



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 103 (2):
8-13; 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:
03/02/2026

Fecha de
aceptación:
23/02/2026

El bioestimulante PSP1 mejora la resistencia de la caña de azúcar a *Diatraea saccharalis* en condiciones controladas y activa vías de señalización de la defensa

Florencia Budeguer*; Gabriela Michavila*; Aldo S. Noguera*; Nadia R. Chalfoun* y Josefina Racedo*

* Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Las Talitas, Tucumán, Argentina. Email: florbudeguer88@gmail.com

RESUMEN

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) se encuentra afectado por numerosas plagas y enfermedades, incluido el barrenador de la caña de azúcar *Diatraea saccharalis*. A pesar de la disponibilidad global de métodos de control cultural, biológico y químico, la eficacia del manejo en el noroeste de Argentina ha sido limitada. Howler® (PSP1), un bioestimulante desarrollado en ITANOA cuyo principio activo es una proteasa fúngica *Acremonium strictum* Elicitor Subtilisin (AsES), activa las respuestas de defensa de las plantas y reduce el daño de las plagas. Este estudio evaluó el efecto protector de Howler® en plantas de caña de azúcar con entrenudos bajo condiciones controladas de infestación con *D. saccharalis* y se investigó su papel en la activación de genes relacionados con la defensa. Las plantas tratadas con Howler® exhibieron una disminución significativa ($P < 0,05$) en el número de entrenudos y vainas dañadas, y en el daño del tallo en comparación con los controles tratados con agua. El análisis de expresión génica reveló la activación de la vía del ácido salicílico (SA), con una sobreexpresión significativa del gen PR1 a las 96 horas posteriores al tratamiento. Además, las proteínas de defensa SWIN2 y BBI4 mostraron una sobreexpresión temprana a las 6 horas, lo que sugiere una respuesta inducida contra la herbivoría. Estos hallazgos indican que Howler® mejora la resistencia de la caña de azúcar a *D. saccharalis* mediante la activación de los mecanismos de defensa de la planta. Dada su eficacia, facilidad de aplicación y potencial uso para el manejo sostenible de plagas, Howler® se presenta como un bioestimulante prometedor en la protección de la caña de azúcar.

Palabras clave: barrenador de la caña de azúcar, resistencia inducida, bioestimulante, expresión génica.

ABSTRACT

PSP1 biostimulant enhances sugarcane resistance to *Diatraea saccharalis* under controlled conditions and activates defense signaling pathways

Sugarcane (*Saccharum* hybrids) is a major crop threatened by numerous pests and diseases, including the sugarcane borer *Diatraea saccharalis*. Despite the global

availability of cultural, biological, and chemical control methods, management efficacy in northwestern Argentina has been limited. Howler® (PSP1), a biostimulant developed at ITANOA and containing the fungal protease *Acremonium strictum* Elicitor Subtilisin (AsES), activates plant defense responses and reduces pest damage. This study evaluated the protective effects of Howler® on sugarcane plants with formed internodes under controlled *D. saccharalis* infestation conditions and investigated its role in activating defense-related genes. Plants treated with Howler® exhibited a significant reduction ($P < 0.05$) in the number of damaged internodes and sheaths, and in overall stem damage compared to untreated controls. Gene-expression analysis revealed the activation of the salicylic acid (SA) pathway, with significant overexpression of the PR1 gene at 96 hours post-treatment. Additionally, the defense-related proteins SWIN2 and BBI4 showed early overexpression at 6 hours, suggesting an induced response against herbivory. These findings indicate that Howler® enhances sugarcane resistance to *D. saccharalis* through the activation of plant-defense mechanisms. Given its effectiveness, ease of application and potential for sustainable pest management, Howler® represents a promising biostimulant for integrated sugarcane protection strategies.

Key words: Sugarcane borer, induced resistance, biostimulant, gene expression.

■ INTRODUCCIÓN

Un bioestimulante destinado al control de enfermedades bacterianas y fúngicas en especies monocotiledóneas y dicotiledóneas, PSP1 (acrónimo de *Plant Stimulation and Protection*) (Chalfoun *et al.*, 2018a,b), fue desarrollado por ITANOA y posteriormente comercializado por SUMMIT Agro bajo el nombre Howler®. En caña de azúcar, Howler® ha sido evaluado previamente bajo condiciones controladas para la protección frente a la bacteria *Acidovorax avenae*, logrando una disminución significativa en la severidad de la enfermedad (Chalfoun *et al.*, 2018a). PSP1 corresponde a una proteasa de origen fúngico denominada *Acremonium strictum* Elicitor Subtilisin (AsES). Este elicitor confiere protección contra *Botrytis cinerea* en *Arabidopsis thaliana* mediante la activación de las vías de señalización asociadas al ácido salicílico (SA), al ácido jasmonico (JA) y al etileno (ET) (Hael-Conrad *et al.*, 2015). La activación de la vía del JA por PSP1 sugiere, además, un posible efecto protector frente al ataque de insectos herbívoros. Estudios previos demostraron que la aplicación de Howler® al 20%, realizada 4 y 2 días antes de la infestación por el barrenador de la caña de azúcar *Diatraea saccharalis*, protege eficazmente plantas jóvenes de caña de azúcar —previas a la formación de entrenudos—, reduciendo en un 37% la mortalidad asociada a la aparición de “corazón muerto” (*dead hearts*) (Budeguer *et al.*, 2023). La eficacia a bajas concentraciones, junto con su bajo costo de producción, prolongada vida útil, tolerancia a altas temperaturas, inocuidad para organismos no objetivo y facilidad de aplicación, posicionan a Howler® como una herramienta promisorio para el desarrollo de estrategias sostenibles de manejo de *D. saccharalis* en el cultivo de caña de azúcar.

En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivos: (i) evaluar la eficacia de Howler® en la protección de plantas de caña de azúcar con entrenudos desarrollados frente a la infestación por *D. saccharalis* bajo condiciones controladas, y (ii) analizar la activación de genes marcadores asociados a la señalización de defensa.

■ MATERIALES Y MÉTODOS

Infestaciones bajo condiciones controladas

Para evaluar el efecto protector de Howler® en plantas de caña de azúcar con dos o más entrenudos desarrollados, se utilizaron 60 plantas de la variedad TUC 95-10. Treinta plantas fueron tratadas con Howler®, mientras que las 30 restantes recibieron agua y se utilizaron como control. Los tratamientos se aplicaron 4 y 2 días antes de la infestación con *Diatraea saccharalis*. El día de la infestación se colocaron diez larvas por planta, correspondientes mayoritariamente al primer estadio larval, aunque se incluyeron algunos individuos de segundo estadio temprano debido a la variación natural en el desarrollo. Las plantas se mantuvieron en una cámara de infestación bajo condiciones controladas de temperatura (25 ± 2 °C) y humedad relativa (60 ± 10 %). Treinta días después de la infestación, las plantas fueron evaluadas registrándose el número de vainas foliares dañadas, el número de entrenudos dañados y el daño en el tallo, expresado como el porcentaje de la longitud de galerías en relación con la longitud total del tallo (Figura 1). Los ensayos se realizaron en dos oportunidades en el invernadero de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), ubicado en Las Talitas, Tucumán, Argentina. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un modelo lineal generalizado (GLM) con distribución binomial y función de enlace logit. Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$), se aplicó la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para la comparación de medias. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software Navure versión 1.2.0 (Navure, 2023).

Expresión genética

El experimento se realizó por triplicado utilizando plántulas de caña de azúcar de la variedad TUC 95-10. Cada unidad experimental estuvo conformada por tres plantas, con un total de nueve plantas por tratamiento. Las plantas fueron tratadas con Howler® al 20% (tiempo

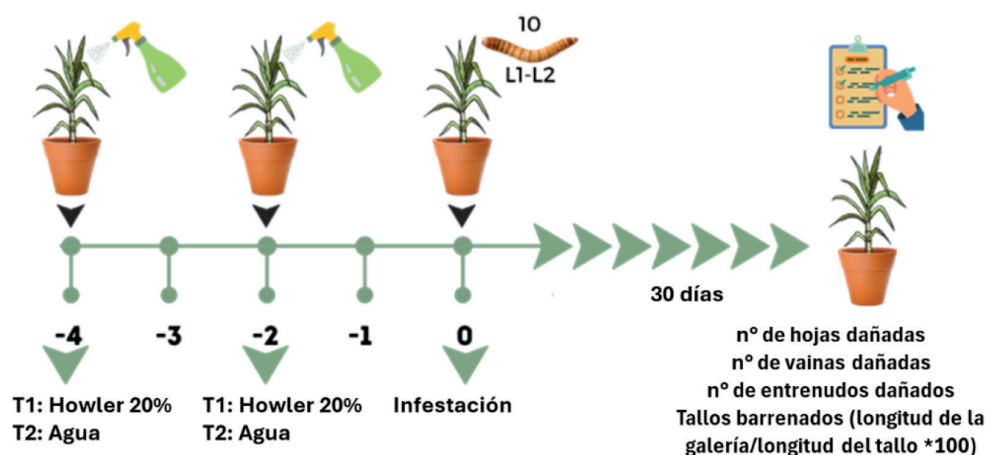


Figura 1. Cronograma experimental para la evaluación de Howler® en plantas de caña de azúcar bajo infestación controlada de *D. saccharalis*. Las plantas se trataron con Howler® al 20% 4 y 2 días antes de la infestación. El día 0, se infestaron con 10 larvas de *D. saccharalis* por planta.

0) y se recolectaron muestras foliares a las 6, 24, 48 y 96 horas posteriores a la aplicación. Adicionalmente, se incluyó un tratamiento con doble aplicación de Howler® (a las 0 y 48 horas), recolectándose muestras foliares a las 96 horas desde la primera aplicación. En cada momento, se muestrearon tres réplicas biológicas (cada una de tres plantas). Las plantas no se infestaron con *D. saccharalis* durante este experimento. Las plantas tratadas con agua se utilizaron como control (Figura 2). El ARN total se extrajo a partir del tejido foliar, y se verificaron su cantidad,

calidad e integridad. Posteriormente, se sintetizó ADN complementario (cADN) y se realizaron análisis de RT-qPCR para evaluar la expresión génica. Para estudiar la activación de la vía del ácido salicílico (SA), se analizó la expresión del gen PR1. Asimismo, se evaluó la expresión del gen aminociclopropano-1-carboxilato oxidasa (ACO), involucrado en la biosíntesis de etileno (ET), y de otro gen inducido en respuesta al etileno (ER). Además, se estudió el gen LOX2, que codifica una lipoxigenasa involucrada en etapas tempranas de la vía del ácido jasmónico (JA)

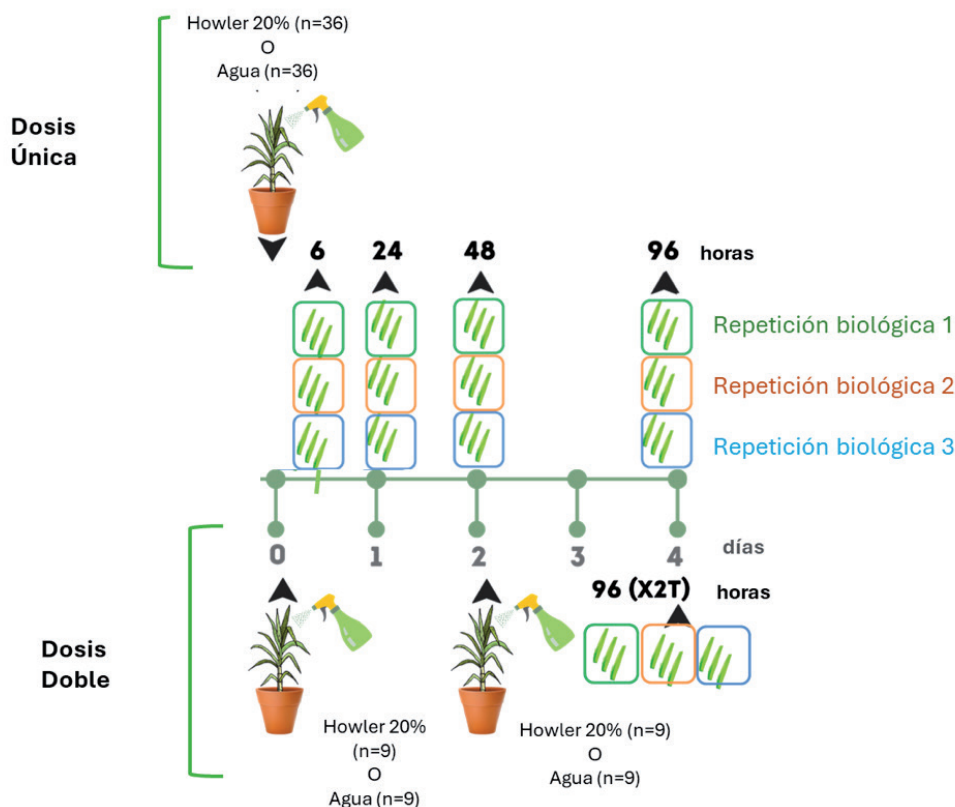


Figura 2. Diseño experimental para el análisis de expresión génica. Plántulas de caña de azúcar (TUC 95-10) se trataron con Howler® al 20% o agua (control) en aplicaciones simples (0 h) o dobles (0 y 48 h).

(Souza *et al.*, 2017). Por otra parte, se evaluó la activación de los genes que codifican dos proteínas relacionadas con los mecanismos de defensa de las plantas frente a la herbivoría, SWIN2 y BBI4 (Medeiros *et al.*, 2012; Falco y Silva-Filho, 2003). La expresión relativa de los transcritos se calculó a partir de los valores de Ct obtenidos para cada muestra, utilizando el método $2^{-\Delta\Delta Ct}$, donde $\Delta\Delta Ct = \Delta Ct \text{ muestra} - \Delta Ct \text{ muestra de referencia (actina)}$ (Livak y Schmittgen, 2001). Los valores promedio se calcularon a partir de muestras analizadas por triplicado. Los resultados se representaron gráficamente con los valores de $2^{-\Delta\Delta Ct}$ en el eje Y y los tiempos de muestreo en el eje X. Para comparar la expresión relativa ($2^{-\Delta\Delta Ct}$) de los genes blancos entre plantas tratadas con Howler® y plantas control en cada tiempo de muestreo, se aplicaron pruebas t de Student para muestras independientes. El análisis estadístico se realizó utilizando el programa Navure versión 1.2.0 (Navure, 2023).

■ RESULTADOS

Infestaciones en condiciones controladas

Se observó una reducción significativa (P-valor < 0,05) en el número de vainas dañadas ($0,42 \pm 0,04$) y entrenudos ($0,26 \pm 0,03$) en las plantas tratadas con Howler®, en comparación con las plantas control ($0,53 \pm 0,04$ y $0,36 \pm 0,04$, respectivamente). Lo mismo se observó en el daño al tallo, con una disminución en las plantas tratadas con Howler® ($5,00 \pm 0,98$) en comparación con las plantas control ($9,05 \pm 1,88$) (Figura 3).

Expresión genética

En relación con el gen PR1, se detectó una sobreexpresión significativa únicamente en el tratamiento con doble aplicación de Howler® a las 96 horas. No se observaron diferencias significativas en la expresión de los genes asociados a la vía del etileno en los distintos tiempos evaluados. La única comparación que mostró diferencias significativas entre las plantas tratadas con Howler® y el control correspondió al gen ER en el tratamiento con doble aplicación a las 96 horas. De manera similar, las diferencias observadas en los distintos tiempos analizados para la expresión del gen LOX no resultaron significativas entre los tratamientos. En cuanto a la expresión de genes que codifican proteínas de defensa, se observó que tanto BBI como SWIN2 presentaron una sobreexpresión significativa a las 6 horas posteriores a la aplicación de Howler® (Figura 4).

■ DISCUSIÓN

La evaluación fenotípica bajo condiciones controladas de infestación demostró que Howler® redujo significativamente el número de entrenudos dañados, vainas afectadas y el daño total del tallo en plantas de caña de azúcar infestadas con *Diatraea saccharalis*. Estos resultados evidencian un efecto protector efectivo, probablemente mediado por la inducción de mecanismos de defensa de la planta, en concordancia con lo reportado previamente (Budeguer *et al.*, 2023).

El análisis de expresión génica respalda esta hi-

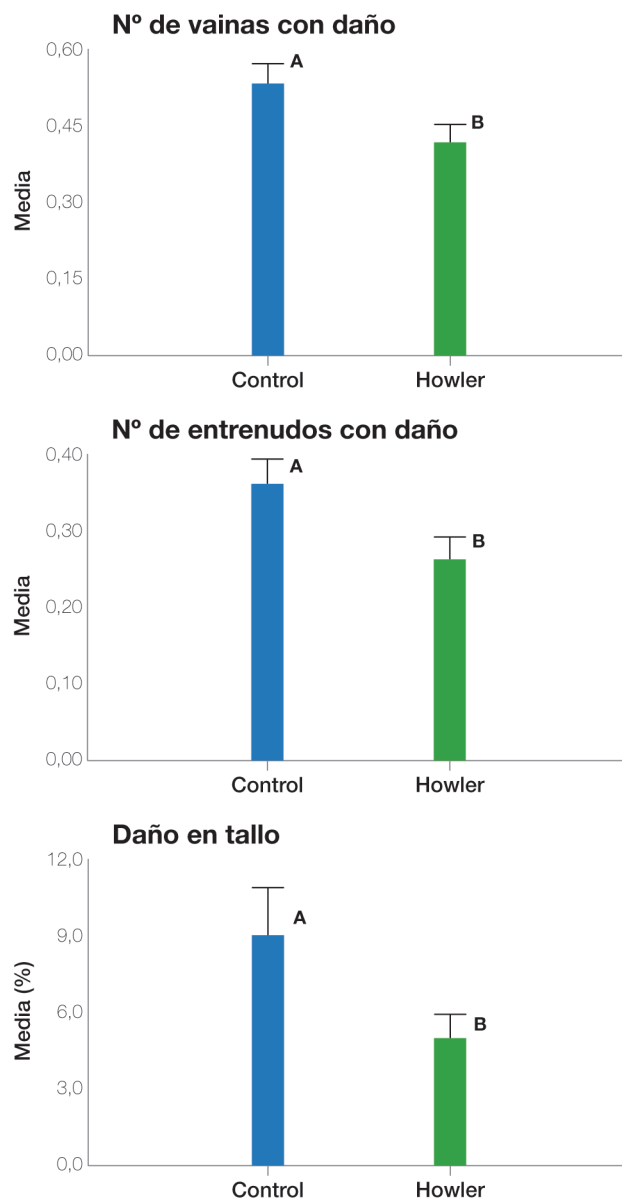


Figura 3. Efecto de Howler® (media ± DE) sobre la protección contra el daño de *D. saccharalis* en caña de azúcar variedad TUC 95-10.

pótesis. Se observó una sobreexpresión significativa del gen PR1, marcador de la vía del ácido salicílico (SA), a las 96 horas posteriores al tratamiento con doble aplicación de Howler®. Este resultado sugiere que Howler® activa respuestas defensivas mediadas por SA, comúnmente asociadas a la resistencia frente a patógenos biotrofos y a ciertos insectos herbívoros (Durrant y Dong, 2004). Asimismo, los genes BBI4 y SWIN2, que codifican inhibidores de proteasas involucrados en la defensa contra la herbivoría, mostraron una inducción temprana, detectable a las 6 horas posteriores a la aplicación. Esta rápida respuesta sugiere que Howler® podría incrementar el estado de alerta defensiva de la planta, preparándola para responder de manera más eficiente ante el ataque de insectos. Estos resultados coinciden con estudios previos que describen el papel de proteínas PR e inhibidores de proteasas en

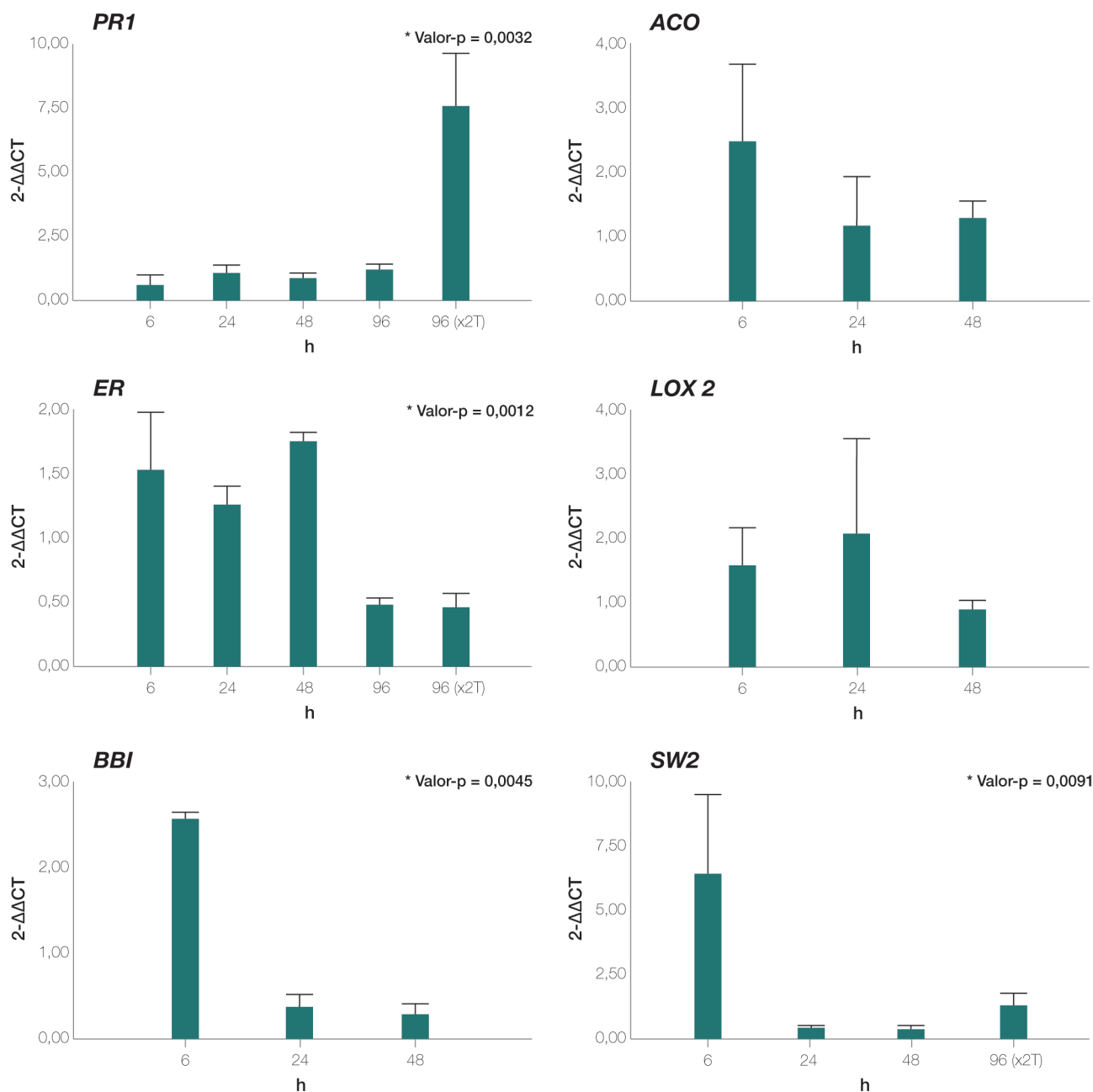


Figura 4. Respuesta de defensa desencadenada por el tratamiento con Howler® en plantas de caña de azúcar. Evolución temporal del valor de 2-ΔΔCt para el gen *PR1* (vía SA), los genes *ACO* y *ER* (vía ET), el gen *LOX* (vía JA) y las proteínas de defensa *BBI* y *SW2*.

los mecanismos de defensa vegetal (Falco y Silva-Filho, 2003; Medeiros *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2017). Por el contrario, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en la expresión de genes asociados a las vías del etileno (ET) y del ácido jasmónico (JA) bajo las condiciones evaluadas. Esto podría indicar que Howler® activa predominantemente la vía del SA en caña de azúcar, posiblemente en función de la naturaleza de su compuesto activo, *Acremonium strictum* Elicitor Subtilisin (AsES), tal como fue descrito previamente en *Arabidopsis thaliana* (Hael-Conrad *et al.*, 2015).

Observaciones a campo han mostrado que plan-

tas de caña de azúcar tratadas con Howler® presentan menores niveles de infestación por *D. saccharalis* en comparación con los controles, lo que refuerza su efecto protector también bajo condiciones productivas (Padilla *et al.*, 2024). En conjunto, la evidencia fenotípica y molecular posiciona a Howler® como un bioestimulante promisorio para la protección del cultivo de caña de azúcar. Su capacidad para activar vías de señalización defensiva sin recurrir a modificaciones genéticas, sumada a su facilidad de aplicación y bajo impacto ambiental, respalda su integración en estrategias de manejo sustentable de plagas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que Howler® es capaz de proteger eficazmente a las plantas de caña de azúcar frente a infestaciones de *Diatraea saccharalis*, reduciendo significativamente el daño bajo condiciones controladas. El análisis de expresión génica sugiere que este efecto está mediado principalmente por la activación de la vía del ácido salicílico y por la inducción de proteínas asociadas a la defensa contra insectos herbívoros. En conclusión, el uso de Howler® se presenta como una estrategia prometedora para la protección de la caña de azúcar frente a *D. saccharalis*, una de las principales plagas del cultivo, contribuyendo al desarrollo de sistemas de producción más sostenibles.

APOYO Y FINANCIAMIENTO

Este proyecto contó con el apoyo de EEAOC, CONICET y PICT 2020 (00243) de ANPCyT. Agradecemos a la Dra. Peña Malavera por el análisis estadístico.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Budeguer F, Michavila G, Chalfoun NR, Racedo J. 2023.** Efecto del bioestimulante PSP1 en la protección de la caña de azúcar contra *Diatraea saccharalis*. Actas de la Sociedad Internacional de Tecnólogos de la Caña de Azúcar 31: 682–685.
- Chalfoun NR, Durman SB, Budeguer F, Caro MDP, Bertani RP, Di Peto P, Stenglein SA, Filippone MP, Moretti ER, Díaz Ricci JC, Welin B, Castagnaro AP. 2018a.** Development of PSP1, a biostimulant based on the elicitor AsES for disease management in monocot and dicot crops. *Frontiers in Plant Science* 9: 844.
- Chalfoun NR, Durman SB, González-Montaner J, Reznikov S, De Lisi V, González V, Moretti ER, Devani MR, Ploper LD, Castagnaro AP, Welin B. 2018b.** Elicitor-Based Biostimulant PSP1 Protects Soybean Against Late Season Diseases in Field Trials. *Frontiers in Plant Science* 9: 763.
- Durrant WE, Dong X. 2004.** Resistencia sistémica adquirida. *Revista Anual de Fitopatología* 42: 185-209.
- Falco MC, Silva-Filho MC. 2003.** Expresión de inhibidores de la proteinasa de soja en plantas transgénicas de caña de azúcar: Efectos en la defensa natural contra *Diatraea saccharalis*. *Fisiología vegetal y bioquímica* 41: 761-766.
- Hael-Conrad V, Abou-Mansour E, Díaz-Ricci JC, Métraux JP, Serrano M. 2015.** El nuevo elicitor AsES desencadena una respuesta de defensa contra *Botrytis cinerea* en *Arabidopsis thaliana*. *Plant Science* 241: 120–127.
- Livak KJ, Schmittgen TD. 2001.** Análisis de datos de expresión génica relativa mediante PCR cuantitativa en tiempo real y el método 2-DDCT. *Métodos* 25 :
- Medeiros AH, Franco FP, Matos JL, de Castro PA, Santos-Silva LK, Henrique-Silva F, Goldman GH, Moura DS, Silva-Filho MC. 2012.** Sugarwin: Un gen inducido por insectos de la caña de azúcar con actividad antipatogénica. *Molecular Plant Microbe Interactions* 25: 613–624.
- Equipo Navure. 2023.** Navure (1.2.0): Una aplicación orientada a la ciencia de datos y la estadística para tomar decisiones basadas en evidencia. <http://www.navure.com>.
- Padilla AE, Di Peto PA, Peña Malavera A, Rodríguez D, Pérez MLP, Ostengo S, Noguera AS, Chalfoun NR. 2024.** Bioestimulante a base de elicitor Howler protege la caña de azúcar contra *Diatraea saccharalis* en ensayos de campo. XIII Talleres de Patología y XI Talleres de Entomología ISSCT p. 70.
- Souza TP, Dias RO, Silva-Filho MC. 2017.** Proteínas relacionadas con la defensa implicadas en la respuesta de la caña de azúcar al estrés biótico. *Genética y Biología Molecular* 40 (sup. 1): 360-372.