

Efecto del acibenzolar S-metil en la marchitez vascular (*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*) de la sandía

Effect of acibenzolar S-methyl on vascular wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*) of watermelon

Irene Iliana Ramírez-Bustos¹ , Ernesto Fernández-Herrera^{2*} , Hugo Saldarriaga-Noreña³ ,
Carmen Isela Ortega-Rosas⁴ , Mari Carmen López-Pérez⁵ 

¹Ingeniería en Horticultura, Universidad Estatal de Sonora, Unidad Académica Hermosillo, Av. Ley Federal del Trabajo, s/n, CP. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

²Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora, Carr. Bahía de Kino, Km. 21. Apartado postal 305. Hermosillo, Sonora, México.

³Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Avenida Universidad 1001, Colonia Chamilpa, CP. 62209. Cuernavaca, Morelos, México.

⁴Licenciatura en Ecología, Universidad Estatal de Sonora, Unidad Académica Hermosillo, Av. Ley Federal del Trabajo, s/n, CP. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

⁵Universidad Estatal de Sonora, Unidad Académica Navojoa, Blvd., Manlio Fabio Beltrones, Col. Bugambilias, Sonora, México.

*Autor de correspondencia: ernesto.fernandez@unison.mx

Artículo científico

Recibido: 16 de agosto 2024

Aceptado: 30 de julio 2025

RESUMEN. La marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (*Fon*) es la principal enfermedad fúngica del cultivo de la sandía. El acibenzolar-S-metil (ASM) es un inductor de las defensas de las plantas, la cual es efectiva contra enfermedades provocadas por virus, bacterias y hongos. En el presente estudio, se evaluó el efecto del ASM en el crecimiento micelial, la germinación de esporas y en la reducción de la severidad de la marchitez causada por *Fon1*, así como, su toxicidad en plantas de sandía. La inoculación del hongo se realizó cuatro días después de la aplicación, vía riego y foliar, del ASM a concentraciones de 15, 20, 30 y 40 mg L⁻¹ en plántulas con dos hojas verdaderas de la variedad Sugar Baby, la cual no tiene genes de resistencia a *Fon*. Los resultados *in vitro* mostraron que el ASM tiene efecto directo en la germinación de esporas y el crecimiento micelial de *Fon1*. También, la aplicación del inductor en las plantas de sandía redujo significativamente ($P < 0.05$) la severidad de la marchitez causada por *Fusarium*. La aplicación vía riego del inductor de defensa (15 mg L⁻¹), fue más eficaz que la aplicación foliar, ya que redujo en 100% la severidad de la marchitez causada por *Fon1* en las plantas de sandía. La dosis de 30 y 40 mg L⁻¹ causaron síntomas de toxicidad, ya que las plantas mostraron significativamente menor altura, número de hojas y peso fresco aéreo, en comparación con las plantas no inoculadas y sin tratar.

Palabras clave: *Fon1*, ASM, marchitez por *Fusarium*, severidad, toxicidad.

ABSTRACT. Vascular wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (*Fon*) is the main fungal disease of watermelon crops. Acibenzolar-S-methyl (ASM) is an inducer of plant defenses, which is effective against diseases caused by viruses, bacteria and fungi. In the present study, the effect of ASM on mycelial growth, spore germination and the reduction of the severity of wilting caused by *Fon1*, as well as its toxicity in watermelon plants was evaluated. The inoculation of the fungus was carried out four days after the application, via irrigation and foliar, of the ASM at concentrations of 15, 20, 30 and 40 mg L⁻¹ in seedlings with two true leaves of the Sugar Baby variety, which does not have *Fon* resistance genes. *In vitro* results showed that ASM has a direct effect on spore germination and mycelial growth of *Fon1*. Also, the application of the defense inducer in watermelon plants significantly reduced ($P < 0.05$) the severity of wilt caused by *Fusarium*. The application via irrigation of the defense inducer (15 mg L⁻¹) was more effective than the foliar application, since it reduced the severity of wilting caused by *Fon1* in watermelon plants by 100%. The doses of 30 and 40 mg L⁻¹ caused toxicity symptoms, since the plants showed significantly lower height, number of leaves and fresh aerial weight, compared to non-inoculated and untreated plants.

Key words: *Fon1*, ASM, *Fusarium* wilt, severity, toxicity.

Como citar: Ramírez-Bustos II, Fernández-Herrera E, Saldarriaga-Noreña H, Ortega-Rosas CI, López-Pérez MC (2025) Efecto del acibenzolar S-metil en la marchitez vascular (*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*) de la sandía. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 12(2): e4260. DOI: 10.19136/era.a12n2.4260.

INTRODUCCIÓN

En México el cultivo de la sandía es importante por la mano de obra que genera y el valor de su producción que asciende a 5 365 millones de pesos. En nuestro país, los principales estados productores de sandía son Sonora, Veracruz y Jalisco, que acumulan cerca del 50% de la producción nacional (1 134 016 t); el estado de Sonora, ocupa actualmente el primer lugar a nivel nacional con 318 593 t (SIAP 2023). No obstante, el rendimiento y calidad de este cultivo se ve afectado severamente por la marchitez causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (*Fon*), que es la principal enfermedad fúngica de la sandía en todo el mundo. Esta enfermedad pueda causar pérdidas de alrededor del 30-80% o incluso más, en campos altamente infestados donde se cultivan variedades susceptibles (Egel y Martyn 2007, Rahman *et al.* 2021).

Los síntomas que causa *Fon* en plantas afectadas son coloración verde claro en hojas, pérdida de turgencia, clorosis o marchitez generalizada (o de un solo lado de la planta), menor crecimiento de la planta, necrosis o decoloración del tejido vascular y muerte de plantas (Fernández-Herrera *et al.* 2021); las plantas que no mueren crecen poco y producen pocos frutos y más pequeños. El manejo de la marchitez por *Fusarium* es difícil debido a que este patógeno puede sobrevivir por largos períodos en el suelo como clamidospora (Everts *et al.* 2014), y su control se ha enfocado principalmente en el uso de injertos y variedades con resistencia, rotación de cultivos y fungicidas. Esta enfermedad se ha convertido en las últimas dos décadas en un problema emergente en todo el mundo, pues las prácticas de producción de sandías están cambiando, debido la reducción obligatoria del uso de bromuro de metilo, la expansión y aparición de nuevas razas de *Fon*, así como, la elección por cultivar sandías triploides (sin semillas), las cuales son preferidas por los consumidores, y tienen poca o nula resistencia a la marchitez por *Fon* (Everts y Himmelstein 2015). *F.o.* f. sp. *niveum* tiene cuatro razas (0, 1, 2 y 3) y la única que ha sido reportada en México es la raza 1 (Vargas-Arispuro *et al.* 2023), la cual es considerada la más preponderante en las áreas productoras de sandías en el mundo (Rahman *et al.* 2021).

Hoy en día, la presión pública sobre los residuos de agroquímicos en los alimentos y el ambiente, ha obligado a la búsqueda de alternativas seguras y eficientes para el tratamiento de las enfermedades en los cultivos agrícolas (Ishii *et al.* 1999, Quiróz-López *et al.* 2021). En este sentido, el uso de inductores de resistencia de amplio espectro, como el acibenzolar-S-metil (ASM), es un enfoque prometedor para el manejo de las enfermedades de las plantas. El ASM es un análogo sintético del ácido salicílico, que induce la resistencia sistémica adquirida (RSA), la cual es efectiva contra enfermedades causadas por virus, bacterias y hongos (Malolepsza 2006, Ito *et al.* 2024). Este compuesto ayuda a las plantas a expresar los mecanismos de defensa de la RSA (especies reactivas de oxígeno-ROS, fitoalexinas y proteínas relacionadas con patogénesis-PRs), además de que esta estrategia no contamina el ambiente (Ishii *et al.* 2018). El ASM ha suprimido algunas enfermedades ocasionadas por *Fusarium* en cultivos como ciclamen y gladiolo (Elmer 2004, 2006). No obstante, el uso del ASM para el manejo de la marchitez vascular causada por *Fusarium* en el cultivo de la sandía ha sido poco estudiada. Con base en lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivos evaluar la efectividad del acibenzolar S-metil en el crecimiento micelial, la germinación de esporas y en la severidad de la marchitez vascular causada por *F. oxysporum* f. sp. *niveum* raza 1 en plántulas de sandía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del hongo fitopatógeno

Para este trabajo se utilizó un aislamiento de F.o. f. sp. *niveum* raza 1 (Fon1, UESFON03), obtenido de una planta de sandía que presentaba síntomas de marchitez y necrosis vascular, ubicado en la Costa de Hermosillo, Sonora. El hongo se aisló en medio PDA y se identificó molecularmente a nivel de raza con primers específicos, y pruebas de patogenicidad en cultivares diferenciales de sandía (Vargas-Arispuro *et al.* 2023).

Efecto de acibenzolar-S-metil sobre el crecimiento micelial de *Fon1*

Se evaluó el efecto *in vitro* de acibenzolar-S-metil (Syngenta) en el crecimiento micelial de *Fon1* acorde a lo descrito por Yao y Tian (2005) y Quiróz-López *et al.* (2021). El acibenzolar S-metil se adicionó al medio PDA antes de vaciarse en las cajas de Petri. Las concentraciones finales de acibenzolar-S-metil en el medio PDA fue de 15, 20, 30 y 40 mg L⁻¹. Un disco de medio PDA de 9 mm de diámetro con *Fon1*, se colocó en el centro de cada caja Petri y se incubó a 28 °C. El diámetro del crecimiento de la colonia se determinó a las 96 y 168 h después de la incubación; cada tratamiento constó de cuatro replicas y el experimento completo se realizó dos veces.

El efecto de acibenzolar-S-metil en la inhibición del crecimiento micelial de *Fon1* se evaluó con la siguiente fórmula:

$$\text{Inhibición micelio} = \frac{\text{diámetro colonia testigo} - \text{diámetro colonia tratamiento}}{\text{diámetro colonia testigo} - 9 \text{ mm}} \times 100$$

Efecto de acibenzolar-S-metil sobre la germinación de esporas de *Fon1*

El efecto fungitóxico del ASM se evaluó en medio líquido Caldo Papa Dextrosa (CPD) acorde con lo descrito por Quiróz-López *et al.* (2021). Para esto alícuotas de 1 mL de una suspensión conidial del patógeno se adicionaron a tubos de ensayo (150 mm x 10 mm) con 5 mL de CPD, para obtener una concentración final de 5 x 10⁵ conidias mL⁻¹. Los tubos con medio CPD tuvieron una concentración final de 15, 20, 30 y 40 mg L⁻¹ de ASM. Tubos con medio CPD sin ASM e inoculados con *Fon1* se utilizaron como tratamiento testigo. Todos los tubos se colocaron en un agitador orbital a 150 rpm a temperatura ambiente durante 24 horas. Cada tratamiento constó de cinco repeticiones y se evaluó 100 esporas del patógeno por repetición. Las esporas se consideraron germinadas cuando presentaron emisión del tubo germinativo, independientemente de su longitud.

Preparación del inóculo

La inoculación de *Fon* raza 1 en las plantas de sandía, se realizó mediante el método de grano de trigo colonizado por el hongo. Para la realización de este método se seleccionaron granos de trigo en buen estado (100 g) y se colocaron en un matraz de 250 mL, se hidrataron con 100 mL de agua destilada durante 24 horas, para después esterilizarlos a 121 °C durante 1 hora en autoclave, en dos ocasiones distintas. Una vez esterilizados los granos, se agregaron tres trozos de ~1 cm de medio PDA con crecimiento de *Fon1* y se incubó el matraz a 28 °C durante 10 días.

Efecto de ASM sobre la severidad de la marchitez causada por *Fon1*

Semillas de la variedad Sugar Baby se sembraron en macetas (13 cm de diámetro por 10 cm de alto) con sustrato esterilizado. Las macetas con las plantas de sandía (una planta por maceta) se crecieron en condiciones controladas a una temperatura de 29 ± 2 °C y una humedad relativa de 70-80%, y riegos cada tercer día (40 mL de agua por planta). Cada planta de sandía en etapa de dos hojas verdaderas se inoculó con 2 granos de trigo colonizados por *Fon* raza 1; un grano a cada lado de la planta. La inoculación se realizó enterrando, a 1 cm de profundidad, el grano de trigo en el sustrato a 2 cm de distancia de la base de la planta. El ASM se aplicó de dos maneras distintas, vía foliar y por riego; la aplicación foliar se realizó con la aspersion de ASM a concentraciones de 15, 20, 30 y 40 mg L⁻¹ hasta cubrir el follaje de cada planta, mientras que, la aplicación vía riego se realizó con 40 mL, por maceta, con soluciones de ASM a las mismas concentraciones que la aplicación foliar. El ASM se aplicó tres veces (cada siete días) a partir de que las plantas presentaron la primera hoja verdadera; la primera aplicación se realizó cuatro días antes de la inoculación con el hongo. Se contó con dos tratamientos testigos; plantas de sandía tratadas sólo con agua (sin ASM y sin hongo) y plantas inoculadas únicamente con el hongo (sin ASM). Se tuvieron seis tratamientos (4 concentraciones y dos testigos) y cada tratamiento constó de 15 repeticiones en un diseño completamente al azar. El estudio completo se realizó dos veces (experimento 1 y experimento 2) bajo condiciones experimentales similares, sólo que, en el segundo experimento, con la finalidad de evaluar la toxicidad del ASM en el crecimiento de las plantas, también se evaluaron las variables de altura, número de hojas y peso fresco aéreo de las plantas.

Medición de la severidad de la enfermedad

El índice de severidad de la enfermedad se evaluó a los 28 días después de la inoculación de *Fon* en las plantas, usando la escala de evaluación propuesta por Grattidge y O'Brien (1982) y Amini y Sidovich (2010): 0 = 0-24% de hojas amarillas o marchitas; 1 = 25-49% de hojas amarillas o marchitas; 2 = 50-74% de hojas amarillas o marchitas; 3 = 75-99% de hojas amarillas o marchitas; 4 = planta muerta.

Fórmula para determinar severidad:

$$\text{Severidad enfermedad (\%)} = \frac{\sum n}{N \times 4} \times 100$$

Dónde: $\sum n$ = la suma de los rangos individuales; N = número total de plantas medidas; 4 = valor más alto de la escala de severidad.

Análisis estadístico

El efecto del acibenzolar-S-metil en el crecimiento micelial, germinación de esporas y severidad de la marchitez causada por *Fon1*, y en el crecimiento de las plántulas de sandía, se analizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) y una comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$) utilizando el paquete estadístico R.

RESULTADOS

Efecto del ASM en la germinación de esporas y el crecimiento micelial de *F. o. f. sp. niveum*

Se observó que el ASM redujo en 10 a 22.6% la germinación de esporas de *Fon1*, en comparación al tratamiento testigo, después de 24 horas de incubación (Tabla 1). La concentración de 40 mg L⁻¹ de ASM fue la que mostró el menor porcentaje de germinación, lo cual contrastó significativamente con el 90.8% de esporas germinadas del tratamiento testigo. Así mismo, para la variable del crecimiento micelial, hubo un efecto fungitóxico del ASM sobre el hongo a los tiempos evaluados en este estudio (Figura 1). A los cuatro días de crecimiento en PDA, *Fon1* mostró decrementos de 6.2 y 14.2% con las dosis de 30 y 40 mg L⁻¹ de ASM, respectivamente, las cuales fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$) en comparación con el tratamiento testigo (*Fon1*). A los siete días, el menor crecimiento fúngico de *Fon1* se mantuvo con las dosis de 30 y 40 mg L⁻¹, con decrementos de 12 y 13%, respectivamente, en comparación con las cajas testigos.

Tabla 1. Efecto de ASM en la germinación de *Fon1* a las 24 horas después de la inoculación en medio líquido caldo papa dextrosa.

Tratamiento	Germinación de esporas (%)
ASM 15 mg L ⁻¹	80.8 b
ASM 20 mg L ⁻¹	74.8 bc
ASM 30 mg L ⁻¹	73 c
ASM 40 mg L ⁻¹	68.2 c
<i>Fon1</i>	90.8 a

Valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey, $p < 0.05$). ASM = acibenzolar S-metil; *Fon1* = *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* raza 1.

Efecto del ASM en la severidad de *F. o. f. sp. niveum*

Los primeros síntomas del marchitamiento en las plantas de sandía, ocurrieron a los 10 días después de la inoculación (ddi) con el hongo en el tratamiento testigo (sólo con *Fon*). En los dos ensayos realizados, la aplicación del inductor de defensa ASM redujo la severidad causada por *Fusarium* 28 ddi en comparación con las plantas testigo (sólo con *Fon1*), las cuales tuvieron una severidad del 100% a los 21 ddi. En general, se observó que la aplicación de ASM vía riego, tuvo los mayores rangos de reducción de la severidad, en comparación con las dosis aplicadas vía foliar, en ambos experimentos.

En el experimento 1, la aplicación vía riego del ASM, mostró ser más eficaz para reducir la severidad por *Fon* en las plantas de sandía, en comparación con la aplicación vía foliar; ya que mostró rangos de reducción de la enfermedad de 84 al 100%, siendo la mejor dosis 15 mg L⁻¹, pues las plantas no mostraron síntomas de clorosis o marchitez (índice de severidad de 0), en comparación con las plantas inoculadas (Tabla 2). En contraste, cuando el ASM se aplicó vía foliar, la dosis de 15 mg L⁻¹ mostró la mayor severidad de la enfermedad, incluyendo muerte de plantas.

No obstante, al incrementar la dosis de ASM a 20, 30 y 40 mg L⁻¹ la severidad se redujo en 72, 90 y 77%, respectivamente, en comparación con las plantas testigo inoculadas.

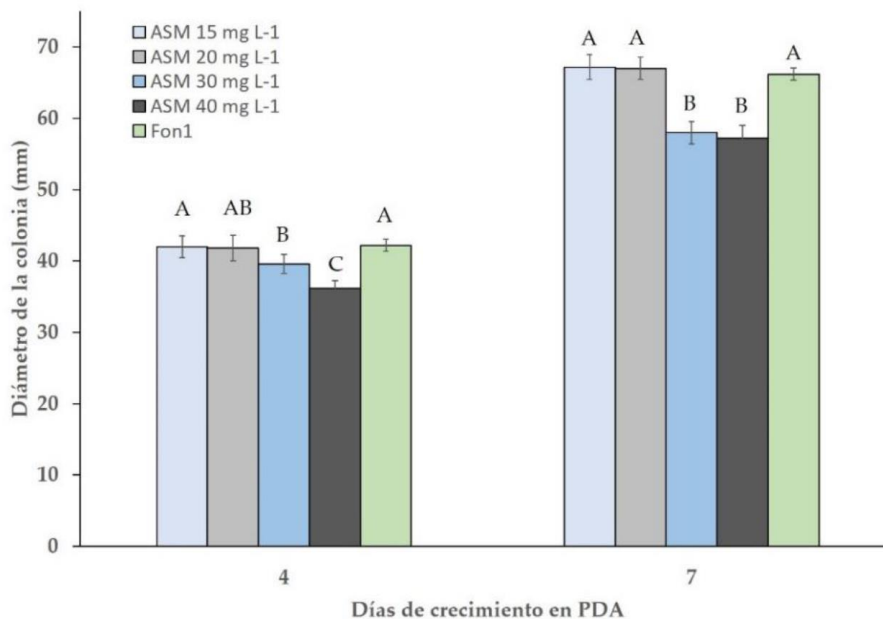


Figura 1. Efecto de concentraciones de acibenzolar S-metil en el crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* raza 1 en medio PDA a los 4 y 7 días después de incubación a 28 °C. La barra en cada columna representa la desviación estándar de los datos del tratamiento. Columnas con la misma letra en cada tiempo de evaluación son iguales estadísticamente (Tukey, $p < 0.05$)

En el experimento 2, la mayor reducción de la severidad se obtuvo, otra vez, con la aplicación de ASM vía riego con rangos de 82 al 100% (Tabla 3). Para la aplicación foliar, se observó que a mayor concentración de ASM, mayor es la reducción de la severidad, pues a 15 mg L⁻¹ de ASM se obtuvo 10.5% de severidad, mientras que a 40 mg L⁻¹ la severidad fue de 67.5%, en comparación con las plantas inoculadas con *Fon*, las cuales tuvieron 100% de severidad a los 21 ddi (Figura 2). En contraste, las plantas sin ASM y no inoculadas, no mostraron síntomas de clorosis o marchitez durante el desarrollo del experimento (Figura 2). En este experimento, se observó fitotoxicidad en las plantas de sandía con las dosis altas de ASM (30 y 40 mg L⁻¹), la cual se vio reflejada significativamente ($P < 0.05$) en menor altura, número de hojas y peso fresco aéreo de las plantas, en comparación con las plantas no inoculadas y sin tratar con ASM. En este sentido, es importante resaltar que la dosis de 15 mg L⁻¹ en aplicación vía riego, fue la más efectiva para reducir la severidad de la marchitez causada por *Fon*, además en esta dosis, las plantas no manifestaron daños por fitotoxicidad, ni hubo diferencias significativas para las variables altura, números de hojas y peso fresco, con respecto a las plantas testigo no tratadas y sin inocular (Tabla 3).

Tabla 2. Experimento 1. Efecto de la aplicación de cuatro dosis de ASM (mg L⁻¹) en la severidad de la marchitez vascular por *Fusarium* en plantas de sandía a los 28 ddi.

Tratamiento (ASM mg L ⁻¹)	Índice de severidad*		% de reducción de la marchitez (eficacia)	
	AF	AR	AF	AR
15	2 b	0 a	48.5	100
20	1.1 bc	0.4 a	72	90
30	0.2 c	0.1 a	90	94.5
40	0.8 bc	0.3 a	77	84
Testigo SH	0 a	0 a	---	---
Testigo CH	4c	4 b	---	---

SH – Testigo sin hongo, CH – Testigo con hongo. ddi - días después de la inoculación. AF- aplicación foliar, AR- aplicación vía riego. Valores de medias dentro de una misma columna con diferentes letras indican diferencias significativas entre los tratamientos de acuerdo a Tukey ($P = 0.05$). * Escala de severidad: 0: 0-24% de hojas amarillas o marchitas; 1: 25-49% de hojas amarillas o marchitas; 2: 50-74% de hojas amarillas o marchitas; 3: 75-99% de hojas amarillas o marchitas; 4: 100% de hojas machitas o planta muerta.

Tabla 3. Experimento 2. Efecto de la aplicación de dosis de ASM en la severidad de la marchitez vascular por *Fusarium* y en el crecimiento de plantas de sandía a los 28 ddi.

Tratamiento ASM (mg L ⁻¹)	Índice de severidad*		% de reducción de la marchitez (eficacia)		Variables de crecimiento en aplicación vía riego		
	AF	AR	AF	AR	Altura (cm)	Número de hojas	Peso fresco (g)
15	3.5 bc	0 a	10.5	100	19.65 a	7.9 a	1.7 a
20	2 ab	0.3 a	50	82	20.05 a	7.1 bc	1.66 a
30	2.3 bc	0.2 a	40.5	90	11.5 b	6.4 cd	1.11 b
40	0.2 ab	0 a	67.5	99	12.25 b	6.3 d	1.22 b
Testigo SH	0 a	0 a	---	---	19.95 a	7.6 ab	1.89 a
Testigo CH	4 c	4 b	---	---	---	---	---

SH – Testigo sin hongo, CH – Testigo con hongo. ddi - días después de la inoculación. AF- aplicación foliar, AR- aplicación vía riego. Valores de medias dentro de una misma columna con diferentes letras indican diferencias significativas entre los tratamientos de acuerdo a Tukey ($P \leq 0.05$). * Escala de severidad: 0: 0-24% de hojas amarillas o marchitas; 1: 25-49% de hojas amarillas o marchitas; 2: 50-74% de hojas amarillas o marchitas; 3: 75-99% de hojas amarillas o marchitas; 4: 100% de hojas amarillas, machitas o planta muerta.



Figura 2. Efecto de la aplicación de ASM en la severidad de la marchitez vascular causada por *F. oxysporum* f. sp. *niveum* raza 1 en plantas de sandía. A) Testigo sin *Fon1*, sin tratar, B) Testigo con *Fon1*, sin tratar, C) dosis foliar de 15 mg L⁻¹ de ASM e inoculadas con *Fon1*, D) dosis vía riego de 15 mg L⁻¹ de ASM e inoculadas con *Fon1*, E) dosis foliar de 20 mg L⁻¹ de ASM e inoculadas con *Fon1*, F) dosis vía riego de 20 mg L⁻¹ de ASM e inoculadas con *Fon1*, G) dosis foliar de 30 mg L⁻¹ de ASM e inoculadas con *Fon1*, H) dosis vía riego de 30 mg L⁻¹ de ASM e inoculadas con *Fon1*, I) dosis foliar de 40 mg L⁻¹ de ASM e inoculadas con *Fon1*, J) dosis vía riego de 40 mg L⁻¹ de ASM e inoculadas con *Fon1*.

DISCUSIÓN

Efecto del ASM en la germinación de esporas y el crecimiento micelial de *Fon1*

La reducción de la germinación de esporas y del crecimiento micelial de *Fon1* con las dosis de ASM evaluadas en este estudio, sugiere que este producto no sólo estimula las defensas de las plantas de sandía asociadas con la RSA, sino que también, afecta directamente el crecimiento fúngico de este hongo. En este sentido, diversos estudios han reportado que el efecto tóxico directo del ASM en contra de patógenos varía en función del tipo de patógeno y la dosis evaluada. Nuestros resultados concuerdan con los reportados por Amini (2015), quien señala que las concentraciones de 5, 50, 100 y 500 mg L⁻¹ de ASM reducen significativamente el crecimiento micelial de *Verticillium dahliae* en 5.4, 11.2, 15.4 y 16.9%, respectivamente, en comparación con el tratamiento testigo. Así mismo, Faessel *et al.* (2008) reportan que las dosis de 5, 40, 80 y 500 mg de ASM, reducen significativamente en 5, 34, 36 y 40%, respectivamente, el crecimiento micelial de *Rhizoctonia solani* AG-4 en comparación con el tratamiento testigo. Además, Bussabong *et al.* (2021) reportan una reducción del crecimiento micelial de *Curvularia eragrostidis* de 41.5%, con la dosis de 5 mM, en comparación con el tratamiento testigo. No obstante, otros autores como Felipini *et al.* (2015) y Costa *et al.* (2017) señalan que el ASM (50 mg L⁻¹ y 250 mg L⁻¹, respectivamente) no afectó el crecimiento micelial de *Cercospora beticola* o *Colletotrichum lindemuthianum*, sugiriendo que el ASM actúa principalmente como un inductor de la defensa de las plantas y que no tiene efecto tóxico directo en contra de estos patógenos. De igual forma, Zhang *et al.* (2011) reportan que la dosis de 30 mg L⁻¹ no afectó el crecimiento micelial de *P. capsici*. Mientras que Ishii *et al.* (1999) señalan que sólo *Didymella bryoniae* mostró sensibilidad al ASM en dosis bajas (2 mg L⁻¹), en comparación a *Colletotrichum cucumerinum*, *C. lagenarium*, *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*, *Corynespora cassicola*, *Venturia nashicola*, *A. alternata* y *B. cinerea*, los cuales no mostraron reducción del crecimiento micelial a esta misma dosis. Por lo anterior, se sugiere que el ASM tiene un efecto fungitóxico directo hacia *Fon1*, pues en este estudio se observó menor germinación de esporas y crecimiento micelial del hongo con las dosis de ASM evaluadas.

Efecto del ASM en la severidad de *Fon1*

Los resultados de este estudio indican que el ASM aplicado en el riego o las hojas, reduce la severidad de la marchitez causada por *Fon* en las plantas de sandía, lo que sugiere que el ASM puede representar una opción viable para su uso en los programas de manejo integrado de la marchitez por *Fusarium*. El efecto protector del ASM contra diferentes enfermedades o patógenos se ha reportado en cultivos como chile serrano (*Capsicum annuum*) para la marchitez causada por *Phytophthora capsici* (Cosme-Velázquez *et al.* 2015), en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) para la virosis causada por potyvirus y el tizón tardío causado por *Phytophthora infestans* (Mejía *et al.* 2009, Castaño-Monsalve *et al.* 2015), en trigo (*Triticum aestivum* L.) para la cenicilla causada por *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (Santos *et al.* 2018), en jitomate (*Solanum lycopersicum*) para la mancha bacteriana causada por *Xanthomonas* spp. (Pontes *et al.* 20016), en pepino (*Cucumber* sp.) para el control de la cenicilla y el mildiu causado por *Podosphaera xanthii* y *Pseudoperonospora cubensis* (Ishii *et al.* 2018), entre otros cultivos. En el cultivo de sandía, el uso del ASM para el manejo de la marchitez vascular por *Fusarium* se ha estudiado muy poco; entre estos trabajos resalta el de Everts *et al.* (2014), quienes señalan que la aplicación vía riego del ASM reduce la marchitez causada por

Fusarium en el cultivo de la sandía, tanto en condiciones de invernadero como en campo. En nuestro estudio, la aplicación de ASM redujo significativamente la severidad causada por *Fon1* e incluso, para la dosis de 15 mg L⁻¹ en aplicación riego, las plantas no presentaron síntomas de marchitez o clorosis característicos de la enfermedad después de 28 ddi con el hongo, lo cual contrastó con las plantas inoculadas, las cuales habían muerto 21 ddi. Lo anterior sugiere que los mecanismos de defensa relacionados con la RSA fueron expresados en las plantas de sandía como respuesta a la aplicación del ASM. Hasta donde sabemos, los mecanismos de defensa que son expresados por la aplicación del ASM en plantas de sandía durante la interacción con *F. o. f. sp. niveum* son desconocidos. No obstante, en interacciones de otros cultivos y patógenos, la aplicación de ASM induce la expresión de proteínas PR's (β -1,3 glucanasas, quitinasas, peroxidadas) y fenoles totales durante la interacción de chicharo (*Pisum sativum*)-*Uromyces pisi* (Barilli *et al.* 2010), quitinasas en la interacción soya (*Glycine max* cv. Amphor)-*Rhizoctonia solani* AG-4 (Faessel *et al.* 2008), cierre de estomas asociado al incremento de ROS en la interacción de rábano japonés (*Rhaphanus sativus* var. *longipinnatus*)-*Pseudomonas cannabina* pv. *alisalensis* (Sakata *et al.* 2020), fenil alanina amonio liasa, peroxidadas y β -1,3 glucanasas durante la interacción banana (*Musa acuminata* L.)-*Curvularia eragrostidis* (Bussabong *et al.* 2021), entre otros mecanismos.

En este estudio, la aplicación de las dosis de 30 y 40 mg L⁻¹ de ASM vía riego, causó toxicidad en las plantas de sandía, haciendo que estas tuvieran menor altura, número de hojas y menor peso fresco aéreo, en comparación con las plantas no tratadas y sin inocular. En concordancia con nuestros resultados, diversos autores han documentado que la aplicación de ASM en plantas puede provocar daños en los tejidos o efectos adversos en el crecimiento y desarrollo de las plantas; por ejemplo, en chile serrano se observó una disminución del peso seco de la parte aérea, número de hojas, altura y lesiones en hojas (Cosme-Velázquez *et al.* 2015), en tomate de árbol se observó hojas deformadas, con ampollas, amarillamiento y una disminución de la altura y desarrollo de las plantas (Mejía *et al.* 2009, Castaño-Monsalve *et al.* 2015), en tabaco provoca manchas foliares y enanismo de las plantas (Mandal *et al.* 2008), en ciclamen redujo la biomasa seca de la planta, aunque no afectó la cantidad y número de flores (Elmer 2006), entre algunos otros síntomas de fitotoxicidad en otros cultivos. En este estudio, se corrobora que la aplicación de ASM en plantas de sandía reduce significativamente la marchitez vascular causada por *Fusarium*, lo cual podría ser una alternativa prometedora y ecológica para el manejo de esta enfermedad, pues los inconvenientes asociados con el uso indiscriminado de fungicidas, como el desarrollo de resistencia a fungicidas y la contaminación ambiental, se reducen al mínimo, pues es menos probable que los patógenos superen fácilmente los mecanismos de defensa de la RSA inducida por el ASM (Ishii *et al.* 2018).

CONCLUSIONES

En condiciones *in vitro*, se observó que el acibenzolar S-metil redujo el crecimiento micelial y la geminación de esporas de *F. oxysporum* f. sp. *niveum* raza 1, por lo que se sugiere, que este producto tiene un efecto tóxico directo en contra de este hongo. En planta, la aplicación de ASM redujo la severidad de *Fon1*. Sin embargo, la aplicación vía riego mostró ser más eficaz para reducir la

severidad de la marchitez por *Fusarium*, en comparación a la aplicación foliar, y las plantas tratadas sólo con el hongo. La dosis de 15 mg L⁻¹ de ASM redujo 100% la marchitez causada por *Fusarium* y no causó síntomas de toxicidad en las plantas de sandía. Las dosis de 30 y 40 mg L⁻¹ de ASM causaron síntomas de toxicidad en las plantas, lo cual se vio reflejado en menor altura, número de hojas y menor peso fresco aéreo. Finalmente, se puede concluir que ASM podría significar una alternativa más para el manejo de la marchitez por *Fusarium* en el cultivo de la sandía.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés.

LITERATURA CITADA

- Amini J (2015) Induced resistance in potato plants against verticillium wilt invoked by chitosan and acibenzolar-S-methyl. *Australian Journal of Crop Science* 9(6): 570-576.
- Amini J, Sidovich DF (2010) The effects of fungicides on *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* associated with Fusarium wilt of tomato. *Journal of Plant Protection Research* 50(2): 172-178. <https://doi.org/10.2478/v10045-010-0029-x>
- Barilli E, Prats E, Rubiales D (2010) Benzothiadiazole and BABA improve resistance to *Uromyces pisi* (Pers.) Wint. in *Pisum sativum* L. with an enhancement of enzymatic activities and total phenolic content. *European Journal of Plant Pathology* 128: 483-493. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9678-x>
- Bussabong N, Tongsri V, Songkumarn P (2021) Salicylic acid and acibenzolar-S-methyl induce disease resistance to banana leaf spot caused by *Curvularia eragrostidis*. *Agriculture and Natural Resources* 55: 826-837. <https://doi.org/10.34044/j.anres.2021.55.5.13>
- Castaño-Monsalve J, Ramírez-Gil JG, Patiño-Hoyos LF, Morales-Osorio JG (2015) Alternativa para el manejo de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary en *Solanum betaceum* Cav. mediante inductores de resistencia. *Revista de Protección Vegetal* 30(3): 204-212.
- Cosme-Velázquez Y, Guzmán-Plazola RA, Sandoval-Islas S, Corona-Torres T, Mendoza-Pérez D (2015) Efecto del acibenzolar S-metil en plantas de chile serrano (*Capsicum annuum*) infectadas con *Phytophthora capsici* en diferentes edades. *Revista Mexicana de Fitopatología* 33: 156-172.
- Costa BHG, Monteiro ACA, Botelho DMS, Resende MLV, Junior PMR, da Silva BM (2017) Potassium phosphites in the protection of common bean plants against anthracnose and biochemical defense responses. *Journal of Phytopathology* 166(2): 95-102. <https://doi.org/10.1111/jph.12665>
- Egel DS, Martyn RD (2007) Fusarium wilt of watermelon and other cucurbits. *The Plant Health Instructor*, 07. <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2007-0122-01>.
- Elmer WH (2004) Effect of fungicides and combinations of biologicals and acibenzolar-S-methyl on *Fusarium* rot of gladiolus. *Biological and Cultural Tests for Control of Plant Diseases* 19: O007.
- Elmer WH (2006) Effects of acibenzolar-S-methyl on the suppression of *Fusarium* wilt of cyclamen. *Crop protection* 25(7): 671-676. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.09.010>
- Everts KL, Egel DS, Langston D, Zhou XG (2014) Chemical management of *Fusarium* wilt of watermelon. *Crop Protection* 66: 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.09.003>
- Everts KL, Himmelstein JC (2015) Fusarium wilt of watermelon: towards sustainable management of a re-emerging plant disease. *Crop Protection* 73: 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.02.019>

- Faessel L, Nassr N, Lebeau T, Walter B (2008) Effects of the plant defense Inducer, acibenzolar S-methyl, on hypocotyl rot of soybean caused by *Rhizoctonia solani* AG-4. *Journal of Phytopathology* 156(4): 236-242. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2007.01367.x>
- Felipini RB, Luiz C, Costa MEB, Di Piero RM (2015) Mode of action of chitosan and ASM for the control of *Cercospora* leaf spot on table beet. *Tropical Plant Pathology* 40: 176-183. <https://doi.org/10.1007/s40858-015-0029-5>
- Fernández-Herrera E, González-Soto TE, Ramírez-Bustos II (2021) The *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*: causal agent of vascular withering of watermelon. *Agro Productividad* 14(05): 57-63 <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i05.1924>
- Grattidge R, O'Brien RG (1982) Occurrence of a third race of *Fusarium* wilt of tomatoes in Queensland. *Plant Disease* 66(2): 165-166. <https://doi.org/10.1094/PD-66-165>
- Ishii H, Fujiwara M, Nishimura K (2018) Systemic resistance inducer acibenzolar -S- methyl (ASM) and its microencapsulated formulations: their long-lasting control efficacy against cucumber diseases and mitigation of phytotoxicity. *Pest Management Science* 75(3): 801-808. <https://doi.org/10.1002/ps.5181>
- Ishii H, Tomita Y, Horio T, Narusaka Y, Nakazawa Y, Nishimura K, Iwamoto S (1999) Induced resistance of acibenzolar-S-methyl (CGA 245704) to cucumber and Japanese pear diseases. *European Journal of Plant Pathology* 105: 77-85. <https://doi.org/10.1023/A:1008637828624>
- Ito S, Sakugawa K, Novianti F, Arie T, Komatsu K (2024) Local application of acibenzolar-S-methyl treatment induces antiviral responses in distal leaves of *Arabidopsis thaliana*. *International Journal of Molecular Sciences* 25(3): 1808. <https://doi.org/10.3390/ijms25031808>
- Małolepsza U (2006) Induction of disease resistance by acibenzolar-S-methyl and o-hydroxyethylorutin against *Botrytis cinerea* in tomato plants. *Crop Protection* 25(9): 956-962. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.12.009>
- Mandal B, Mandal S, Csinos AS, Martinez N, Culbreath AK, Pappu HR (2008) Biological and molecular analyses of the acibenzolar-S-methyl-induced systemic acquired resistance in flue-cured tobacco against *Tomato spotted wilt virus*. *Phytopathology* 98(2): 196-204. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-98-2-0196>
- Mejía DM, Rodas EI, Patiño LF, González EP (2009) Efecto del acibenzolar-s-metil sobre el desarrollo de la virosis causada por potyvirus en tomate de árbol. *Agronomía Colombiana* 27(1): 87-93.
- Pontes NC, Nascimento AR, Golynski A, Maffia LA, Oliveira JR and Quezado-Duval AM (2016) Intervals and number of applications of acibenzolar S-methyl for the control of bacterial spot on processing tomato. *Plant Disease* 100(10): 2126-2133. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-15-1286-RE>
- Quiróz-López EP, Rentería-Martínez ME, Ramírez-Bustos II, Moreno-Salazar SF, Martínez-Ruiz FE, Villar-Luna E, Fernández-Herrera E (2021) Effect of salicylic acid and methyl jasmonate on *Colletotrichum* sp. in mango fruits. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24(2). <https://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3494>.
- Rahman MZ, Ahmad K, Kutawa AB, Siddiqui Y, Saad N, Hun TG, Hossain MI (2021) Biology, diversity, detection and management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* causing vascular wilt disease of watermelon (*Citrullus lanatus*): a review. *Agronomy* 11(7): 1310. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071310>.
- Sakata N, Ishiga T, Taniguchi, Ishiga Y (2020) Acibenzolar S-methyl activates stomatal-based defense systemically in Japanese radish. *Frontiers in Plant Science* 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.565745>
- Santos HAA, Dalla Pria M, Silva OC, May-De-Mio LL (2018) Phosphites and acibenzolar-S-methyl alone and combined with fungicides for the control of biotrophic pathogens of wheat. *Summa Phytopathologica* 44(2): 132-136. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2213>
- SIAP (2023) Panorama Agroalimentario 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/. Fecha de consulta: 20 de febrero de 2024.

- Vargas-Arispuro I, Ramírez-Bustos II, Arratia-Castro AA, Bárcena-Santana D, Fernández-Herrera E (2023) Primer reporte de *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* raza 1 como agente causal de la marchitez vascular de la sandía en México. Revista Chapingo Serie Horticultura 29(3): 47-57. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2022.11.014>
- Yao H, Tian S (2005) Effects of pre-and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage. Postharvest Biology and Technology 35(3): 253-262. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.09.001>
- Zhang S, Klassen W, Mo X, Ji P, Gevens AJ (2011) Evaluation of acibenzolar-S-methyl and silicic acid for control of Phytophthora Blight caused by *Phytophthora capsici* in squash. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 124: 154-161.