leaf removal and of modifying temperature set-points with solar radiation on tomato yields. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 77: 733-738.
- Aegerter, B. J., Stoddard, C. S., Miyao, E. M., Le Strange, M. y Turini, T. A. 2014. Impact of powdery Mildew (*Leveillula taurica*) on yield and fruit quality of processing tomatoes in California. In XIII International Symposium on Processing Tomato 1081: 153-158.
- Ammermann, E., Lorenz, G., Schelberger, K., Mueller, B., Kirstgen, R. y Sauter, H. 2000. BAS 500 F-the new broad-spectrum strobilurin fungicide. In The BCPC Conference: Pests and diseases. Proceedings of an international conference held at the Brighton Hilton Metropole Hotel, Brighton, UK, 13-16 November 2000 British Crop Protection Council 2: 541-548.
- Anonymous. 2005. Characteristics of fungicides used in field crops. department of crop sciences University of Illinois at Urbana. <https://ipm.illinois.edu/diseases/rpds/1002.pdf> (Fecha de consulta Agosto 2016)
- Ashtaputre, S., Kulkarni, S., Shivaprasad, M., Rao, M. S. L., Kulkarni, V. R. y Mohankumar, H. D. 2007. Perpetuation studies of powdery mildew of chilli caused by *Leveillula taurica* (Lev.) Arn. *Annals of Biology* 23: 191.
- Atherton, J. y Rudich, J. 2012. The tomato crop: a scientific basis for improvement. Springer Science and Business Media 661p.
- Avenot, H. F. y Michailides, T. J. 2007. Resistance to boscalid fungicide in *Alternaria alternata* isolates from pistachio in California. *Plant Disease* 91: 1345-1350.
- Avenot, H., Sellam, A. y Michailides, T. 2009. Characterization of mutations in the membrane-anchored subunits AaSDHC and AaSDHD of succinate dehydrogenase from *Alternaria alternata* isolates conferring field resistance to the fungicide boscalid. *Plant Pathology* 58: 1134-1143.

- Aydm, M.H. y Gore, M. E. 2010. Severe outbreaks of tomato powdery mildew caused by *Leveillula taurica* in the Marmara region of Turkey. *Journal of Plant Pathology* 92: 107.
- Bakeer, A. R. T., Abdel-Latef, M. A. E., Afifi, M. A. y Barakat, M. E. 2013. Validation of Tomato powdery mildew forecasting model using meteorological data in Egypt. *International Journal of Agriculture Sciences* 5: 372.
- Bai, Y., Huang, C. C., van der Hulst, R., Meijer-Dekens, F., Bonnema, G., Lindhout, P. 2003. QTLs for Tomato Powdery Mildew Resistance (*Oidium lycopersici*) in *Lycopersicon parviflorum* G1.1601 Co-localize with Two Qualitative Powdery Mildew Resistance Genes. *Molecular Plant Microbe Interaction* 16: 169–176.
- Bai, Y., Van der Hulst, R., Bonnema, G., Marcel, T. C., Meijer-Dekens, F., Niks, R. E., Lindhout, P. 2005 Tomato Defense to *Oidium neolycopersici*: Dominant Ol Genes Confer Isolate-Dependent Resistance Via a Different Mechanism Than Recessive ol-2. *Molecular Plant Microbe Interaction* 18: 354–362.
- Bai, Y., Pavan, S., Zheng, Z., Zappel, N. F., Reinstädler, A., Lotti, C., De Giovanni, C., Ricciardi, L., Lindhout, P., Visser, R., Theres, K., Panstruga, R. 2008. Naturally Occurring Broad-Spectrum Powdery Mildew Resistance in a Central American Tomato Accession Is Caused by Loss of Mlo Function. *Molecular Plant Microbe Interactions* 21: 30-39.
- Balba, H. 2007. Review of strobilurin fungicide chemicals. *Journal of Environmental Science and Health Part B*. 42: 441–451.
- Bartlett, D. W., Clough, J. M., Godwin, J. R., Hall, A. A., Hamer, M. y Parr-Dobrzanski, B. 2002. The strobilurin fungicides. *Pest management science* 58: 649–662.
- Barnett H. L., and B. Hunter. 1998. *Illustrated genera of imperfect fungi* (4th ed). APS Press, St. Paul, Minn pp: 218.
- Bartholomaeus, A. 2003. Pyraclostrobin. *Pesticide residues in food*. JMPR pp: 275-319. ([apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database/Document/178](http://apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database/Document/178))

- Belanger, R. R., Bushnell, W. R., Dik, A. J. y Carver, T. L. 2002. The powdery mildews: a comprehensive treatise. American Phytopathological Society (APS Press) pp 292.
- Bending, G. D., Rodriguez-Cruz, M. S. y Lincoln, S. D. 2007. Fungicide impacts on microbial communities in soils with contrasting management histories. *Chemosphere* 69: 82-88.
- Bettiol, W. 1999. Effectiveness of cow's milk against zucchini squash powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) in greenhouse conditions. *Crop Protection*, 18: 489-492.
- Blancard, D. 2011. Enfermedades Del Tomate: Mundi-Prensa, pp: 679.
- Brand, M., Messika, Y., Elad, Y., David, D. R., y Sztejnberg, A. 2009. Spray treatments combined with climate modification for the management of *Leveillula taurica* in sweet pepper. *European journal of plant pathology*, 124: 309-329.
- Brent, K. J. y Hollomon, D. W. 1998. Fungicide resistance: the assessment of risk. Brussels, Belgium: Global Crop Protection Federation. pp. 1-48.
- Büschges, R., Hollricher, K., Panstruga, R., Simons, G., Wolter, M., Frijters, A., van Daelen, R., van der Lee, T., Diergaarde, P., Groenendijk, J., Vos P., Salamini F., Schulze-Lefert, P., Y Töpsch, S. 1997. The barley Mlo gene: a novel control element of plant pathogen resistance. *Cell*, 88: 695-705.
- Buchenauer, H. y Grossmann, F. 1977. Triadimefon: Mode of action in plants and fungi. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 83: 93-103.
- Burger, R., 1992. Triadimefon (50DF) - Magnitude of the Residue on Pineapple. Data Requirements. EPA Guideline Ref. No:171-4(d) Magnitude of the Residue Post harvest Treatments. Unpublished Miles Report No. 102649.by Bayer AG.
- Campbell, C. L., y Madden, L. V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley & Sons. pp: 532.
- Candido, V., Campanelli, G., Viggiani, G., Lazzeri, L., Ferrari, V., y Camele, I. 2014. Melon yield response to the control of powdery mildew by environmentally friendly substances. *Scientia Horticulturae*, 166: 70-77.

- CDPR (California Department of Pesticide Regulation). 2004. Public report -01, ID 189056 N, Quinoxifen. Department of Pesticide Regulation.
- Cerkauskas, R. F., Leopold, L. y Ferguson, G. 2000. Control of powdery mildew in greenhouse cucumbers, peppers, and tomatoes (Abstr.). *Phytopathology* 90: 12.
- Cerkauskas R. F., G. Ferguson and M. Banik. 2011. Powdery mildew (*Leveillula taurica*) on greenhouse and field peppers in Ontario—host range, cultivar response and disease management strategies. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 33: 485-498.
- Cerkauskas, R. F. y Brown, J. 2015. Aspects of the epidemiology and control of powdery mildew (*Oidium neolycopersici*) on tomato in Ontario, Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology* 37: 448-464.
- Chunwongse, J., Bunn, T. B., Crossman, C., Jiang, J. y Tanksley, S. D. 1994. Chromosomal localization and molecular-marker tagging of the powdery mildew resistance gene (Lv) in tomato. *Theoretical and Applied Genetics* 89: 76-79.
- Chunwongse, J., Doganlar, S., Crossman, C., Jiang, J., y Tanksley, S. D. 1997. High-resolution genetic map of the Lv resistance locus in tomato. *Theoretical and applied genetics*, 95: 220-223.
- Coffey, M., McCreight, J. D. y LeBoef, J. 2007. Mapping of new virulence races in populations of powdery mildew. California Melon Research Board Annual report. Department of Plant Pathology, University of California, Riverside, CA, pp. 1-14.
- Consonni, C., Humphry, M. E., Hartmann, H. A., Livaja, M., Durner, J., Westphal, L. y Somerville, S. C. 2006. Conserved requirement for a plant host cell protein in powdery mildew pathogenesis. *Nature genetics* 38: 716-720.
- Correll, J. C., Gordon, T. R. y Elliott, V. J. 1988. The epidemiology of powdery mildew on tomatoes. *California Agriculture* 42: 8-10
- Correll, J. C., Gordon, T. R., y Elliott, V. J. 1987. Host range, specificity, and biometrical measurements of *Leveillula taurica* in California. *Plant Disease*, 71: 248-251.

- Cooke, B. M., Jones, D. G. y Kaye, B. 2006. The Epidemiology of Plant Diseases (Vol. 2). Dordrecht: Springer. pp: 576.
- Dafermos, N. G., Kasselaki, A.M. Goumas, D. E., Spantidakis, K., Eyre, M. D. y Leifert, C. 2012. Integration of elicitors and less-susceptible hybrids for the control of powdery mildew in organic tomato crops. *Plant Disease* 96: 1506-1512.
- Damicone, J. P. y Smith, D. L. 2009. Fungicide Resistance Management Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University.
- Dannan, G. y Tasheva, M. 2004. Trifloxystrobin. Office of Pesticide Programs, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA; Laboratory of Toxicology, National Center of Hygiene, Medical Ecology and Nutrition, Sofia, Bulgaria
- Derbalah, A. S., Kamel, S. M., Morsy, S. Z. y El-Sawy, M. M. 2012. Alternatives to control powdery mildew and early blight diseases of tomato under greenhouse conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 22: 185.
- De Souza, V. L. y Café-Filho, A. C. 2003. Resistance to *Leveillula taurica* in the genus *Capsicum*. *Plant Pathology* 52: 613-619.
- Dewhurst y Dellarco, V. 2006. Quinoxifen JMPR. ([apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database/Document/135](http://apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database/Document/135))
- Devoto, A., Hartmann, H. A., Piffanelli, P., Elliott, C., Simmons, C., Taramino, G., Goh, C. S., Cohen, F. E., Emerson, B. C., Schulze-Lefert, P. y Panstruga, R. 2003. Molecular phylogeny and evolution of the plant-specific seven transmembrane MLO family. *Journal of molecular evolution* 56: 77-88.
- Doyle J., J. Doyle. 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus* 12:13- 15.
- Dubos, T., Pasquali, M., Pogoda, F., Hoffmann, L. y Beyer, M. 2011. Evidence for natural resistance towards trifloxystrobin in *Fusarium graminearum*. *European Journal of Plant Pathology* 130: 239-248.

- Ebert, D. y Harder, U. 2000. Boscalid: The degradation behaviour of 14C-BAS 510 F in different soils (DT50/DT90). BASF AG, Agrarzentrum Limburgerhof; Limburgerhof; Germany Fed. Rep. BASF unpublished report 41860, issued 20.06.2000. 2000/1013279
- EC (European Commission). 2003. Review report for the active substance quinoxifen. 6781/VI/97-Final-Annex I of Directive 91/414/EEC.
- Elad, Y. 1997. Effect of filtration of solar light on the production of conidia by field isolates of *Botrytis cinerea* and on several diseases of greenhouse crops. *Crop Protection* 6: 635-642.
- Elad, Y., Messika, Y., Brand, M., David, D. R. y Szejnberg, A. 2007. Effect of microclimate on *Leveillula taurica* powdery mildew of sweet pepper. *Phytopathology* 97: 813-824.
- Elad, Y., Messika, Y., Brand, M., David, D. R. y Szejnberg, A. 2007. Effect of colored shade nets on pepper powdery mildew (*Leveillula taurica*) *Phytoparasitica* 35: 285-299.
- Eckardt, N. A. 2002. Plant disease susceptibility genes. *The Plant Cell* 14: 1983-1986.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1979. Triadimefon (Pesticide residues in food: 1979 evaluations) <http://www.inchem.org/documents/jmpr/jmpmono/v079pr43.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1997. Pesticide residues in food, Report. (FAO Plant Production and Protection Paper - 145) Division: Plant Production and Protection Division ISSN: 1020-0339
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) .2003. PYRACLOSTROBIN (210) - First draft prepared by Bernard Declercq, Epinay sur Orge, France.
- ([http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests\\_Pesticides/JMPR/Evaluation04/Pyraclostrobinaf.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Evaluation04/Pyraclostrobinaf.pdf)).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. [www.fao.org/](http://www.fao.org/) (Fecha de consulta agosto 2016).

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. SPECIFICATIONS AND EVALUATIONS FOR TRIADIMEFON ([http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests\\_Pesticides/Specs/Triadimefon\\_2011.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Specs/Triadimefon_2011.pdf)).
- Ferrandino, F. J., y Smith, V. L. 2007. The effect of milk-based foliar sprays on yield components of field pumpkins with powdery mildew. *Crop Protection*, 26: 657-663.
- Fernández-Ortuño, D., Torés, J. A., De Vicente, A. y Pérez-García, A. 2010. Mechanisms of resistance to QoI fungicides in phytopathogenic fungi. *International Microbiology* 11: 1-9.
- Forrest, R., Brown, L. R. y Abel, S. 2001. Use of tebuconazole on Michigan asparagus. United States Environmental Protection Agency. Office of pesticides and toxic substances and Development, Washington DC, 20460. pp 16.
- Friedrich, S., Leinhos, G. M. E. y Löpmeier, F. J. 2003. Development of ZWIPERO, a model forecasting sporulation and infection periods of onion downy mildew based on meteorological data. *European Journal of Plant Pathology* 109: 35-45.
- FRAC. 2010. FRAC Code List: Fungicides sorted by mode of action (including FRAC Code Numbering).
- Fu, X. L., Lu, Y. G., Liu, X. D., y Li, J. Q. 2009. Crossability barriers in the interspecific hybridization between *Oryza sativa* and *O. meyeriana*. *Journal of integrative plant biology* 51: 21-28.
- Gallian, J., Miller, J. S. y Nolte, P. 2006. Managing fungicide resistance (Vol. 1130). University of Idaho Extension. pp: 6.
- Ganeshan, G., Chethana, B. S., Rao, A. S. y Bellishree, K. 2013. Comparative efficacy of myclobutanil, triadimefon and mancozeb against major fungal diseases of chilli. *Pest Management in Horticultural Ecosystems* 17: 42-47.

- Gao, D., Huibers, R. P., Loonen, A. E., Visser, R. G., Wolters, A. M. A. y Bai, Y. 2014. Down-regulation of acetolactate synthase compromises Ol-1-mediated resistance to powdery mildew in tomato. *BMC Plant Biology* 14: 1.
- Gisi, U. 2002. Chemical control of downy mildews. in: Spencer-Phillips, N.T.P., Gisi, U. and Lebeda, A. [Eds.] *Advances in Downy Mildew Research*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. pp. 119-159.
- Gould, W. A. 2013. *Tomato production, processing and technology*. Elsevier. pp: 550.
- Guzman-Plazola, R.A., 1997. Development of a spray forecast model for tomato powdery mildew (*Leveillula taurica* (Lev) Arn.). Ph.D. dissertation, University of California, Davis. 138 p.
- Guzman-Plazola, R. A., Davis, R. M., y Marois, J. J. 2003. Effects of relative humidity and high temperature on spore germination and development of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*). *Crop protection*, 22: 1157-1168.
- Guzman-Plazola, R. A., Fajardo-Franco, M. L., Garcia-Espinosa, R., y Cadena-Hinojosa, M. A. 2011. Epidemic development of tomato powdery mildew and yield of three tomato cultivars in the comarca Lagunera, Coahuila, México. *Agrociencia*, 45: 363-378.
- Guzmán-Plazola, R. A., Fajardo-Franco, M. L., y Coffey, M. D. 2011. Control of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*) in the Comarca Lagunera, Coahuila State, Mexico, supported by the spray forecast model Tomato.PM. *Crop Protection* 30: 1006-1014.
- Gubler, W. D., Ypema, H. L., Ouimette, D. G., y Bettiga, L. J. 1996. Occurrence of resistance in *Uncinula necator* to triadimefon, myclobutanil, and fenarimol in California grapevines. *Plant Disease* 80: 902-909.
- Henry, M. J. 2003. Fungicides, quinoxifen. *Encyclopedia of Agrochemicals*.
- Huelsenbeck, J. P., and Ronquist, F. 2001. MRBAYES: Bayesian inference of phylogenetic trees. *Bioinformatics* 17:754–755.

- Jacob, D., David, D. R., Sztjenberg, A., y Elad, Y. 2008. Conditions for development of powdery mildew of tomato caused by *Oidium neolycopersici*. *Phytopathology* 98: 270-281.
- Jones, W.B. y S.V. Thomson, 1987. Source of inoculum, yield, and quality of tomato as affected by *Leveillula taurica*. *Plant Disease* 71: 266–268.
- Jones, R. D., Sidney, A., Effland, W., Matzner, R. y Parker, R. 1998. An index reservoir for use in assessing drinking water exposures Chapter IV in Proposed Methods for Basin-Scale Estimation of Pesticide Concentrations in Flowing Water and Reservoirs for Tolerance Reassessment., presented to the FIFRA Science Advisory Panel. <http://www.epa.gov/pesticides/SAP/1998/index>. (Fecha de consulta septiembre 2016).
- Jordan, V. W. L., y Richmond, D. V. 1972. The effect of glass cloche and coloured polyethylene tunnels on microclimate, growth, yield and disease severity of strawberry plants. *Journal of horticultural science* 47: 419-426.
- Kasselaki, A. M., Shaw, M. W., Malathrakis, N. E., y Haralambous, J. 2006. Control of *Leveillula taurica* in tomato by *Acremonium alternatum* is by induction of resistance, not hyperparasitism. *European Journal of Plant Pathology*, 115: 263-267.
- Junges, C. M., Peltzer, P. M., Lajmanovich, R. C., Attademo, A. M., Zenklusen, M. C., y Basso, A. 2012. Toxicity of the fungicide trifloxystrobin on tadpoles and its effect on fish–tadpole interaction. *Chemosphere* 87: 1348-1354.
- Keinath, A. P., y DuBose, V. B. 2004. Evaluation of fungicides for prevention and management of powdery mildew on watermelon. *Crop Protection* 23: 35-42.
- Khodaparast, S.A., Takamatsu, S., y Hedjaroude, G.-A. 2001. Phylogenetic structure of the genus *Leveillula* (Erysiphales: Erysiphaceae) inferred from the nucleotide sequences of the rDNA ITS region with special reference to the *L. taurica* species complex. *Mycol. Res.*, 105: 909–918.
- Kiss, L., Cook, R. T. A., Saenz, G. S., Cunnington, J. H., Takamatsu S., Pascoe I., Bardin, M., Nicot, P. C., Sato, Y. y Rossman, A. Y. 2001. Identification of Two Powdery

- Mildew Fungi, *Oidium Neolycopersici* sp. Nov. and *O. lycopersici*, infecting tomato in different parts of the world. *Mycological Research* 105: 684-697.
- Klittich, C. J. R. 2014. Fungicide mobility and the influence of physical properties Retention, Uptake, and Translocation of Agrochemicals in Plants. ACS Symposium Series. American Chemical Society Chapter 5, 1171: 95-109.
- Ko, W. H., Wang, S. Y., Hsieh, T. F., y Ann, P. J. 2003. Effects of sunflower oil on tomato powdery mildew caused by *Oidium neolycopersici*. *Journal of Phytopathology* 151: 144-148.
- Konstantinidou-Doltsinis, S., Markellou, E., Kasselaki, A. M., Fanouraki, M. N., Koumaki, C. M., Schmitt, A., y Malathrakis, N. E. 2006. Efficacy of Milsana®, a formulated plant extract from *Reynoutria sachalinensis*, against powdery mildew of tomato (*Leveillula taurica*). *Biocontrol* 51: 375-392.
- Kumar, S., y Rani, A. 2013. Fungicide resistance: a major challenge in plant disease control. *International Journal of Applied Biosciences* 1: 35-47.
- Kunoh, H., Kohno, M., Tashiro, S., y Ishizaki, H. 1979. Studies of the powdery-mildew fungus, *Leveillula taurica*, on green pepper. II. Light and electron microscopic observation of the infection process. *Can. J. Bot.* 57: 2501-2508.
- Lage, D. A. C., Marouelli, W. A., da SS Duarte, H., y Café-Filho, A. C. 2015. Standard area diagrams for assessment of powdery mildew severity on tomato leaves and leaflets. *Crop Protection*, 67: 26-34.
- LeNoir, J. S., McConnell, L. L., Fellers, G. M., Cahill, T. M., y Seiber, J. N. 1999. Summertime transport of current-use pesticides from California's Central Valley to the Sierra Nevada Mountain Range, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 18: 2715-2722.
- Madden, L. V., y Ellis, M. A. 1988. How to develop plant disease forecasters. in: *Experimental techniques in plant disease epidemiology*. Springer Berlin Heidelberg. pp. 191-208.

- Malathrakis, N. E., y Goumas, D. E. 1999. Fungal and bacterial diseases. in; Integrated pest and disease management in greenhouse crops. Springer Netherlands. pp. 34-47.
- Matsuda, Y., Ikeda, H., Moriura, N., Tanaka, N., Shimizu, K., Oichi, W., y Toyoda, H. 2006. A new spore precipitator with polarized dielectric insulators for physical control of tomato powdery mildew. *Phytopathology* 96: 967-974.
- McGrath, M. T. 1996. Successful management of powdery mildew in pumpkin with disease threshold-based fungicide programs. *Plant Disease*. 80: 910-916.
- McGrath, M. T. 2001. Fungicide resistance in cucurbit powdery mildew: experiences and challenges. *Plant Disease* 85: 236-245.
- McGrath, M. T. 2004. What are fungicides. *The Plant Health Instructor* 1-11.
- McGrath, M. T. 2008. Fungicide sensitivity in *Podosphaera xanthii* and efficacy for cucurbit powdery mildew in NY, USA, in 2003–2006. *Journal of Plant Pathology* 90:90.
- McGregor y Soleck R. 2006. Boscalid, Pesticide residues in food, toxicological evaluations. Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues pp: 47. <http://www.inchem.org/documents/jmpr/jmpmono/v2006pr01.pdf>
- Merli, A., Reeves, G., Meregalli, G., Piccinini, A., Negri, I., Carmignano, P. y Capri, E. 2010. Surface-water exposure to quinoxifen: Assessment in landscape vineyards. *Journal of Hydrology* 383: 62-72.
- Mielserova, B. y A. Lebeda, 1999. Taxonomy, distribution and biology of the tomato powdery mildew, *Oidium lycopersici*. *Zeitschrift fur Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Journal of Plant Diseases and Protection* 106: 140–157.
- Miller, T. C., y Gubler, W. D. 2004. Sensitivity of California isolates of *Uncinula necator* to trifloxystrobin and spiroxamine, and update on triadimefon sensitivity. *Plant Disease* 88: 1205-1212.
- Miles, A. K., Willingham, S. L., y Cooke, A. W. 2004. Field evaluation of strobilurins and a plant activator for the control of citrus black spot. *Australasian Plant Pathology*, 33: 371-378.

- Miyamoto, T., Ishii, H., y Tomita, Y. 2010. Occurrence of boscalid resistance in cucumber powdery mildew in Japan and molecular characterization of the iron–sulfur protein of succinate dehydrogenase of the causal fungus. *Journal of General Plant Pathology* 76: 261-267.
- Muñoz-Leoz, B., Ruiz-Romera, E., Antigüedad, I., y Garbisu, C. 2011. Tebuconazole application decreases soil microbial biomass and activity. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 2176-2183.
- Nene, Y. L., y Thapliyal, P. N. 1993. *Fungicides in Plant Disease Control*. Third Edition, Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi, India, pp. 311-348.
- Neshev, G. 1993. Powdery mildew (*Oidium* sp.) on tomatoes in Bulgaria. *Phytoparasitica*, 21: 339-343.
- NCBI <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>. (Fecha de consulta septiembre 2016)
- Nu-May, R. R. 2000. Tolerance evaluation of myclobutanil: strawberries and asparagus. Medical Toxicology Branch Department of Pesticide Regulation California Environmental Protection Agency. pp:23.
- Orozco, M. 2006. Cenicilla (*Oidium* sp.) del tamarindo (*Tamarindus indica* L.): un problema recurrente y su manejo integrado en el trópico seco de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 24: 152 – 155.
- Palti, J. 1988. The *Leveillula* mildews. *The Botanical Review*, 54: 423-535
- Pavan, S., Jacobsen, E., Visser, R. G., y Bai, Y. 2010. Loss of susceptibility as a novel breeding strategy for durable and broad-spectrum resistance. *Molecular Breeding* 25: 1-12.
- Pérez Parra, J., Gázquez Garrido, J. C., López, J. C., Baeza, E., Meca, D., & Pérez, C. 2012. Tecnología de invernaderos y control biológico, técnicas de cultivo que afectan a la viabilidad del control biológico de los invernaderos de Almería. *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios (CEA)*, 1: 7-26.

- Putman, A. I., y Kaminski, J. E. 2011. Mowing frequency and plant growth regulator effects on dollar spot severity and on duration of dollar spot control by fungicides. *Plant Disease* 95: 1433-1442.
- Rajasekar, N. y Jeyakumar, P. 2014. Differential response of trifloxystrobin in combination with tebuconazole on growth, nutrient uptake and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 7: 87-93.
- Reuveni, R., y Rotem, J. 1973. Epidemics of *Leveillula taurica* on tomatoes and peppers as affected by the conditions of humidity. *Phytopathol. Z.* 76:153-157.
- Reuveni, R., Dor, G. y Reuveni, M. 1998. Local and systemic control of powdery mildew (*Leveillula taurica*) on pepper plants by foliar spray of mono-potassium phosphate. *Crop Protection* 17: 703-709.
- Reuveni, M., Neifeld, D., Dayan, D. y Kotzer, Y. 2007. BM-608-a novel organic product based on essential tea tree oil for the control of fungal diseases in tomato. In II International Symposium on Tomato Diseases pp: 129-132.
- Reuschenbach, P. 1999. Determination of the biodegradability of BAS 500 F in the metric respirometry test according to GLP, EN 45001 and ISO 9002 BASF AG; Ludwigshafen/Rhein; Germany Fed.Rep. 10655
- Saeidi, G., y Sharifnabi, B. 2009. Effect of fungicide application on *Leveillula taurica* (Erysiphales: Erysiphaceae) and agronomic traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 42: 481-488.
- Scharf, J. 1998. Hydrolysis of BAS 500 F at 90°C, 100°C, and 120°C BASF AG, Agrarzentrum Limburgerhof; Limburgerhof; Germany Fed.Rep. 1998/10840
- Shah, P. V., Ray, D. 2008. Pesticide residues in food: Azoxystrobin. United States Environmental Protection Agency, Office of Pesticide Programs, Washington DC, USA; and 2School of Biomedical Sciences, University of Nottingham, Queens Medical Centre, Nottingham, England.
- Shaner, G., y Finney, R. E. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*, 67: 1051-1056.

- SIAP. 2014. Servicio de información agroalimentaria y pesquera [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx) (consulta agosto 2016).
- Singh, G. y Singh, B. 2014. Residue Dynamics and Risk Assessment of Trifloxystrobin and Tebuconazole on Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. American Journal of Environmental Protection 2: 59-63.
- Smith, R., Koike, S., Davis, M., Subbarao, K. y Laemmlen, F. 1999. Several fungicides control powdery mildew in peppers. California Agriculture 3:40-43.
- Stammler, G., Brix, H. D., Nave, B., Gold, R., Schoefl, U., Dehne, H. W. y Lyr, H. 2008. Studies on the biological performance of boscalid and its mode of action. In Modern fungicides and antifungal compounds. International Reinhardtbrunn Symposium, Friedrichroda, Germany. Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft eV Verlag 15: 45-51.
- Steel, R. G., y Torrie, J. H. 1980. Analysis of covariance. Principles and procedures of statistics: A Biometrical Approach, pp: 401-437.
- Stephan, A. 1999. Boscalid: Metabolism of BAS 510 F (14C-diphenyl and 14C-pyridin) in soil under aerobic conditions. BASF AG, Agrarzentrum Limburgerhof; Limburgerhof; Germany Fed. Rep. BASF unpublished report 42381, issued 21.12.1999. 1999/11807.
- Sudha, A., y Lakshmanan, P. 2006. Management of powdery mildew (*Leveillula taurica* (Lev.) Arn.) of chilli with botanicals. Plant Disease Research-Ludhiana 21: 191.
- Tanaka, A. y Fujita, K. 1974. Nutrio-physiological studies on the tomato plant. IV. Source-Sink relationship and structure of the source-sink unit. Soil Science and Plant Nutrition 20: 305-315.
- Tanaka, A., Fujita, K. y Kikuchi, K. 1974. Nutrio-physiological studies on the tomato plant III. Photosynthetic rate of individual leaves in relation to the dry matter production of plants. Soil Science and Plant Nutrition, 20: 173-183.

- Tsitsigiannis, D. I., Antoniou, P. P., Tjamos, S. E. y Paplomatas, E. J. 2008. Major diseases of tomato, pepper and egg plant in green houses. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 2: 106-124.
- USA-EPA. 1997. Azoxystrobin, Pesticide fact sheet, Washington DC: Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances. Available from: [https://www3.epa.gov/pesticides/chem\\_search/reg\\_actions/registration/fs\\_PC-128810\\_07-Feb-97.pdf](https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-128810_07-Feb-97.pdf)
- USA-EPA. 1998. Pesticide fact sheet, cyprodinil. Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances; Washington, D.C
- USA-EPA. 1999. Trifloxystrobin (Chemical: 129112) New Registratin Draft Enviromental Fate Profile/Drinking Water Assessment. Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances.
- USA-EPA. 2003. Boscalid, Pesticide fact sheet, United States of Enviromental Protection Agency. Office of prevention, pesticides and toxic substances.
- USA-EPA. 2013. Tebuconazole; Pesticide Tolerances. Electronic Code of Federal Regulations 73: 68741-68748.
- USA-EPA. 2014. Trifloxystrobin; Pesticide tolerances. Enviromental Protection Agency. Federal register Vol. 79 No. 170.
- Villalobos R. S., P. E. González, G. J. R. A. Dorantes, and M. M. Bobadilla. 2013. Prevención de cenicilla con azufre sublimado en pimiento y tomate en invernadero Folleto Técnico Núm. 24.
- Wang, Y., Cheng, X., Shan, Q., Zhang, Y., Liu, J., Gao, C., y Qiu, J. L. 2014. Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew. *Nature Biotechnology*, 32: 947-951.
- Wheeler, I. E., Hollomon, D. W., Gustafson, G., Mitchell, J. C., Longhurst, C., Zhang, Z. y Gurr, S. J. 2003. Quinoxifen perturbs signal transduction in barley powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*). *Molecular Plant Pathology* 4: 177-186.

- White, T. J., Bruns, T., Lee, S. J. W. T., y Taylor, J. W. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. PCR protocols: a guide to methods and applications. San Diego: Academic Press. 18: 315-322.
- Whitehead, R. 2001. The UK Pesticide Guide 2001. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Wong, F. P. y Wilcox, W. F. 2002. Sensitivity to azoxystrobin among isolates of *Uncinula necator*: Baseline distribution and relationship to myclobutanil sensitivity. Plant Disease 86: 394-404.
- Wolf, J. K., Lowit, M., y Daiss, R. 2009. Risks of myclobutanil use to federally threatened California Red-legged frog. pp 135.
- Wu, Y. X. y von Tiedemann, A. 2002. Impact of fungicides on active oxygen species and antioxidant enzymes in spring barley (*Hordeum vulgare L.*) exposed to ozone. Environmental Pollution 116: 37-47.
- Xiao, S., Charoenwattana, P., Holcombe, L. y Turner, J. G. 2003. The Arabidopsis genes RPW8. 1 and RPW8. 2 confer induced resistance to powdery mildew diseases in tobacco. Molecular Plant-Microbe Interactions 16: 289-294.
- Yanar, Y., Yanar, D. y Gebologlu, N. 2011. Control of powdery mildew (*Leveillula taurica*) on tomato by foliar sprays of liquid potassium silicate (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). African Journal of Biotechnology 10: 3121-3123.
- Ypema, L. H., Ypema, M. y Gubler, D. W. 1997. Sensitivity of *Uncinula necator* to benomyl, triadimefon, myclobutanil and fenarimol in California. Plant Disease 81: 293-297.
- Zarn, J., Davies, L., Boobis, A., 2004. Triadimenol and Triadimefon. Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues (JMPR). <http://apps.who.int/pesticide-residues-jmprdatabase/Document/168>.
- Zhang, Z., Schwartz, S., Wagner, L., and Miller, W. 2000. A greedy algorithm for aligning DNA sequences. Journal of Computational Biology 7:203 – 214.
- Zheng, Z., Nonomura, T., Appiano, M., Pavan, S., Matsuda, Y., Toyoda, H., Wolters, A. A., Visser R. G. F., y Bai, Y. 2013. Loss of function in *Mlo* orthologs reduces

susceptibility of pepper and tomato to powdery mildew disease caused by *Leveillula taurica*. PLoS One 8: 1-14.

Zheng, D., Olaya, G. y Koller, W. 2000. Characterization of laboratory mutants of *Venturia inaequalis* resistant to the strobilurin-related fungicide kresoxim-methyl. Current Opinion in Genetics and Development 35: 148–155.

Zhou, X. G., Y Everts, K. L. 2008. Integrated Management of Gummy Stem Blight of Watermelon by Green Manure and Melcast-scheduled Fungicides. Plant Health Progress, pp: 1-8.