



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 103 (2):
14-18; 2026



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

Av. William Cross 3150
T4101XAC - Las Talitas.
Tucumán, Argentina.

Trabajo ya publicado

**Trabajo
presentado en
el XXXII ISSCT
Centennial
Congress, 24 al 28
de agosto de 2025,
Cali, Colombia,
traducido al
castellano.**

Fecha de
recepción:
05/05/2026

Fecha de
aceptación:
06/05/2026

Daño histológico causado por *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* y evaluación de un inductor de defensa para el control de la estría roja en caña de azúcar

María A. Monachesi*, Romina P. Bertani**, Mario A. Debes*** y Marta E. Arias***

*Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CCT NOA Sur, Las Talitas, Tucumán, República Argentina, T4101XAC. **Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Las Talitas, Tucumán, República Argentina, T4101XAC. ***Cátedra de Anatomía Vegetal, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (FCN e IML-UNT) - San Miguel de Tucumán, Tucumán, República Argentina, T4000ILL. Email: mmonachesi@eeaoc.org.ar

RESUMEN

La estría roja (ER) de la caña de azúcar, causada por *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* (Aaa), se considera una enfermedad no sistémica; sin embargo, comprender el patrón de colonización del patógeno resulta clave para desarrollar estrategias de manejo complementarias al uso de variedades resistentes. Los objetivos de este trabajo fueron analizar el daño histológico causado por Aaa en tejido foliar de caña de azúcar y evaluar la eficacia de un inductor de defensa vegetal para el manejo de la ER. Se analizaron secciones de hojas inoculadas con una cepa de Aaa expresando GFP mediante microscopía de epifluorescencia y de campo claro. Además, hojas con síntomas severos de ER fueron fijadas y examinadas mediante microscopía de campo claro. Por otro lado, se evaluaron aplicaciones preventivas de acibenzolar-S-metil (50%), bajo condiciones controladas, en cuatro momentos de aplicación (3, 6, 8 y 6+8 días antes de la inoculación) y tres dosis (0,16; 0,32 y 0,50 mg/mL), para determinar su efecto sobre la severidad de la enfermedad. Se calculó el Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC, por sus siglas en inglés) y la eficacia de control de cada tratamiento. Los tejidos inoculados con Aaa-GFP presentaron fluorescencia en vainas parenquimáticas de los haces vasculares y en espacios intercelulares generados por ruptura de las paredes celulares. Adicionalmente, la microscopía de campo claro reveló abundante granularidad en los tejidos afectados. Los síntomas severos de ER incluyeron colapso del mesófilo, plegamiento epidérmico, depósitos rojo-marrones, incremento en las capas de fibras y engrosamiento de paredes subepidérmicas. La aplicación de 0,16 mg/mL de acibenzolar-S-metil ocho días antes de la inoculación bacteriana, alcanzó una eficacia de control de 31,86%. Estos resultados aportan evidencia sobre los tejidos afectados por Aaa y destacan el potencial del acibenzolar-S-metil como herramienta complementaria para el manejo sustentable de la estría roja en caña de azúcar.

Palabras clave: histopatología de la caña de azúcar, acibenzolar-S-metil, AUDPC.

ABSTRACT

Histological damage caused by *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* in sugarcane and the efficacy of a plant defense inducer to control red stripe disease

Red stripe (RS) in sugarcane [*Acidovorax avenae* subsp. *avenae* (Aaa)] is considered a non-systemic disease; however, understanding the colonization pattern of the pathogen is essential for proposing alternative management strategies in conjunction with the use of resistant sugarcane cultivars. The aims of this research were to analyze the histological damage caused by Aaa in sugarcane leaf tissue and to evaluate the efficacy of a plant defense inducer for RS management. Sections of sugarcane leaves inoculated with a GFP-expressing Aaa strain were analyzed using epifluorescence and bright-field (BF) microscopy. Additionally, leaves showing severe RS symptoms were fixed and further examined using BF microscopy. Preventive applications of acibenzolar-S-methyl (50%) were tested at four timings (3, 6, 8, and 6+8 days before inoculation) and three doses (0.16, 0.32, and 0.50 mg/mL) under controlled conditions to evaluate the impact on RS severity. The Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC) and control efficacy were calculated. Leaf tissues inoculated with Aaa-GFP exhibited fluorescence in vascular bundle sheaths and intercellular spaces due to cell wall rupture; additionally, BF microscopy revealed granularity in the affected tissues. Severe RS symptoms included mesophyll collapse, epidermal folding, red-brown deposits, increased fiber layers, and thickened sub-epidermal walls. Application of 0.16 mg/mL of acibenzolar-S-methyl, 8 days before bacterial inoculation, achieved an RS control efficacy of 31.86%. These results provide insights into the tissue-specific impacts of Aaa and highlight the potential of acibenzolar-S-methyl for sustainable RS management.

Key words: sugarcane histopathology, acibenzolar-S-methyl, AUDPC.

INTRODUCCIÓN

La estría roja (ER) de la caña de azúcar, causada por *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* (Aaa), se caracteriza por la presencia de estrías rojas en las láminas foliares y/o podredumbre del brote apical (polvillo) (Rott and Davis, 2000). La transmisión de Aaa ocurre a través de la dispersión de los exudados bacterianos por acción del viento y la lluvia. La bacteria ingresa a la planta principalmente a través de los estomas y la infección puede verse favorecida por la presencia de heridas (Huang *et al.* 2018; Lee and Weller, 1925). Sin embargo, el movimiento de Aaa en los tejidos del hospedante ha sido escasamente estudiado. En este contexto, Quecine *et al.* (2016) optimizaron un protocolo de transformación genética para obtener una cepa mutante de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* expresando GFP (Lxx-GFP), lo que permitió identificar un nuevo nicho de colonización bacteriana en tejidos de caña de azúcar.

Tradicionalmente, el manejo de las enfermedades de la caña de azúcar se ha basado en el uso de variedades resistentes. No obstante, el cambio climático y la implementación de nuevas prácticas agronómicas podrían modificar la dinámica de las enfermedades y el comportamiento varietal (Viswanathan *et al.* 2023), resaltando la necesidad de desarrollar estrategias alternativas para el manejo de la enfermedad a corto plazo. Los inductores de defensa vegetal, como los análogos del ácido salicílico, han demostrado potencial como herramientas sustentables para el manejo de enfermedades. Sakata *et al.* (2021) reportaron que el acibenzolar-S-metil redujo las poblaciones de Aaa en *Agrostis stolonifera*; sin embargo, su aplicación en caña de azúcar aún no ha sido explorada.

Por lo tanto, los objetivos de este trabajo fueron analizar el daño histológico causado por Aaa en tejidos foliares de caña de azúcar y evaluar la eficacia de un inductor de defensa vegetal para el manejo de la estría roja.

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis histológico

Diez plántulas de caña de azúcar de la variedad TUC 00-19, susceptible a estría roja (ER), fueron asperjadas con una suspensión de una cepa mutante de *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* (Aaa) que expresa GFP (proteína verde fluorescente, por sus siglas en inglés), de acuerdo a la metodología descrita por Bertani *et al.* (2019). Seis días después de la inoculación, se recolectaron hojas sintomáticas y se realizaron cortes transversales a mano alzada de tejido foliar fresco, los cuales fueron analizados mediante microscopía de epifluorescencia y campo claro.

Por otro lado, hojas con síntomas severos de ER, provenientes de plantas de la variedad TUC 00-19, inoculadas con la cepa silvestre de Aaa, fueron fijadas en formalina-alcohol-ácido acético (FAA) y posteriormente examinadas mediante microscopía de campo claro. Para cada muestra se realizaron y analizaron un mínimo de cinco cortes transversales. Además, se observaron secciones foliares de plantas sanas no inoculadas, con el fin de caracterizar la estructura normal de los tejidos de caña de azúcar.

Evaluación del acibenzolar-S-metil

Se utilizaron plántulas sanas de caña de azúcar de tres meses de edad de la variedad TUC 00-19, previamente fertilizadas con Nitrodoble, según Bertani *et al.* (2020). El acibenzolar-S-metil al 50% (BION®, Syngenta) fue aplicado mediante aspersión manual hasta el punto de goteo antes de la inoculación con una suspensión bacteriana de Aaa (10^8 UFC/mL), de acuerdo con Bertani *et al.* (2020).

Se ensayaron cuatro momentos de aplicación: 3 (*Ta*), 6 (*Tb*) y 8 (*Tc*) días antes de la inoculación (dai), y una doble aplicación a los 6 y 8 dai (*Td*). Se utilizó una dosis de

0,5 mg/ml del producto comercial.

Una vez establecido el momento de aplicación más eficiente, se evaluaron tres concentraciones de acibenzolar-S-metil: 0,50 (Tf), 0,32 (Tg) y 0,16 mg/mL (Th).

El tratamiento control fue asperjado con agua e inoculado con Aaa (Te). Todas las plantas se mantuvieron en cámara de infección bajo condiciones óptimas para el desarrollo de la enfermedad (30 ± 2 °C y humedad relativa >80%).

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con dos repeticiones y cada tratamiento estuvo constituido por 15 unidades experimentales.

Análisis estadístico

Se evaluó la severidad de ER, en todas las hojas de la planta, empleando una escala de 0 (sin enfermedad) a 9 (más del 50% del área foliar afectada por la enfermedad). Las evaluaciones se realizaron en diferentes momentos, después de la inoculación con la bacteria.

Se calculó el Índice de Severidad de la Enfermedad (DSI, por sus siglas en inglés) para cada unidad experimental, en cada fecha de evaluación, como:

$$DSI (\%) = \frac{\sum (n^{\circ} \text{ hojas severidad } i \times \text{severidad } i) \times 100}{(n^{\circ} \text{ total de hojas}) \times (\text{máximo valor de severidad})}$$

Donde:

i = valores de escala de severidad de 0 a 9.

Con los valores de DSI se determinó el Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC).

Los resultados obtenidos de los ensayos fueron analizados estadísticamente utilizando el programa InfoStat (Di Renzo *et al.*, 2010). Se emplearon modelos lineales generales y mixtos y un test de comparación de medias (LSD, $\alpha=0,05$).

La eficacia de control fue calculada como:

$$\text{Eficacia de control } (\%) = \frac{(AUDPC_{\text{control de infección}} - AUDPC_{\text{tratamiento}}) \times 100}{AUDPC_{\text{control de infección}}}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Colonización tisular de *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* en hojas de caña de azúcar

Los cortes transversales de hojas provenientes de plantas sanas exhibieron una estructura tisular conservada, característica de la caña de azúcar (Figura 1A). Los haces vasculares se encontraron rodeados por células parenquimáticas intactas y no presentaron alteraciones anatómicas visibles (Figura 1B). Asimismo, la epidermis y las células buliformes mantuvieron su integridad estructural (Figura 1A).

En contraste, los tejidos foliares sintomáticos analizados mediante microscopía de epifluorescencia, exhibieron fluorescencia rojo-marrón en las células de la vaina parenquimática que rodea los haces vasculares. Además, se observó fluorescencia verde característica de Aaa-GFP en espacios intercelulares generados por la ruptura de las paredes celulares de células buliformes y del mesófilo (Figura 2A). La microscopía de campo claro permitió observar una marcada granularidad en estas áreas afectadas (Figura 2B), la cual estuvo ausente en los tejidos sanos (Figura 1A). Asimismo, se detectaron alteraciones en los patrones de autofluorescencia de los tejidos infectados (Figura 2C). De manera similar a lo observado en el presente estudio, Quecine *et al.* (2016) demostraron la capacidad de Lxx-GFP para colonizar células del mesófilo y de la vaina de los haces vasculares en hojas de caña de azúcar.

Los tejidos foliares con síntomas severos de ER, analizados mediante microscopía de campo claro, evidenciaron colapso del mesófilo, lo que provocó en algunos casos el plegamiento de las epidermis adaxial y abaxial (Figura 2D). También se observaron depósitos rojo-marrones en espacios intercelulares del parénquima, los cuales ocasionalmente causaron oclusión celular (Figuras 2D y 2E). Asimismo, se observó un incremento en el número de capas de fibras (Figura 2F), así como un engrosamiento de las paredes celulares subepidérmicas. Estas alteraciones histológicas estuvieron ausentes en los cortes transversales de hojas sanas (Figura 1A y 1B).

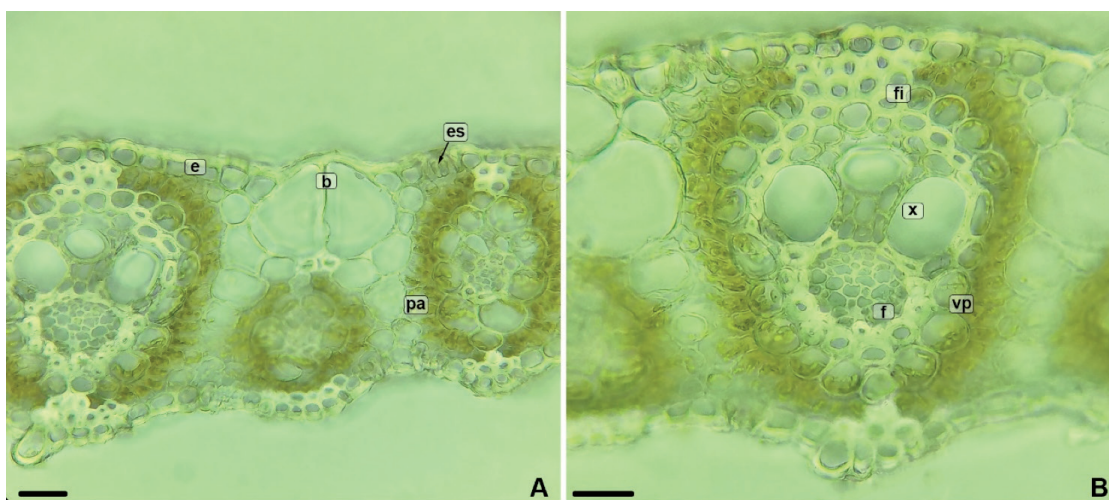


Figura 1. Cortes transversales de lámina foliar sana de la variedad de caña de azúcar TUC 00-19 observados mediante microscopía de campo claro. (A) Estructura conservada de los principales tejidos foliares de la caña de azúcar. (B) Detalle de un haz vascular. es = estoma; b = células buliformes; e = células epidérmicas; pa = células parenquimáticas; fi = fibras; x = xilema; f = floema; vp = vaina parenquimática. Escala = 10 μ m.

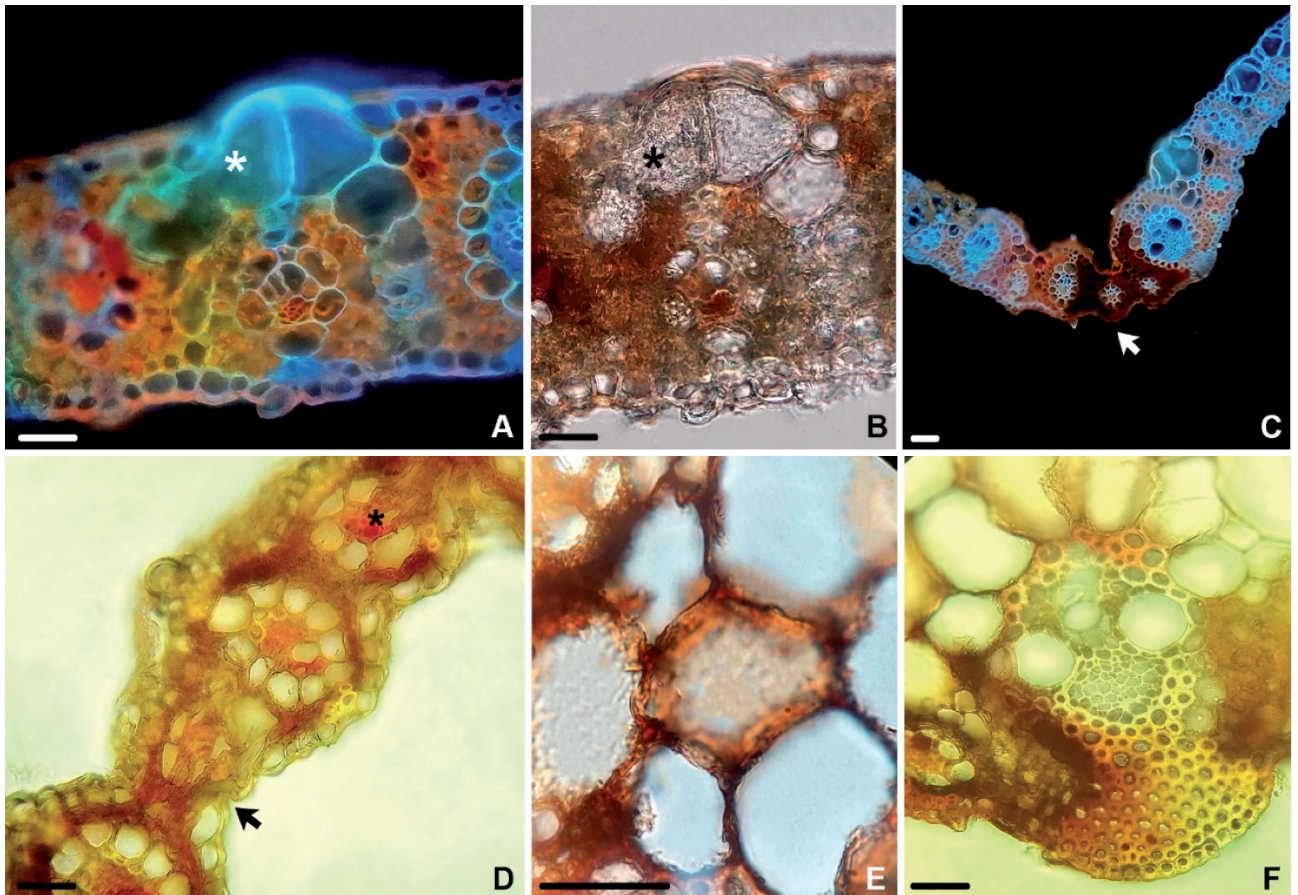


Figura 2. Cortes transversales de láminas foliares de la variedad de caña de azúcar TUC 00-19 con síntomas de estría roja. (A) Fluorescencia verde indicando la posible presencia de *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*-GFP (asterisco blanco). (B) Apariencia granular en una célula buliforme desintegrada (asterisco negro). (C) Alteración en los patrones de autofluorescencia en tejidos infectados (flecha blanca). (D) Plegamiento de la lámina foliar (flecha negra) y oclusión celular (asterisco negro). (E) Depósitos rojo-marrones. (F) Incremento en el número de capas de fibras. Los cortes transversales fueron observados sin filtros de microscopía, excepto en (A) y (C), donde se utilizó el filtro WU ($\lambda_{Ex} = 330\text{--}385$ nm). Escala = 10 μm .

Nuestros resultados coinciden con los obtenidos por Lee and Weller (1925), quienes sugirieron que Aaa se comporta como una bacteria parenquimática, utilizando el movimiento intercelular como principal vía de desplazamiento. La infección se localizó mayormente en regiones cercanas a los haces vasculares; sin embargo, a diferencia de lo observado por dichos autores, en este estudio no se detectó la presencia de la bacteria dentro de los tejidos vasculares.

Efecto del momento de aplicación y de la dosis de acibenzolar-S-metil sobre la severidad de la estría roja

Se evaluó la eficacia preventiva de diferentes momentos de aplicación de acibenzolar-S-metil. Todos los tratamientos aplicados redujeron la severidad de la enfermedad en comparación con el control (*Te*) (Tabla 1).

No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con acibenzolar-S-metil, a excepción de *Tb* (6 dai), que presentó bajos porcentajes de control (13,69%) en comparación con el resto de los tratamientos (Tabla 1).

Por su parte, los tratamientos *Ta* (3 dai), *Tc* (8 dai) y *Td* (6 + 8 dai) mostraron las mayores eficacias de control, alcanzando valores superiores al 40% (Tabla 1). Sakata et

al. (2021) reportaron eficacias protectoras similares en *Agrostis stolonifera* a los 7 días antes de la inoculación, las cuales se mantuvieron hasta los 13 días en sus ensayos.

Tabla 1. Evaluación de diferentes momentos de aplicación de acibenzolar-S-metil (0,50 mg/mL) para el control de la estría roja en caña de azúcar.

Treatment	Momento de aplicación	AUDPC	Eficacia de control (%)
<i>Ta</i>	Acibenzolar-S-methyl 3 dai	98,47 ^b	57,46
<i>Tb</i>	Acibenzolar-S-methyl 6 dai	199,81 ^a	13,69
<i>Tc</i>	Acibenzolar-S-methyl 8 dai	130,65 ^b	43,56
<i>Td</i>	Acibenzolar-S-methyl 6 + 8 dai	124,64 ^b	46,16
<i>Te</i>	Control	231,50 ^a	-

AUDPC = Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad. Valores seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

dai = días antes de la inoculación.

En base a los resultados obtenidos, resulta importante destacar que, a medida que aumenta el intervalo entre la aplicación de un producto preventivo y el desarrollo de la enfermedad, sin que ello implique una disminu-

ción en su eficacia de control, se favorece la extrapolación de los resultados obtenidos en condiciones controladas a condiciones de campo. En este sentido, el tratamiento *T_c*, correspondiente a una única aplicación realizada 8 días antes de la inoculación, presentó una eficacia de control comparable a la observada en *T_a* y *T_d*, manteniendo una ventana de protección superior a una semana antes del desarrollo de síntomas, por lo que fue considerado el tratamiento más conveniente para el manejo de la ER.

Por otro lado, el ensayo dosis-respuesta para acibenzolar-S-metil mostró diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 2). La dosis de 0,16 mg/mL (*T_h*) resultó ser la más eficiente, alcanzando una eficacia de control del 31,86% y presentando valores comparables a los obtenidos con la dosis de 0,50 mg/mL (*T_f*) (32,56%), con la ventaja de requerir una concentración considerablemente menor del producto. Estos resultados difieren de los obtenidos por Sakata *et al.* (2021), quienes observaron un mayor control de la enfermedad al incrementar las dosis aplicadas.

Tabla 2. Evaluación de diferentes dosis de acibenzolar-S-metil para el control de la estria roja en caña de azúcar.

Tratamiento	Dosis (mg/mL)	AUDPC	Eficacia de control (%)
<i>T_f</i> Acibenzolar-S-methyl	0,50	105,83 ^d	32,56
<i>T_g</i> Acibenzolar-S-methyl	0,32	142,22 ^b	9,37
<i>T_h</i> Acibenzolar-S-methyl	0,16	106,94 ^c	31,86
<i>T_e</i> Control	-	156,94 ^a	-

AUDPC = Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad. Valores seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Momento de aplicación = 8 días antes de la inoculación.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demostraron que *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* afecta principalmente tejidos parenquimáticos mediante movimiento intercelular, sin detectarse la presencia de bacterias en los tejidos vasculares. Las alteraciones histológicas observadas incluyeron ruptura de células buliformes, incremento en el desarrollo de fibras y depósitos rojo-marrones que, en algunos casos, ocasionaron oclusión celular, lo que podría interferir en los procesos de translocación.

Asimismo, se demostró que la aplicación preventiva de BION® puede reducir los síntomas de estria roja en caña de azúcar hasta en un 57,46%. De los cuatro momentos de aplicación evaluados, los tratamientos con acibenzolar-S-metil realizados 3, 8 y 6+8 días antes de la inoculación resultaron efectivos para disminuir la severidad de la enfermedad, alcanzando eficacias de control superiores al 40%. Además, la menor dosis evaluada (0,16 mg/mL) presentó una eficacia de control de 31,86%, comparable a la obtenida con dosis hasta tres veces mayores. Estos resultados aportan información relevante sobre los tejidos afectados por Aaa y los mecanismos asociados a la infección en hojas de caña de azúcar. Asimismo, destacan el potencial de los análogos del ácido salicílico, como el acibenzolar-S-metil, como herramientas sustentables

para el manejo de la estria roja, particularmente frente a escenarios de cambios ambientales y modificaciones en la dinámica epidemiológica de la enfermedad. Sin embargo, se requieren estudios adicionales para profundizar estos resultados y evaluar su aplicación en condiciones de campo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las integrantes del grupo de caña de azúcar de la Sección Fitopatología de la EEAOC por su valioso apoyo técnico y colaboración durante el desarrollo de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Bertani, R. P.; C. M. Joya; D.D. Henriquez; M. F. Perera and M. I. Cuenya. 2020.** Assessment of inoculation techniques for screening sugarcane resistance to red stripe disease caused by *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*. Australian Journal of Crop Science 14: 1764-1771.
- Bertani, R. P.; N. Mielnichuk; M. F. Perera; V. González; A. A. Vojnov; M. I. Cuenya and A. P. Castagnaro. 2019.** Optimization of a genetic transformation method for *Acidovorax avenae*, the causal agent of red stripe disease of sugarcane. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists 30: 442-444.
- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Cuadro y C. W. Robledo. 2010.** InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Huang, Y. K.; W. F. Li; R. Y. Zhang and X. Y. Wang. 2018.** Diagnosis and control of sugarcane important diseases. In Color Illustration of Diagnosis and Control for Modern Sugarcane Diseases, Pests, and Weeds. Springer Singapore, Singapore. pp 1-103.
- Lee, H. A and D. M. Weller. 1925.** The histology of red stripe disease. In: Red Stripe Disease Studies. Experimental Station H.S.P.A, Pathology Department. pp 75-82.
- Quecine, M. C.; T. M. Silva; G. Carvalho; S. Saito; M. Mondin; N. S. Teixeira-Silva; L. E. A. Camargo and C. B. Monteiro-Vitorello. 2016.** A stable *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* GFP-tagged strain reveals a new colonization niche in sugarcane tissues. Plant Pathology 65: 154-162.
- Rott, P. and M. J. Davis. 2000.** Red stripe (top rot). In: A guide to sugarcane diseases. Rott P, Bailey RA, Comstock JC, Croft BJ, Saumtally AS (Eds.). CIRAD/ISSCT, Montpellier. pp 60-62.
- Sakata, N.; T. Aoyagi; T. Ishiga and Y. Ishiga. 2021.** Acibenzolar-S-methyl efficacy against bacterial brown stripe caused by *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* in creeping bentgrass. Journal of General Plant Pathology 87: 387-393.
- Viswanathan, R.; C. Raj and S. Singh. 2023.** Climate Change and its Effect on Important Sugarcane Diseases. Sustainable Sugarcane Production and Utilization: Issues and Initiatives. p. 49.