

## EVALUACIÓN DE FUNGICIDAS CONVENCIONALES E INDUCTORES DE RESISTENCIA PARA EL COMBATE DE MILDIÚ VELLOSO (*Pseudoperonospora cubensis*) EN MELÓN (*Cucumis melo*)<sup>1</sup>

William Méndez Leiva\*, Luis Felipe Arauz<sup>2/\*\*</sup>, Rodrigo Ríos<sup>\*\*\*</sup>

**Palabras clave:** Cucurbitáceas, melón, mildiú veloso, *Pseudoperonospora cubensis*, fungicidas, inductores de resistencia vegetal.  
**Keywords:** Cucurbits, melon, downy mildew, *Pseudoperonospora cubensis*, fungicides, plant resistance inducers.

**Recibido:** 23/04/10

**Aceptado:** 16/09/10

### RESUMEN

El mildiú veloso, causado por el oomicete *Pseudoperonospora cubensis* (Berck & Curtis) Rostovtsev, es una de las enfermedades más importantes en el cultivo de melón en Costa Rica. En la presente investigación se estudió el efecto de la aplicación de 2 fungicidas sistémicos convencionales, mfenoxam (1,96 kg i.a.ha<sup>-1</sup>) y dimethomorph (0,45 kg i.a.ha<sup>-1</sup>) y una secuencia de 2 fungicidas protectores, clorotalonil/mancozeb (2,01/1,20 kg i.a.ha<sup>-1</sup>), en combinación con 3 inductores de resistencia, fosfito (1,01 kg i.a.ha<sup>-1</sup>), menadiona bisulfato sódico (MBS) (0,14 kg i.a.ha<sup>-1</sup>), acibenzolar-S-metil (ASM) (0,02 kg i.a.ha<sup>-1</sup>), más un testigo sin fungicida y otro sin inductor, sobre la severidad de la enfermedad en el melón cv 'Ruidera'.

Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el área bajo la curva de progreso de la enfermedad entre los tratamientos fungicidas. La menor severidad se observó con los tratamientos clorotalonil/mancozeb y dimethomorph, en comparación con el mfenoxam. El fosfito fue el único inductor que resultó en diferencias significativas con respecto a los otros inductores y al testigo sin aplicación de inductores. No se determinaron interacciones estadísticamente

### ABSTRACT

**Evaluation of conventional fungicides and disease resistance inducers for the control of downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) on melon (*Cucumis melo*).** Cucurbit downy mildew, caused by the oomycete *Pseudoperonospora cubensis* (Berck & Curtis) Rostovtsev, is one of the most important diseases of melons in Costa Rica. The control of downy mildew by the application of conventional fungicides in combination with resistance inducers was investigated on melon (*Cucumis melo* L.) cv. 'Ruidera'. Two systemic fungicides, mfenoxam (1.96 kg a.i.ha<sup>-1</sup>) and dimethomorph (0.45 kg a.i.ha<sup>-1</sup>), and a sequence of the protectant fungicides chlorothalonil/mancozeb (2.01/1.20 kg a.i.ha<sup>-1</sup>), were applied, by themselves or in combination with application of each of 3 resistance inducers, phosphite (1.01 kg a.i.ha<sup>-1</sup>), menadione sodium bisulphite (MSB, 0.14 kg a.i.ha<sup>-1</sup>) and acibenzolar-S-methyl (ASM, 0.02 kg a.i.ha<sup>-1</sup>). Controls with no fungicides or no inducers were included in the experiment.

Significant differences ( $p < 0.05$ ) in area under the disease progress curve (AUDPC) were observed among fungicides. The lowest values of AUDPC were obtained with the chlorothalonil/

1 Parte de la tesis de Ingeniero Agrónomo del primer autor.  
2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: felipe.arauz@ucr.ac.cr

\* Departamento de Asistencia Técnica y Agricultura BANACOL, Costa Rica.

\*\* Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

\*\*\* Guanadulce S.A. Nandayure. Guanacaste, Costa Rica.

significativas entre los fungicidas y los inductores de resistencia. El tratamiento que mostró la mayor eficiencia en el combate de la enfermedad fue clorotalonil/mancozeb+fosfito, con 4 aplicaciones de fungicidas y 2 del inductor de resistencia. Este tratamiento tuvo un costo económico menor que otros menos eficientes en el combate de la enfermedad.

## INTRODUCCIÓN

El melón (*Cucumis melo* L.) es un importante cultivo de exportación en Costa Rica. El mildiú veloso es una enfermedad causada por el oomicete *Pseudoperonospora cubensis* (Berk. et Curt.) Rost., una de las principales en el cultivo del melón y otras cucurbitáceas (Doubrava y Blake 2004). Ataca principalmente el follaje y reduce la producción, calidad de las frutas y llega a destruir la planta si es infectada en estados tempranos del ciclo de crecimiento (Thomas 1996, Dehne y Oerke 2004). El patógeno requiere alta humedad relativa para esporular, y se disemina por corrientes de aire, y localmente también por salpique de lluvia (Thomas 1996). En presencia de una película de agua en la superficie foliar, y a la temperatura óptima (15 a 24 °C), la infección ocurre rápidamente (Thomas 1996). Bajo condiciones ambientales favorables para la propagación del patógeno y la infección, *P. cubensis* puede arrasarse un lote en un periodo de 3 a 5 días si las medidas de combate son ineficientes (MacNab 2005). Adicionalmente, según el estado fenológico en que se encuentre la planta al momento del ataque, el rendimiento se reduce y en caso de estar en etapa reproductiva, los frutos serán afectados por quemaduras de sol y pérdida de sabor.

La aplicación de productos químicos es la forma de combate más utilizada, ya sea a través de fungicidas protectores, fungicidas sistémicos o la combinación de ambos. Entre los fungicidas

mancozeb sequence, and with dimethomorph. Mefenoxam was not effective. The combination with phosphite improved the efficacy of all the conventional fungicides. No effect in disease control was observed with the application of MSB or ASM, either alone or combined with conventional fungicides. The treatments chlorothalonil/mancozeb and dimethomorph were less expensive than other treatments with lower efficacy.

de contacto recomendados para mildiú veloso y aprobados para uso en melón están el mancozeb, el clorotalonil y los productos a base de cobre (Doubrava y Blake 2004). Entre los fungicidas sistémicos más utilizados para el combate de mildiú veloso están el metalaxil M o mefenoxam, el dimethomorph, las estrobilurinas, el propamocarb y el cyazofamid, los cuales exhiben varios niveles de sistemicidad en la plantas. (Urban y Lebeda 2006).

En años recientes se han desarrollado otros productos que inducen a la planta a activar sus mecanismos de defensa contra las enfermedades (Knight et al. 1997). Algunos de estos productos se han comercializado. Entre ellos están el acibenzolar-S-metil, la menadiona bisulfito de sodio y los fosfitos.

El acibenzolar-S-metil (ASM), es un inductor de resistencia sistémica en muchas plantas que incluye trigo, arroz y tabaco. Su tolerancia y eficacia en el combate de enfermedades en esos cultivos han permitido su comercialización. El ASM no tiene efecto antifúngico y conduce a la acumulación de los mismos genes de resistencia que el ácido salicílico (Gozzo 2003).

Hay muy pocos informes sobre el uso de ASM para el combate de enfermedades en melón. Se ha demostrado que aplicaciones de ASM aumentaron la actividad de las proteínas relacionadas a la patogénesis, quitinasa y peroxidasa, así como algunas respuestas fisiológicas a enfermedades poscosecha en melón tipo Cantaloupe (*C. melo* var. *reticulatus*) (McConchie et al. 2007).

Buzi et al. (2004) observaron que las plántulas de melón tratadas con el ASM y metil jasmonato mostraron resistencia a *Didymella bryoniae* y *Sclerotinia sclerotiorum*. En una combinación de aplicaciones en campo y poscosecha, Huang et al. (2000) demostraron que la aplicación de ASM vía foliar en prefloración combinada con la inmersión del fruto en el fungicida guazatina, disminuyó significativamente las enfermedades causadas por *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Rhizopus* spp. y *Trichothecium* sp., durante el almacenamiento. El fungicida aplicado solo, disminuyó significativamente la infección por *Fusarium* spp., pero tuvo un menor efecto sobre *Alternaria* spp., y *Rhizopus* spp. La disminución de las enfermedades poscosecha mediante la aplicación de ASM se ha asociado con la activación de la peroxidasa (POD), quitinasa (CHT) y la fenilalanina amonio liasa (PAL) (Bi et al. 2006).

Recientemente se ha desarrollado un inductor de resistencia llamado menadiona bisulfito (MBS, compuesto a base de vitamina K<sub>3</sub>), comercializado con el nombre de ACT-2. Existen muy pocos informes de investigaciones sobre el efecto de este producto sobre los cultivos. Uno de ellos fue realizado por Borges et al. (2003) en plantas de banano, las cuales, al ser tratadas con MBS previo a la inoculación con el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense, que causa la enfermedad conocida como mal de Panamá, eran capaces de acelerar y aumentar la acumulación de fitoalexinas, y demostró así su capacidad como activador de resistencia al reforzar los mecanismos defensivos de la planta (Borges et al. 2004). Más recientemente, Liu et al. (2006) determinaron que los pretratamientos con ASM y MBS en hojas de *Brassica napus* retrasaron la aparición de lesiones producidas por *Leptosphaeria maculans*, así como la disminución del área de las lesiones, tanto en hojas pretratadas (efecto local) y hojas no tratadas (efecto sistémico). No se encontraron trabajos sobre el efecto de la MBS en enfermedades de melón.

Los fosfitos y fosetyl-Al son productos sistémicos que actúan contra oomicetes, El ácido fosforoso tiene efecto directo sobre los

oomicetes, al inhibir un proceso parcial (fosforilación oxidativa) en el metabolismo de los oomicetes. También hay evidencia que sugiere que el ácido fosforoso tiene efecto indirecto sobre las respuestas defensivas naturales de las plantas contra el ataque de un patógeno (Brunings et al. 2005).

El objetivo del presente estudio fue determinar la eficacia algunos de los fungicidas convencionales usados más frecuentemente en el combate de mildiú veloso, en combinación con aplicaciones de productos inductores de resistencia. Un ensayo similar se llevó a cabo en la temporada melonera (época seca) del 2007, en el cual no se presentaron condiciones para el desarrollo de la enfermedad. En vista de lo anterior, y con el fin de tener las condiciones ambientales de mayor presión de inóculo, el presente ensayo se desarrolló en época lluviosa, la cual no es una época de producción comercial de melón de exportación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue realizado en la Finca GuanaDulce S.A., ubicada en la localidad de Pavones del Cantón de Nandayure, Provincia de GuanaDulce de agosto a octubre de 2007.

La preparación del terreno fue realizada por los trabajadores de la finca bajo el mismo sistema de producción para los lotes en época comercial. Dado las condiciones de época lluviosa, no fue necesario irrigar. El ensayo se ubicó en un suelo de textura franco-arenosa con buen drenaje.

La variedad utilizada fue Ruidera, melón del tipo "Piel de Sapo" registrado por Nunhems®. El almácigo fue sembrado el 16 de agosto y las plántulas fueron trasplantadas el 29 de agosto.

El área total del experimento fue de 2475 m<sup>2</sup> distribuido en 14 calles de siembra distanciadas a 1,7 m entre sí. La longitud de las calles fue de 104 m. El área productiva fue de 1456 m lineales con 0,5 m de distanciamiento entre cada planta.

Los productos inductores de resistencia fueron los siguientes:

1. Menadiona Bisulfito Sodio: (ACT-2<sup>®</sup>, compuesto del grupo 2-metil-1,4-naftoquinona (4% p/p), prolina (11% p/p), glicina (10% p/p), alanina (6% p/p), vitamina K (4% p/p), Menadiona S.L).
2. Fosfito (Multiprotek<sup>®</sup> 0-26-37+30 HPO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Haifa Chemicals).
3. Acibenzolar-S-metil, o ASM (ACIS 50 WG<sup>®</sup>, Syngenta Crop Protection).
4. Testigo sin inductor.

Los fungicidas convencionales utilizados en el ensayo fueron los siguientes:

1. Mefenoxan (Ridomil Gold Mz 68 PH<sup>®</sup>, Syngenta Crop Protection).
2. Clorotalonil (Bravonil 72 SC<sup>®</sup>, Syngenta Crop Protection)/mancozeb (Dithane NT 80<sup>®</sup>, Dow AgroScience).
3. Dimethomorph (Acrobat CT 60 SC<sup>®</sup>, BASF).
4. Testigo sin fungicida.

Las dosis e intervalos de aplicación se realizaron según las indicaciones técnicas para cada producto comercial, según las especificaciones de las etiquetas.

Las dosis de producto comercial, y de ingrediente activo, y la cantidad de aplicaciones se muestran en el Cuadro 1.

En todas las aplicaciones se utilizó bomba de espalda manual de 18 l, se inició a primeras horas de la mañana y se realizó una cobertura completa del follaje.

La cronología de los tratamientos se presenta en el Cuadro 2. Las fechas de aplicación de los tratamientos se muestran días después de trasplante (ddt), a partir del jueves 30 de agosto de 2007 como el día 1. Los días 13, 23, 28, 35, 36, 42 después de trasplante corresponden a las fechas: 11, 21 y 26 de setiembre y 03, 04 y 10 de octubre de 2007.

El inicio de las aplicaciones de los fungicidas convencionales se determinó una vez que hubo presencia en campo de los primeros síntomas. El inicio de las aplicaciones de los inductores de resistencia se realizó a partir del ataque del patógeno y según las recomendaciones técnicas para cada producto comercial y continuó de acuerdo a una calendarización programada, debido a la condición de precipitación diaria y humedad relativa mayor de 70%.

Cuadro 1. Dosis de fungicidas e inductores de resistencia para el combate de mildiú vellosa (*Pseudoperonospora cubensis* (Berck & Curtis) Rostovtsev) en melón.

| Ingrediente activo    | Dosis PC Kg o l.ha <sup>-1</sup> | Dosis i.a. Kg.ha <sup>-1</sup> | Dosis i.a. g o ml.l <sup>-1</sup> agua | Nº. de aplicaciones ciclo |
|-----------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|
| MBS                   | 0,4                              | 0,14                           | 0,70                                   | 2                         |
| Fosfito               | 3,5                              | 1,05                           | 2,63                                   | 2                         |
| ASM                   | 0,04                             | 0,02                           | 0,05                                   | 2                         |
| Mefenoxam             | 2,875                            | 1,96                           | 4,89                                   | 3                         |
| Clorotalonil/mancozeb | 2,785/1,5                        | 2,01/1,20                      | 5,01/6,00                              | 3/1                       |
| Dimethomorph          | 0,75                             | 0,45                           | 2,25                                   | 3                         |

PC: Producto comercial; i.a.: Ingrediente activo.

Cuadro 2. Detalle de los tratamientos y las fechas de aplicaciones para el ensayo de evaluación de fungicidas e inductores de resistencia para el combate de mildiú veloso (*Pseudoperonospora cubensis* (Berck & Curtis) Rostovtsev) en melón.

| Tratamientos*<br>(fungicida convencional-inductor) | Fecha de aplicación de Tratamientos (ddt) |            |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------|
|                                                    | Fungicidas                                | Inductores |
| 1. Clorotalonil/mancozeb-fosfito                   | 13, 23, 28, 36                            | 28, 42     |
| 2. Dimethomorph-fosfito                            | 13, 23, 36                                | 28, 42     |
| 3. Clorotalonil/mancozeb-ASM                       | 13, 23, 28, 36                            | 23, 35     |
| 4. Clorotalonil/mancozeb-TSI                       | 13, 23, 28, 36                            | -          |
| 5. Mefenoxan-fosfito                               | 13, 23, 36                                | 28, 42     |
| 6. Clorotalonil/mancozeb-MBS                       | 13, 23, 28, 36                            | 28, 42     |
| 7. Dimethomorph-ASM                                | 13, 23, 36                                | 23, 35     |
| 8. Dimethomorph-MBS                                | 13, 23, 36                                | 28, 42     |
| 9. Dimethomorph-TSI                                | 13, 23, 36                                | -          |
| 10. Mefenoxan-ASM                                  | 13, 23, 36                                | 23, 35     |
| 11. Mefenoxan-MBS                                  | 13, 23, 36                                | 28, 42     |
| 12. TSF-fosfito                                    | -                                         | 28, 42     |
| 13. Mefenoxan-TSI                                  | 13, 23, 36                                | -          |
| 14. TSF-TSI                                        | -                                         | -          |
| 15. TSF-MBS                                        | -                                         | 28, 42     |
| 16. TSF-ASM                                        | -                                         | 23, 35     |

\*ASM: Acibenzolar-S-metil; TSI: Tratamiento sin Inductor; MBS: Menadiona Bisulfito Sodio; TSF: Tratamiento sin Fungicida; ddt: días después de trasplante.

## Evaluación de la enfermedad

Las evaluaciones iniciaron a partir de los 17 ddt (16 de setiembre), es decir, 4 días después de la primera aplicación de fungicidas (11 de setiembre). Las siguientes evaluaciones continuaron a los 23, 28, 35, 41, 49 ddt, correspondientes a las fechas 21 y 26 de setiembre, 3, 9 y 17 de octubre, respectivamente.

La severidad del mildiú veloso fue evaluada como porcentaje de área foliar enferma, con ayuda de un diagrama visual que representaba porcentajes de 1, 5, 10, 30 y 60. Mediante la observación minuciosa en el campo, se registró de forma precisa el porcentaje de severidad para cada hoja evaluada.

La evaluación consistió en la anotación del valor del porcentaje de severidad en cuadros diseñados para ese fin, en donde, se escogieron aleatoriamente 25 hojas de melón ubicadas en la calle central de cada parcela experimental.

Los datos correspondientes a los porcentajes de severidad de las 25 hojas fueron

promediados para obtener un único valor de cada unidad experimental para cada fecha de evaluación. Los valores de severidad de las diferentes fechas se utilizaron para obtener el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) (Arauz 1998).

## Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar con un arreglo de tratamientos factorial 4x4 en fajas, para un total de 16 tratamientos con 5 repeticiones. La unidad experimental consistió en 3 calles contiguas de 5 m cada una, para un total de 30 plantas. El uso de este diseño permitió utilizar parcelas grandes para evaluar tanto los fungicidas como los inductores, lo cual ayudó a evitar la deriva del producto en parcelas adyacentes que fuesen pequeñas, y por otro lado, a facilitar la conducción del experimento con aplicaciones periódicas los productos en pocas parcelas de gran tamaño para evitar errores en la ubicación de los tratamientos. Echandi C.

Estación Experimental Fabio Baudrit, Universidad de Costa Rica. Comunicación personal.

### Análisis estadístico

Los datos de ABCPE fueron sometidos a un análisis de varianza mediante el programa estadístico INFOSTAT (Versión 1.0 Universidad de Córdoba, Argentina, 2001). Se aplicó la prueba de diferencia mínima significativa (DMS, Alfa=0,05) para comparar el efecto de los inductores de resistencia, fungicidas convencionales y la interacción entre ellos sobre las variables evaluadas.

### RESULTADOS

La Figura 1 muestra las curvas de progreso de mildiú veloso para cada uno de los tratamientos. El ABCPE varió significativamente ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos con fungicidas convencionales y entre tratamientos con inductores. No se encontró interacción estadísticamente significativa entre fungicidas e inductores, lo cual significa que el efecto de los fungicidas fue independiente de la acción de los inductores. Al respecto, se observó una tendencia general, independiente del inductor, en cuanto al orden de severidad

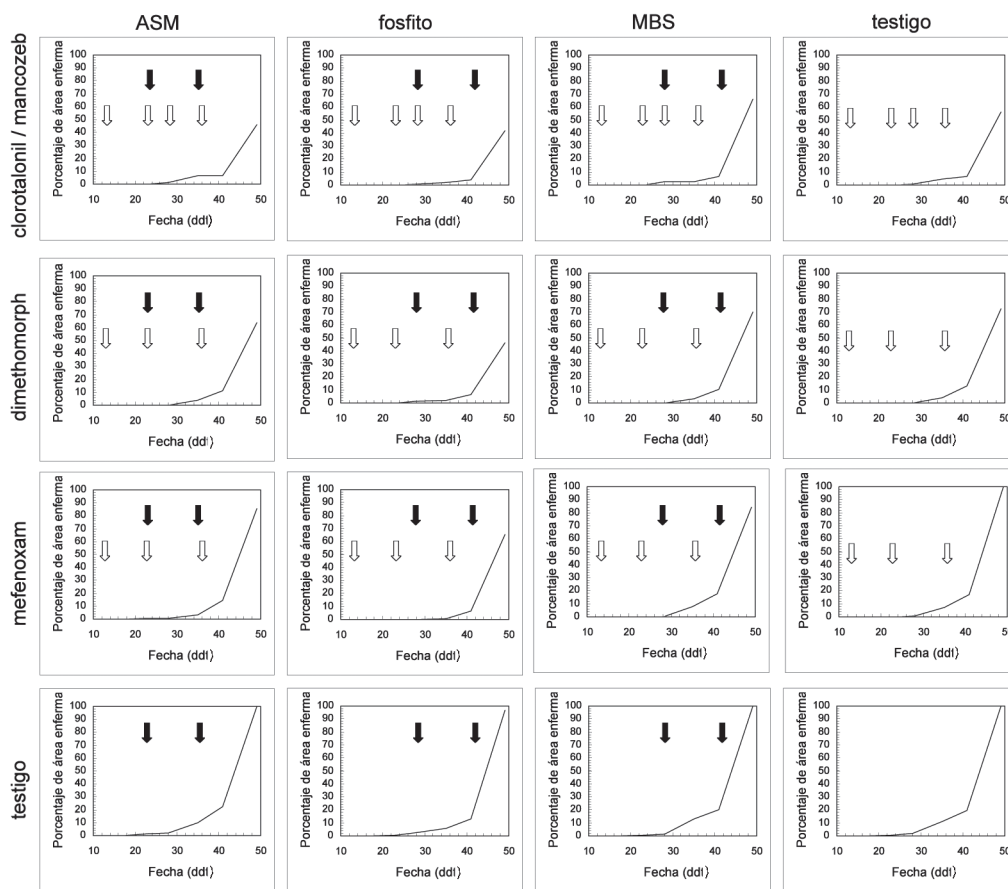


Fig. 1. Efecto de 3 inductores de resistencia (ASM, fosfito y MBS) y 3 tratamientos fungicidas (alternancia clorotalonil/mancozeb, dimethomorph y mfenoxam) sobre el desarrollo del mildiú veloso (*P. cubensis*) en follaje de melón a lo largo del tiempo. Las flechas negras indican los momentos de aplicación de los inductores, las blancas los momentos de aplicación de los fungicidas.



observado con los diferentes tratamientos fungicidas: clorotalonil/mancozeb<dimethomorph<mefenoxam<testigo sin fungicida.

Hubo diferencias significativas ( $p<0,05$ ) en los promedios de ABCPE para los tratamientos fungicidas correspondientes a clorotalonil/mancozeb y a dimethomorph (Cuadro 3), en comparación con el mefenoxam, el cual resultó en la mayor severidad entre los fungicidas. En cuanto a los tratamientos con los inductores de resistencia, el fosfito resultó en diferencias significativas en el ABCPE con respecto a los otros inductores (Cuadro 4). Los tratamientos con ASM y el MBS fueron estadísticamente similares al testigo sin inductor.

Se realizó un análisis de varianza con las combinaciones fungicida-inductor como tratamientos individuales; se determinó que la mejor combinación de tratamientos fue la correspondiente al clorotalonil/mancozeb-fosfito, encontrándose diferencias significativas con respecto al ABCPE obtenida con otras combinaciones, según

Cuadro 3. Promedio del área bajo la curva de progreso de la enfermedad para cada uno de los tratamientos con fungicidas (efectos principales).

| Fungicida             | Promedio ABCPE |
|-----------------------|----------------|
| Clorotalonil/mancozeb | 286,92 a*      |
| Dimethomorph          | 348,57 a       |
| Mefenoxam             | 469,26 b       |
| Testigo               | 609,55 c_      |

\* Letras distintas indican diferencias significativas ( $p\leq 0,05$ ).

Cuadro 4. Promedio del área bajo la curva de progreso de la enfermedad para cada uno de los tratamientos con inductores de resistencia sistémica (efectos principales).

| Inductor | Promedio ABCPE |
|----------|----------------|
| Fosfito  | 329,06 a*      |
| ASM      | 439,45 b       |
| MBS      | 467,03 b       |
| Testigo  | 478,74 b_      |

\* Letras distintas indican diferencias significativas ( $p\leq 0,05$ ).

se observa en el Cuadro 5. Este análisis permitió establecer que el fosfito mejoró significativamente la eficacia de los fungicidas dimethomorph y mefenoxam. En el caso del tratamiento clorotalonil+mancozeb, se observó una menor ABCPE al combinarlo con la aplicación de fosfito, pero esta diferencia no fue estadísticamente significativa. La misma tendencia se presentó al

Cuadro 5. Promedio de las áreas bajo la curva de progreso de la enfermedad obtenidas con las combinaciones de fungicida convencional e inductor de resistencia evaluadas para el combate de mildiú vellosa en melón.

| Tratamientos (fungicida-inductor) | Promedio ABCPE |
|-----------------------------------|----------------|
| Clorotalonil/mancozeb-fosfito     | 215,69 a*      |
| Dimethomorph-fosfito              | 250,76 ab      |
| Clorotalonil/mancozeb-ASM         | 284,98 abc     |
| Clorotalonil/mancozeb-Testigo     | 306,25 abc     |
| Mefenoxam-fosfito                 | 314,90 abc     |
| Clorotalonil/mancozeb-MBS         | 340,75 abcd    |
| Dimethomorph-ASM                  | 356,71 abcd    |
| Dimethomorph-MBS                  | 375,58 bcde    |
| Dimethomorph-Testigo              | 411,24 cdef    |
| Mefenoxam-ASM                     | 472,92 defg    |
| Mefenoxam-MBS                     | 515,38 efgh    |
| Testigo-fosfito                   | 534,91 fgh     |
| Mefenoxam-Testigo                 | 573,82 gh      |
| Testigo-Testigo                   | 623,66 h       |
| Testigo-MBS                       | 636,43 h       |
| Testigo-ASM                       | 643,19 h       |

\* Letras distintas indican diferencias significativas ( $p\leq 0,05$ ).

comparar el tratamiento sin fungicida ni fosfito y el tratamiento sin fungicida con fosfito.

Al considerar las evaluaciones en cada fecha, en todos los tratamientos la severidad de la enfermedad fue baja a los 17, 23 y 28 ddt. El mayor incremento en la severidad se observó a partir de los 35 ddt (Figura 1). Se observó una tendencia general, independiente del inductor, en cuanto al orden de severidad observado con los diferentes tratamientos fungicidas: clorotalonil/mancozeb<dimethomorph<mefenoxam<testigo sin fungicida.

Los Cuadros 6 y 7 muestran el costo de las aplicaciones por producto y el costo de los

Cuadro 6. Desglose del número de aplicaciones realizadas para cada uno de los fungicidas e inductores de resistencia y su costo económico\* (en colones).

| Fungicidas   | Total de aplicaciones | Costo de una aplicación | Costo total de las aplicaciones |
|--------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Mefenoxam    | 3                     | ¢ 47 487,00             | ¢ 142 461,00                    |
| Clorotalonil | 3                     | ¢ 26 608,00             | ¢ 79 824,00                     |
| mancozeb     | 1                     | ¢ 6 397,00              | ¢ 6 397,00                      |
| Dimethomorph | 3                     | ¢ 17 368,00             | ¢ 52 104,00                     |
| Inductores   | Total de aplicaciones | Costo de una aplicación | Costo total de las aplicaciones |
| MBS          | 2                     | ¢ 8 420,00              | ¢ 16 840,00                     |
| Fosfito      | 2                     | ¢ 11 394,00             | ¢ 22 788,00                     |
| ASM          | 2                     | ¢ 32 855,00             | ¢ 65 710,00                     |

\*Datos de fuentes consultadas.

Cuadro 7. Costo económico de cada uno de los 16 tratamientos realizados en el ensayo (en colones).

| Tratamientos (Fungicida-inductor) | Costo por hectárea |
|-----------------------------------|--------------------|
| Clorotalonil/mancozeb-fosfito     | ¢ 109 009,00       |
| Dimethomorph-fosfito              | ¢ 74 892,00        |
| Clorotalonil/mancozeb-ASM         | ¢ 151 931,00       |
| Clorotalonil/mancozeb-TSI         | ¢ 86 221,00        |
| Mefenoxam-fosfito                 | ¢ 165 249,00       |
| Clorotalonil/mancozeb-MBS         | ¢ 103 061,00       |
| Dimethomorph-ASM                  | ¢ 117 814,00       |
| Dimethomorph-MBS                  | ¢ 68 944,00        |
| Dimethomorph-TSI                  | ¢ 52 104,00        |
| Mefenoxam-ASM                     | ¢ 208 171,00       |
| Mefenoxam-MBS                     | ¢ 159 301,00       |
| TSF-fosfito                       | ¢ 22 788,00        |
| Mefenoxam-TSI                     | ¢ 142 461,00       |
| TSF-TSI                           | ¢ -                |
| TSF-MBS                           | ¢ 16 840,00        |
| TSF-ASM                           | ¢ 65 710,00        |



tratamientos aplicados en el presente experimento, respectivamente. Los tratamientos en que se aplicó clorotalonil/mancozeb y en los que se aplicó dimethomorph tuvieron un costo menor que cuando se aplicó mfenoxam, además de una eficacia mayor (Cuadro 3).

Las evaluaciones llegaron hasta los 49 ddt debido al anegamiento del terreno donde estaba el ensayo entre los días 45 y 49 ddt ocasionado por las intensas precipitaciones. Ante ese hecho, no se llegó a cuantificar la producción. Además los datos de severidad en la fecha 49 ddt llegaron a 100% en varios tratamientos, particularmente en los testigos sin fungicidas. Debido a esos factores no se realizaron más evaluaciones.

## DISCUSIÓN

Que no se encontraran diferencias estadísticas en la interacción entre los fungicidas y los inductores de resistencia, significa que el efecto de los inductores fue independiente del efecto de los diferentes fungicidas. Para cada inductor, la eficacia de los fungicidas siguió el siguiente orden de mayor a menor eficacia: clorotalonil/mancozeb>dimethomorph>mfenoxam>testigo sin fungicida.

Los fungicidas clorotalonil/mancozeb y dimethomorph aplicados sin combinarlos con aplicaciones de inductores, dieron como resultado una menor severidad con respecto al testigo sin inductores. El mfenoxam no fue diferente del testigo.

La baja eficacia del mfenoxam, a pesar de ser un fungicida ampliamente utilizado para el combate de mildiús velosos podría estar ligada a una pérdida de sensibilidad en la población del patógeno. El mfenoxam presenta resistencia cruzada con el metalaxyl (Urban y Lebeda 2007). Se ha encontrado resistencia de *P. cubensis* a metalaxyl en otros países (Urban y Lebeda 2007). En Costa Rica, se ha encontrado resistencia a metalaxyl en mildiú veloso en vid (Araya 1999) y en *Phytophthora infestans* en papa (Páez et al. 2001).

Al analizar el efecto general de los productos inductores de resistencia (Cuadro 4), se

observa que el fosfito fue el único inductor que resultó en niveles significativamente menores de enfermedad. La eficiencia del fosfito en este ensayo al combatir al patógeno *P. cubensis* en plantas de melón del tipo piel de sapo no ha sido informada por otros autores previamente; sin embargo, la eficacia de los fosfonatos en el combate de oomycetes está bien documentada. Por ejemplo, el fosfito ha mostrado ser efectivo contra *P. nicotianae* y *P. palmivora* en tabaco y papaya respectivamente, contra *P. cactorum* en fresas, el mildiú veloso en uvas y mildiú veloso en lechuga (Brunings et al. 2005, Brown et al. 2004). Sin embargo, en el presente experimento en general el efecto del fosfito fue de mejorar la eficacia de los fungicidas convencionales, ya que el fosfito solo no se diferenció significativamente del testigo sin fungicida ni inductor (Cuadro 5). El análisis estadístico de los tratamientos individuales permitió detectar un efecto diferencial del fosfito que no se detectó en el análisis inicial, posteriormente en la estructura factorial de los tratamientos, ya que la aplicación de este producto resultó en reducciones significativas en el ABCPE en cuando se combinó con la aplicación de mfenoxam o dimethomorph, pero no cuando se aplicó clorotalonil+mancozeb o cuando no se aplicó ningún fungicida convencional. En ese sentido, se observó que aplicados solos, ni el fosfito ni el mfenoxam redujeron la enfermedad con respecto al testigo, pero la combinación de ambos sí la redujo significativamente.

En el presente trabajo, se utilizó un producto que contiene fosfito y fosfato, que se promueve como fertilizante e inductor de resistencia al mismo tiempo. Al respecto, se ha informado de que existe una inhibición competitiva entre ambos aniones, fosfato y fosfito (Smillie et al. 1989), de manera que la presencia de fosfito puede causar una deficiencia de fósforo (Thao et al. 2008). Por otra parte, Förster et al. (1998) observaron una menor eficacia en el combate de *Phytophthora capsici* en chile cuando se aplicaron juntos fosfato y fosfito que cuando se aplicó fosfito solo. Este antagonismo podría explicar en

parte la baja eficacia del fosfito en el presente experimento.

Existe amplia evidencia sobre la efectividad del ASM contra gran variedad de enfermedades causadas por hongos (Smith-Becker et al. 2003, Vallad y Goodman 2004), oomicetes (Pérez et al. 2003), bacterias (Louws et al. 2000) y virus (Pappu et al. 2000, Smith-Becker et al. 2003) en experimentos de campo. Sin embargo, en el presente ensayo no se observó un efecto beneficioso del ASM en el combate de mildiú vellosa en melón. En este estudio las aplicaciones de ASM se iniciaron a los 23 ddt, según la recomendación del fabricante para melón, mientras que en los estudios citados, las aplicaciones se iniciaron antes. Por ejemplo, Pérez et al. (2003) iniciaron las aplicaciones de ASM a los 7 ddt, y encontraron reducciones significativas del moho azul del tabaco, causado por el oomicete *Pero-*nospora hyoscyami* f. sp. *tabacina*.*

Otro factor que pudo haber influido en la eficacia de los inductores de resistencia (ASM, MBS y fosfito) fue la condición climática en que se llevó a cabo el presente experimento, donde la alta precipitación causó un exceso de agua en el suelo y un posible estrés a las plantas de melón, lo cual a su vez tendría un impacto negativo sobre la expresión de los mecanismos de defensa. Al respecto, se postula que las plantas frecuentemente deben asignar los recursos a las defensas y crecimiento vegetativo para asegurar el éxito reproductivo y puede haber demandas competitivas entre el crecimiento y la defensa por recursos energéticos de la planta (Simms 1992), de manera que en condiciones de estrés energético la expresión de los mecanismos de defensa puede verse disminuida (Kogan 1986). Al respecto, Vallad y Goodman (2004) señalan que el estado de crecimiento de la planta influye en la eficiencia de la resistencia sistémica adquirida por ASM. También el momento de aplicación de los inductores es importante (Walling 2001). Vallad y Goodman (2004) señalan que los inductores son inefectivos una vez que el patógeno se ha establecido.

En muchos casos la resistencia sistémica inducida por ASM no ha sido tan efectiva para

combatir enfermedades específicas como el uso de fungicidas comunes, y es necesario alternar o combinar el ASM con un producto fungicida para reducir la enfermedad a un nivel comparable a los métodos de combate usados generalmente, así como para combatir otras enfermedades no influenciadas por la resistencia adquirida sistémica (Vallad y Goodman 2004). En general, la inducción de resistencia no es un método único para el combate de enfermedades y plagas, sino que debe combinarse con otras prácticas de combate como la resistencia genética, las prácticas culturales, el combate biológico y, a menudo, el uso reducido de plaguicidas (Walling 2001, Vallad y Goodman 2004, Urban y Lebeda 2006).

Bajo las condiciones de este experimento, las recomendaciones de los diferentes fabricantes con respecto a los momentos de aplicación no permitieron un buen combate de la enfermedad. Estas recomendaciones deberían iniciarse a partir de una aplicación más temprana de los inductores y una aplicación oportuna de los fungicidas convencionales.

Debido a que el experimento no se llevó hasta la cosecha, por las condiciones climáticas expuestas, no fue posible establecer una relación beneficio-costos; se consideraron únicamente los costos de los tratamientos y se determinó que el mejor tratamiento para el combate de mildiú vellosa tiene un costo de ₡ 109 009,00 por ha, lo cual es inferior al costo de otros tratamientos menos eficientes.

## LITERATURA CITADA

- ARAUZ L. 1998. Fitopatología: un enfoque agroecológico. Editorial Universidad de Costa Rica. 1ª ed. 467 p.
- ARAYA E. 1999. Determinación de la resistencia in vitro en *Plasmopora viticola* a cuatro fungicidas. Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 45 p.
- BI Y., GE Y., LI Y., WANG J., MIAO X., LI X. 2006. Postharvest acibenzolar-S-methyl treatment suppresses decay and induced resistance in hami melons. *Acta Horticulturae* 712:393-400.

- BORGES A., BORGES-PEREZ A., FERNANDEZ-FALCON M. 2003. Effect of menadione sodium bisulfite, an inducer of plant defenses on the dynamic of banana phytoalexin accumulation during pathogenesis. *J. Agric. Food Chem.* 51:2326-2328.
- BORGES A., BORGES-PEREZ A., FERNANDEZ-FALCON M. 2004. Induced resistance to Fusarial wilt banana by menadione sodium bisulfite treatments. *Crop Protection.* 23:1245-1247.
- BROWN S., KOIKE S., OCHOA O., LAEMMLEN F., MICHELMORE F. 2004. Insensitivity to the fungicide Fosetyl-Aluminum in California isolates of the lettuce downy mildew pathogen, *Bremia lactucae*. *Plant Dis.* 88:502-508.
- BRUNINGS A.M., DATNOFF L.E., SIMONNE E.H. 2005. Phosphorous acid and phosphoric acid: when all P sources are not equal. Consultado en 2010. Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/HS/HS25400.pdf>.
- BUZI A., CHILOSI G., DESILLO D., MAGRO P. 2004. Induction of resistance in melon to *Didymella bryoniae* and *Sclerotinia sclerotiorum* by seed treatments with acibenzolar-S-methyl and methyl jasmonate but not with salicylic acid. *Journal of Phytopathology* 152:34-42.
- DEHNE H., OERKE E. 2004. Effect of downy mildew development on transpiration of cucumber leaves visualized by digital infrared thermography. *Phytopathology* 95:233-240.
- DOUBRAVA N., BLAKE H., KEINATH A.P. 2007. Cucumber, squash, melon and other cucurbit diseases. Consultado el 28 de setiembre de 2010. Disponible en: <http://hgic.clemson.edu/>.
- FÖRSTER H., ADASKAVEG J.E., KIM D.H., STANGHELLINI M.E. 1998. Effect of phosphite on tomato and pepper plants and on susceptibility of pepper to *Phytophthora* root and crown rot in hydroponic culture. *Plant Disease* 82:1165-1170.
- GOZZO F. 2003. Systemic acquired resistance in crop protection: from nature to a chemical approach. *J. Agric. Food Chem.* 51:4487-4503.
- HUANG Y., DEVERALL B., TANG W., WANG W., WU F. 2000. Foliar application of acibenzolar-S-methyl and protection of postharvest rock melons and hami melons from diseases. *European Journal of Plant Pathology* 106:651-656.
- KNIGHT S.C., ANTHONY V.M., BRADY A.M., GREENLAND A.J., HEANEY S.P., MURRAY D.C., POWELL K.A., SCHULZ M.A., SPINKS C.A., WORTHINGTON P.A., YOULE D. 1997. Rationale and perspectives on the development of fungicides. *Annu. Rev. Phytopathol.* 35:349-72.
- KOGAN M. 1986. Plant defense strategies and host plant resistance, pp. 83-134. In: M. Kogan (ed.). *Ecological Theory and Integrated Pest Management Practice*. New York, NY, EE. UU, Wiley.
- LIU S., LIU Z., FITT B., EVANS N., FOSTER S., HUANG Y., LATUNDE-DADA A., LUCAS J. 2006. Resistance to *Leptosphaeria maculans* (phoma stem canker) in *Brassica napus* (oilseed rape) induced by *L. biglobosa* and chemical defense activators in field and controlled environments. *Plant Pathology.* 55:401-412.
- LOUWS F.J., WILSON M., CAMPBELL H.L., CUPPELS D.A., JONES J.B., SHOEMAKER P.B., SAHIN F., MILLER S.A. 2001. Field control of bacterial spot and bacterial speck of tomato using a plant activator. *Plant Disease* 85:481-488.
- MACNAB A. 2005. Cucurbit downy mildew warning. In: <http://erie.extension.psu.edu>.
- MCCONCHIE R., MCDONALD K., ANWARAL B., MORRIS S. 2007. Systemic acquired resistance as a strategy for disease management in rockmelon (*Cucumis melo* var. *reticulatus*). In: III International Symposium on Cucurbits. *Acta Horticulturae* 731:205-210.
- PÁEZ O., GÓMEZ L., BRENES A., VALVERDE R. 2001. Resistencia de aislamientos de *Phytophthora infestans* al metalaxyl en el cultivo de papa en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 25(1):33-44.
- PAPPU H.R., CSINOS A.S., MCPHERSON R.M., JONES D.C., STEPHENSON M.G. 2000. Effect of acibenzolar-S-methyl and imidacloprid on suppression of tomato spotted wilt *Tospovirus* in flue-cured tobacco *Crop Protection* 19:349-354.
- PEREZ L., RODRÍGUEZ M.E., RODRÍGUEZ F., ROSÓN C. 2003. Efficacy of acibenzolar-S-methyl, an inducer of systemic acquired resistance against tobacco blue mould caused by *Peronospora hyoscyami* f. sp. *tabacina*. *Crop Protection* 22:405-413.
- SIMMS E.L. 1992. Costs of plant resistance to herbivory, pp. 392-425. In: R.M. Fritz y E.L. Simms (eds.). *Plant Resistance to Herbivores and Pathogens: Ecology,*

- Evolution and Genetics. Chicago, IL, EE. UU. University of Chicago Press.
- SMILLIE R., GRANT B., GUEST D. 1989. The mode of action of phosphite: evidence for both direct and indirect modes of action on three *Phytophthora* spp. in plants. *Phytopathology* 79:921-926.
- SMITH-BECKER J., KEEN N.T., BECKER J.O. 2003. Acibenzolar-S-methyl induces resistance to *Colletotrichum lagenarium* and cucumber mosaic virus in cantaloupe. *Crop Protection* 22:769-774.
- THAO H., YAMAKAWA T., MYINT A., SARR P. 2008. Effects of phosphite, a reduced form of phosphate, on the growth and phosphorous nutrition of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Soil Science and Plant Nutrition* 54:761-768. (Abtr.).
- THOMAS C.E. 1996. Downy mildew, pp. 25-27. In: T.A. Zitter, D.L. Hopkins y C.E. Thomas. *Compendium of Cucurbit Diseases*. St. Paul, MN, EE.UU. APS Press.
- URBAN J., LEBEDA A. 2006. Fungicide resistance in cucurbit downy mildew—methodological, biological and population aspects. *Ann. Appl. Biol.* 149:63-75.
- URBAN J., LEBEDA A. 2007. Variation in fungicide resistance in Czech populations of *Pseudoperonospora cubensis*. *Journal of Phytopathology* 155:143-151.
- VALLAD G.E., GOODMAN R.M. 2004. Systemic acquired resistance and induced systemic resistance in conventional agriculture. *Crop Science* 44:1920-1934.
- WALLING L.L. 2001. Induced resistance: from the basic to the applied. *Trends in Plant Science* 6:445-447.