



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

Tomo 103 (1) | 2026



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina



Autoridades EEAOC

Presidente

Ing. Agr. Roberto Sánchez Loria

Vicepresidente

Lic. Sebastián Budeguer

Vocales

Ing. Agr. José Ignacio Lobo Viaña

Ing. Agr. Francisco J. Estrada

Dn. Luis Fernando Umana

Dn. Pablo José Padilla

Dn. Juan Carlos Crovella

Dn. José Antonio Linares

Mg. Lic. Catalina Rocchia Ferro

Ing. Bernabé Oscar Alzabé

Director Técnico

Dr. Hernán Salas López

Directores Asistentes:

Tecnología Agropecuaria

Dr. Santiago Ostengo

Tecnología Industrial

Dr. Hernán Salas López

Administración y Servicios

C.P.N. Mariana Barraquero

Recursos Humanos

Lic. José D. Rodríguez Domato

Editor Responsable

Dr. Hernán Salas López

Editora de contenidos

Dra. M. Francisca Perera

Comisión asesora

Dra. Andrea N. Peña Malavera

Mg. Ing. Federico Franck Colombres

Responsable Técnico OJS

Ing. Jorge Poch

Ing. César Filippone

Arte, diseño y diagramación

Diego Lobo

Difusión

D.G. Silvio César Salmoiraghi

Coordinadora de Publicaciones

Dra. M. Francisca Perera



Revista
Industrial y
Agrícola de
Tucumán

Tomo 103 (1):
2026

ISSN
0370-5404

En línea
1851-3018

Artículos Científicos

Control de enfermedades de fin de ciclo en el cultivo de la soja en el noroeste argentino mediante el uso de fungicidas foliares **1**

Trabajos ya publicados

Comportamiento productivo y adaptación ambiental del cultivar TUC 03-12 analizado mediante dos métodos estadísticos **1**

Evaluación de indicadores de daño por heladas en variedades TUC de caña de azúcar en Tucumán, Argentina **6**

Proyecto Vitroplantas de la EEAOC: la importancia del diagnóstico fitosanitario y su impacto en el estado sanitario de los lotes comerciales en Tucumán, Argentina **14**

Estado actual del carbón de la caña de azúcar en Tucumán, Argentina – Evaluación de la resistencia genética y aplicaciones de fungicidas como estrategias de control **21**

Mejoras en el sector calentamiento y evaporación en un ingenio de Tucumán, Argentina **24**

Análisis retrospectivo de progenitores en el programa de mejoramiento genético de caña de azúcar de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres de 1998 a 2020 **27**

Nota Técnica

Primer registro de supervivencia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz Bt que expresa la proteína Vip3Aa20, en la Argentina **1**

EEAOC



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

Av. William Cross 3150
T4101XAC | Las Talitas
Tucumán | Argentina
Tel: (54 381) 452 1000
Fax: (54 381) 452 1008
direcc@eeaoc.org.ar
www.eeaoc.org.ar



Agradecimiento a los árbitros RIAT 103 (1) - 2026

El Editor Responsable de la Revista Industrial y Agrícola de Tucumán agradece especialmente a los siguientes especialistas, consultados en la evaluación de los trabajos publicados en el presente número.

Dra. Ana Cecilia Jalil

Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Agronomía, Zootecnia y Veterinaria – Cátedra de Terapéutica Vegetal. San Miguel de Tucumán, Tucumán. R. Argentina.

Dra. Josefina Racedo

ITANOA, EEAOC - CONICET (Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas). Las Talitas, Tucumán, Argentina.



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

Periodicidad

La Revista Industrial y Agrícola de Tucumán edita un volumen por año, en dos fascículos semestrales ocasionalmente incluidos en un solo número.

Se distribuye en su sitio web: <https://publicaciones.eeaoc.gob.ar/index.php/riat/index>

E-mail: publicaciones-ojs@eeaoc.org.ar

Tel.: +54 381 452 1000 (Int.) 256 – CP 4101

Las Talitas – Tucumán, Argentina – CC N° 9

<https://www.eeaoc.gob.ar>





Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 103 (1):
1-7; 2026



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

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

Artículo Científico

Control de enfermedades de fin de ciclo en el cultivo de la soja en el noroeste argentino mediante el uso de fungicidas foliares

Sebastian Reznikov*, Juliana Bleckwedel*, Raúl E. Nieva** y Victoria Gonzalez*

* 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. Av. William Cross 3150, Las Talitas T4101XAC, Tucumán, Argentina. ** Sección Fitopatología, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Av. William Cross 3150, C.P. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, Argentina.
Email: sebastianreznikov@eeaac.org.ar

RESUMEN

Las enfermedades de fin de ciclo (EFC) representan una limitante significativa para el rendimiento y la calidad de semilla en el cultivo de soja en el noroeste argentino. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficacia de distintos fungicidas foliares en el control de EFC bajo condiciones agroecológicas regionales. Se realizaron ensayos a campo durante la campaña 2023/2024 en tres localidades (Coronel Mollinedo y General Mosconi, Salta y San Agustín, Tucumán), utilizando un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se aplicaron diez tratamientos fungicidas en estadios R3/R4 y R5.3 y se evaluaron parámetros fitopatológicos y productivos. Los resultados mostraron que todos los tratamientos redujeron significativamente la altura alcanzada por mancha marrón y la severidad de mancha anillada respecto al testigo, destacándose Miravis Duo, Orquesta Ultra y Priaxor por su mayor eficacia de control, reducción de defoliación y aumento de rendimiento, con incrementos de hasta 806,9 kg/ha. Se concluye que el uso estratégico de fungicidas foliares, especialmente aquellos con carboxamidas, mejoran el control de EFC y contribuyen a optimizar el rendimiento del cultivo en ambientes con alta presión de enfermedades.

Palabras clave: mancha marrón, mancha anillada, severidad, rendimiento.

ABSTRACT

Control of late-season diseases in soybean crop at northwestern Argentina through the use of foliar fungicides

Common late-season soybean diseases (LSDs) are a major limitation on soybean yield and seed quality in northwestern Argentina. This study aimed to evaluate the efficacy of different foliar fungicides for LSD control under regional agroecological conditions. Field trials were conducted during the 2023/2024 growing season in three locations (Coronel Mollinedo and General Mosconi, Salta and San Agustín, Tucumán), using a randomized block design with four replications. Ten fungicide treatments were applied at growth stages R3/R4 and R5.3, and phytopathological and yield parameters were evaluated. All treatments significantly reduced brown spot vertical progression and target spot severity compared to the untreated control. Miravis Duo, Orquesta Ultra and Priaxor demonstrated the highest control efficacy, with notable reduction in defoliation and yield increases of up to 806.9 kg/ha. The study concludes that the use of foliar fungicides, especially those containing carboxamides, increases LSD control and optimizes crop production under high disease level.

Key words: brown spot, target spot, severity, yield.

Fecha de
recepción:
17/10/2025

Fecha de
aceptación:
11/11/2025

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades de fin de ciclo (EFC) en el cultivo de soja constituyen una de las principales limitantes para alcanzar altos rendimientos en regiones productivas del noroeste argentino. Este grupo de patologías, entre las que se destacan mancha marrón (*Septoria glycines*), mancha anillada (*Corynespora cassiicola*) y tizón de la hoja por *Cercospora* (*Cercospora kikuchii*), se manifiestan principalmente en los estadios reproductivos del cultivo, generando defoliación prematura, reducción en el llenado de granos y deterioro en la calidad de la semilla (Ploper *et al.*, 2006). La incidencia de estas enfermedades se ve favorecida por las condiciones climáticas propias de la región, caracterizadas por una elevada humedad relativa, temperaturas moderadas y frecuentes precipitaciones durante el ciclo del cultivo (Pastore, 2019).

El control químico mediante el uso de fungicidas foliares se ha consolidado como una herramienta clave dentro de los esquemas de manejo integrado de enfermedades. En particular, el uso de mezclas que combinan triazoles, estrobilurinas y carboxamidas ha demostrado una alta eficacia en el control de EFC, gracias a su acción complementaria sobre distintos mecanismos bioquímicos del hongo y su capacidad para reducir el riesgo de resistencia (Couretot *et al.*, 2019; Mueller *et al.*, 2013). La correcta elección del momento de aplicación (frecuentemente entre los estadios R3 y R5) y los niveles de enfermedad son factores críticos que determinan el éxito del tratamiento (Reznikov *et al.*, 2019).

Diversos estudios han demostrado incrementos significativos en el rendimiento y mejoras en los parámetros de calidad de semilla cuando se aplican fungicidas foliares en condiciones de alta presión de enfermedad (Ploper *et al.*, 2006). Sin embargo, la respuesta agronómica puede variar según el principio activo utilizado, el momento de aplicación y las condiciones agroecológicas locales (Reznikov *et al.*, 2019). En este contexto, resulta fundamental generar información regional que permita ajustar las recomendaciones técnicas a las particularidades del noroeste argentino.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la eficacia de distintos fungicidas foliares en el control de enfermedades de fin de ciclo en soja, bajo condiciones agroecológicas del noroeste argentino, contribuyendo al

desarrollo de estrategias de manejo integrado que promuevan la sostenibilidad del sistema productivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron durante la campaña de soja 2023/2024 en tres localidades del noroeste argentino. El primero se sembró el 28 de diciembre de 2023 con la variedad DM 80K80 en Coronel Mollinedo, departamento Anta, provincia de Salta, República Argentina (24°31'42.5"S 64°06'17.9"W). El segundo se estableció el 5 de enero de 2024 con la variedad DM 75K75 en General Mosconi, departamento San Martín, provincia de Salta, República Argentina (22°35'23.7"S 63°46'25.3"W). El tercero se sembró el 12 de enero de 2024 con la variedad 78B24CE en San Agustín, departamento Cruz Alta, provincia de Tucumán, República Argentina (26°49'46.7"S 64°51'50.0"W).

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con cuatro repeticiones. Cada parcela consistía en dos metros de ancho por seis metros de largo y se sembraron 20 semillas por metro lineal. Los principios activos testeados y el diseño experimental utilizado se presentan en la Tabla 1.

Para la determinación de los estados de desarrollo de la soja se utilizó la escala de Fehr y Caviness (Fehr *et al.*, 1971).

Las aplicaciones se realizaron en momentos de baja radiación solar, evitando altas temperaturas y vientos fuertes que pudieran provocar la evaporación rápida o la deriva del producto. Para la aplicación del ensayo se utilizó una mochila experimental de presión constante (fuente CO₂) provista de pastillas de cono hueco 80-010, calibrada para descargar un volumen de aplicación de 150 l/ha. Los parámetros evaluados fueron:

- Incidencia (%) y altura (%) de mancha marrón (*Septoria glycines*)
- Incidencia (%) y severidad (%) de mancha anillada (*Corynespora cassiicola*)
- Defoliación (%)
- Rendimiento (kg/ha), variación de rendimiento respecto al testigo (kg/ha) y peso de 1000 semillas (g)

En el caso de mancha marrón, la incidencia se determinó como el porcentaje del número de plantas enfermas sobre el total de plantas evaluadas. El porcentaje

Tabla 1. Tratamientos, principios activos, dosis y momento de aplicación de los fungicidas evaluados en los ensayos a campo. Campaña 2023/2024.

Tratamientos	Principios activos	Dosis cc/ha	Momento
1-Testigo			
2-Opera	pyraclostrobin 13,3% + epoxiconazole 3%	500	R3/R4
3-Melyra	pyraclostrobin 20% + mefentrifluconazole 20%	600	R3/R4
4-Amistar Xtra	azoxistrobina 20% + cyproconazole 8%	300	R3/R4
5-Opera	pyraclostrobin 13,3% + epoxiconazole 3%	500	R3/R4 + R5.3
6-Melyra	pyraclostrobin 20% + mefentrifluconazole 20%	600	R3/R4 + R5.3
7-Amistar Xtra	azoxistrobina 20% + cyproconazole 8%	300	R3/R4 + R5.3
8-Priaxor	pyraclostrobin 33,3% + fluxapyroxad 16,7%	300	R3/R4
9-Orquesta Ultra	pyraclostrobin 8,1% + epoxiconazole 5% + fluxapyroxad 5%	800	R3/R4
10-Miravis Duo	difenoconazole 12,5% + pydiflumetofen 7,5%	600	R3/R4

de altura alcanzada por la enfermedad se obtuvo midiendo el progreso vertical de mancha marrón desde la base de la planta hasta las hojas superiores con síntomas, en relación con la altura total de la planta.

Para mancha anillada, la incidencia se calculó como el porcentaje del número de folíolos enfermos sobre el total de folíolos evaluados, mientras que severidad se estimó como el porcentaje del área del folíolo afectado por la enfermedad con respecto al área total del folíolo.

Las evaluaciones de altura alcanzada, incidencia y severidad de las enfermedades se realizaron de manera visual, a campo.

Las fechas de las aplicaciones y de las evaluaciones para cada localidad se presentan en la Tabla 2.

Los datos presentaron una distribución normal y fueron evaluados estadísticamente con modelos lineales mixtos. Como efecto aleatorio se tomaron los bloques para las variables analizadas y se realizó un test de comparación de medias (LSD, $\alpha=0,05$), utilizando el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

En la Tabla 3 se presentan los parámetros meteorológicos de los lotes durante la realización de los ensayos.

■ RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de incidencia y altura alcanzada por mancha marrón y los valores de incidencia y severidad de mancha anillada en el estadio fenológico R6 para los diferentes tratamientos evaluados en el ensayo en Coronel Mollinedo, Anta, Salta se muestran en la Tabla 4.

La incidencia de mancha marrón fue del 100% en todos los tratamientos evaluados en estadio fenológico R6. Por otro lado, el testigo presentó una altura alcanzada por la enfermedad de 38,8% y todos los tratamientos evaluados se diferenciaron estadísticamente del mismo (p -valor $< 0,0001$). Los tratamientos que presentaron los menores valores de altura de enfermedad fueron: Orquesta Ultra en R3/R4 (9,2%), Miravis Duo en R3/R4 (11,2%) y

Tabla 2. Fechas de aplicaciones, evaluaciones y cosecha de los ensayos.

Ensayos	Aplicación en R3	Aplicación en R5.3	Evaluación R6	Evaluación R7	Cosecha
Coronel Mollinedo, Anta, Salta	02/03/2024	22/03/2024	29/03/2024	14/04/2024	06/05/2024
General Mosconi, San Martín, Salta	29/02/2024	21/03/2024	29/03/2024	14/04/2024	07/05/2024
San Agustín, Cruz Alta, Tucumán	29/02/2024	28/03/2024	04/04/2024	18/04/2024	18/05/2024

Tabla 3. Precipitaciones en mm registradas desde el 1 de enero al 30 de abril de 2024 en los lotes de los ensayos realizados a campo.

Parámetros	San Agustín, Tucumán	General Mosconi, Salta	Coronel Mollinedo, Salta
Precipitación total (mm)	484,4	297,0	613,0
Precipitación máxima diaria (mm)	65,8	88,0	104,0
Días con precipitaciones	50	21	14

Tabla 4. Valores de incidencia (%) y altura (%) de mancha marrón e incidencia (%) y severidad (%) de mancha anillada en el ensayo a campo realizado en Coronel Mollinedo, Salta.

Tratamientos	Momento	Mancha marrón		Mancha anillada	
		Incidencia (%)	Altura (%)	Incidencia (%)	Severidad (%)
1-Testigo		100	38,8 A	100	38,8 A
2-Opera	R3/R4	100	28,8 C	100	30,0 B
3-Melyra	R3/R4	100	28,8 C	100	26,2 C
4-Amistar Xtra	R3/R4	100	28,8 C	100	28,8 BC
5-Opera	R3/R4 + R5.3	100	32,5 B	100	20,0 D
6-Melyra	R3/R4 + R5.3	100	28,8 C	100	18,8 D
7-Amistar Xtra	R3/R4 + R5.3	100	23,8 D	100	15,0 E
8-Priaxor	R3/R4	100	18,8 E	100	8,5 F
9-Orquesta Ultra	R3/R4	100	9,2 F	100	6,0 FG
10-Miravis Duo	R3/R4	100	11,2 F	100	5,5 G
p-valor			<0,0001		<0,0001

* Los promedios en cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente (LSD, p -valor $< 0,05$).

Priaxor en R3/R4 (18,8%).

En cuanto a mancha anillada, los valores de incidencia fueron de 100% en todos los tratamientos evaluados. En relación a la severidad, el testigo presentó un valor de 38,8% y todos los tratamientos presentaron menores valores respecto a éste con diferencias estadísticas (p -valor $< 0,0001$). Los tratamientos que presentaron los menores valores de severidad fueron: Miravis Duo en R3/R4 (5,5%), Orquesta Ultra en R3/R4 (6,0%) y Priaxor en R3/R4 (8,5%).

La Tabla 5 presenta los valores de defoliación (%), rendimiento (kg/ha), variación de rendimiento respecto al testigo (kg/ha) y peso de 1000 semillas (g). El testigo presentó una defoliación del 95,0% y todos los tratamientos se diferenciaron estadísticamente (p -valor $< 0,0001$) de este. Los tratamientos que presentaron los menores valores de defoliación fueron: Miravis Duo en R3/R4 (72,5%) y Orquesta Ultra en R3/R4 (75,0%).

En cuanto a rendimiento, los valores oscilaron entre 2359,4 y 2998,9 kg/ha (Testigo y Orquesta Ultra en R3/R4, respectivamente). Los tratamientos que se diferenciaron estadísticamente del testigo (p -valor = 0,0005) fue-

ron: Melyra en R3/R4 + R5.3 (2738,9 kg/ha), Amistar Xtra en R3/R4 + R5.3 (2747,8 kg/ha), Opera en R3/R4 + R5.3 (2773,5 kg/ha), Priaxor en R3/R4 (2836,6 kg/ha), Miravis Duo en R3/R4 (2961,4 kg/ha) y Orquesta Ultra en R3/R4 (2998,9 kg/ha). Las variaciones de rendimiento respecto al testigo sin tratar estuvieron en un rango de entre 93,9 a 639,5 kg/ha para los diferentes tratamientos evaluados.

En cuanto al peso de 1000 semillas, los tratamientos evaluados no presentaron diferencias estadísticas (p -valor = 0,3081) respecto al testigo (162,5 g).

Los valores de incidencia y altura alcanzada por mancha marrón y los valores de incidencia y severidad de mancha anillada en el estadio fenológico R6 para los diferentes tratamientos evaluados en el ensayo en General Mosconi (San Martín, Salta) se observan en la Tabla 6.

La incidencia de mancha marrón fue del 100% en todos los tratamientos evaluados en estadio fenológico R6. Por otro lado, el testigo presentó una altura alcanzada por la enfermedad de 27,5% y todos los tratamientos evaluados se diferenciaron estadísticamente del mismo (p -valor $< 0,0001$). Los tratamientos que presentaron los menores valores de altura de la enfermedad fueron: Orquesta Ultra

Tabla 5. Valores de defoliación en R7 (%), rendimiento (kg/ha), variación de rendimiento respecto al testigo (kg/ha) y peso de 1000 semillas (g) en el ensayo a campo realizado en Coronel Mollinedo, Salta.

Tratamientos	Momento	Defoliación (%)	Rendimiento (kg/ha)	Variación (kg/ha)	P1000 semillas (g)
1-Testigo		95,0 A	2359,4 C		162,5
2-Opera	R3/R4	91,2 B	2453,3 C	93,9	160,4
3-Melyra	R3/R4	91,2 B	2531,4 BC	172,0	162,0
4-Amistar Xtra	R3/R4	91,2 B	2553,6 BC	194,2	166,2
5-Opera	R3/R4 + R5.3	90,0 B	2773,5 AB	414,1	164,2
6-Melyra	R3/R4 + R5.3	88,8 B	2738,9 AB	379,5	165,2
7-Amistar Xtra	R3/R4 + R5.3	82,5 C	2747,8 AB	388,4	156,0
8-Priaxor	R3/R4	82,5 C	2836,6 A	477,2	165,1
9-Orquesta Ultra	R3/R4	75,0 D	2998,9 A	639,5	158,5
10-Miravis Duo	R3/R4	72,5 D	2961,4 A	602,0	163,3
p-valor		<0,0001	0,0005		0,3081

* Los promedios en cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente (LSD, p -valor $< 0,05$).

Tabla 6. Valores de incidencia (%) y altura (%) de mancha marrón e incidencia (%) y severidad (%) de mancha anillada en el ensayo a campo realizado en General Mosconi, Salta.

Tratamientos	Momento	Mancha marrón		Mancha anillada	
		Incidencia (%)	Altura (%)	Incidencia (%)	Severidad (%)
1-Testigo		100	27,5 A	100	5,5 A
2-Opera	R3/R4	100	17,5 B	100	5,0 A
3-Melyra	R3/R4	100	13,8 BCD	100	1,8 BC
4-Amistar Xtra	R3/R4	100	12,5 CD	100	3,0 B
5-Opera	R3/R4 + R5.3	100	11,2 D	100	1,5 BC
6-Melyra	R3/R4 + R5.3	100	16,2 BC	100	2,0 BC
7-Amistar Xtra	R3/R4 + R5.3	100	10,5 DE	100	1,5 BC
8-Priaxor	R3/R4	100	13,8 BCD	100	1,0 C
9-Orquesta Ultra	R3/R4	100	6,2 E	100	0,8 C
10-Miravis Duo	R3/R4	100	6,2 E	100	0,5 C
p-valor			<0,0001		<0,0001

* Los promedios en cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente (LSD, p -valor $< 0,05$).

en R3/R4 (6,2%), Miravis Duo en R3/R4 (6,2%) y Amistar Xtra en R3/R4 + R5.3 (10,5%).

En cuanto a mancha anillada, los valores de incidencia fueron de 100% en todos los tratamientos evaluados. Para el parámetro severidad, el testigo presentó un valor de 5,5% y todos los tratamientos presentaron menores valores respecto a este con diferencias estadísticamente significativas (p -valor $< 0,0001$), a excepción del tratamiento Opera en R3/R4 (5,0%). Los tratamientos que presentaron los menores valores de severidad fueron: Miravis Duo en R3/R4 (0,5%), Orquesta Ultra en R3/R4 (0,8%), Priaxor en R3/R4 (1,0%), Amistar Xtra en R3/R4 + R5.3 (1,5%), Opera en R3/R4 + R5.3 (1,5%), Melyra en R3/R4 (1,8%) y Melyra en R3/R4 + R5.3 (2,0%).

La Tabla 7 presenta los valores de defoliación (%), rendimiento (kg/ha), variación de rendimiento respecto al testigo (kg/ha) y peso de 1000 semillas (g).

El testigo presentó una defoliación de 86,2% y todos los tratamientos se diferenciaron significativamente (p -valor = 0,0070) de este, a excepción de Opera en R3/R4 y Opera en R3/R4 + R5.3. Los tratamientos que presentaron los menores valores de defoliación fueron Amistar Xtra

en R3/R4 + R5.3 (67,5%), y Miravis Duo y Orquesta Ultra aplicados en R3/R4 (72,5%).

En cuanto a rendimiento, los valores oscilaron entre 1528,3 y 2080,4 kg/ha (Testigo y Miravis Duo en R3/R4, respectivamente). Los tratamientos que se diferenciaron significativamente del testigo (p -valor $< 0,0001$) fueron: Amistar Xtra en R3/R4 (1803,6 kg/ha), Melyra en R3/R4 (1831,2 kg/ha), Melyra en R3/R4 + R5.3 (1953,5 kg/ha), Amistar Xtra en R3/R4 + R5.3 (1957,0 kg/ha), Orquesta Ultra en R3/R4 (1982,6 kg/ha) y Miravis Duo en R3/R4 (2080,4 kg/ha). Las variaciones de rendimiento respecto al testigo sin tratar estuvieron en un rango de entre 5,3 a 552,1 kg/ha para los diferentes tratamientos evaluados.

En cuanto al peso de 1000 semillas, los tratamientos evaluados no presentaron diferencias significativas (p -valor = 0,9457) respecto al testigo (124,8 g).

Los valores de incidencia y altura alcanzada por mancha marrón y los valores de incidencia y severidad de mancha anillada en el estadio fenológico R6 para los diferentes tratamientos evaluados en el ensayo en San Agustín (Cruz Alta, Tucumán) se observan en la Tabla 8.

La incidencia de mancha marrón fue del 100% en

Tabla 7. Valores de defoliación en R7 (%), rendimiento (kg/ha), variación de rendimiento respecto al testigo (kg/ha) y peso de 1000 semillas (g) en el ensayo a campo realizado en General Mosconi, Salta.

Tratamientos	Momento	Defoliación (%)	Rendimiento (kg/ha)	Variación (kg/ha)	P1000 semillas (g)
1-Testigo		86,2 A	1528,3 C		124,8
2-Opera	R3/R4	83,8 AB	1533,6 C	5,3	127,0
3-Melyra	R3/R4	76,2 BC	1831,2 B	302,9	125,2
4-Amistar Xtra	R3/R4	77,5 BC	1803,6 B	275,3	127,2
5-Opera	R3/R4 + R5.3	78,8 ABC	1568,3 C	40	126,0
6-Melyra	R3/R4 + R5.3	77,5 BC	1953,5 AB	425,2	127,2
7-Amistar Xtra	R3/R4 + R5.3	67,5 D	1957,0 AB	428,7	125,8
8-Priaxor	R3/R4	78,8 AB	1601,4 C	73,1	126,5
9-Orquesta Ultra	R3/R4	72,5 CD	1982,6 AB	454,3	128,2
10-Miravis Duo	R3/R4	72,5 CD	2080,4 A	552,1	128,5
p-valor		0,0070	<0,0001		0,9457

* Los promedios en cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente (LSD, p -valor $< 0,05$).

Tabla 8. Valores de incidencia (%) y altura (%) de mancha marrón e incidencia (%) y severidad (%) de mancha anillada en el ensayo a campo realizado en San Agustín, Tucumán.

Tratamientos	Momento	Mancha marrón		Mancha anillada	
		Incidencia (%)	Altura (%)	Incidencia (%)	Severidad (%)
1-Testigo		100	26,2 A	100	14,2 A
2-Opera	R3/R4	100	16,8 B	100	9,2 B
3-Melyra	R3/R4	100	9,0 DE	100	6,0 BC
4-Amistar Xtra	R3/R4	100	12,5 C	100	6,0 BC
5-Opera	R3/R4 + R5.3	100	11,2 CD	100	7,0 BC
6-Melyra	R3/R4 + R5.3	100	7,8 E	100	4,5 C
7-Amistar Xtra	R3/R4 + R5.3	100	10,5 CDE	100	6,0 BC
8-Priaxor	R3/R4	100	8,8 DE	100	4,8 C
9-Orquesta Ultra	R3/R4	100	10,0 CDE	100	5,0 C
10-Miravis Duo	R3/R4	100	7,8 E	100	4,0 C
p-valor			<0,0001		<0,0001

* Los promedios en cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente (LSD, p -valor $< 0,05$).

todos los tratamientos evaluados en estadio fenológico R6. Por otro lado, el testigo presentó una altura alcanzada por la enfermedad de 26,2% y todos los tratamientos evaluados se diferenciaron significativamente del mismo ($P < 0,0001$). Los tratamientos que presentaron los menores valores de altura de enfermedad fueron: Miravis Duo en R3/R4 (7,8%), Melyra en R3/R4 + R5.3 (7,8%), Priaxor en R3/R4 (8,8%), Melyra en R3/R4 (9,0%), Orquesta Ultra en R3/R4 (10,0%) y Amistar Xtra en R3/R4 + R5.3 (10,5%).

Para mancha anillada, los valores de incidencia fueron de 100% en todos los tratamientos evaluados. En cuanto a la severidad, el testigo presentó un valor de 11,8% y todos los tratamientos presentaron menores valores respecto a éste con diferencias significativas (p -valor $< 0,0001$). Los tratamientos que presentaron los menores valores de severidad fueron: Miravis Duo en R3/R4 (4,0%), Melyra en R3/R4 + R5.3 (4,5%), Priaxor en R3/R4 (4,8%) y Orquesta Ultra en R3/R4 (5,0%).

La Tabla 9 presenta los valores de defoliación (%), rendimiento (kg/ha), variación de rendimiento respecto al testigo (kg/ha) y peso de 1000 semillas (g).

El testigo presentó una defoliación del 86,2% y los tratamientos Miravis Duo en R3/R4 (27,5%), Melyra en R3/R4 + R5.3 (27,5%), Melyra en R3/R4 (37,5%), Orquesta Ultra en R3/R4 (63,8%) y Amistar Xtra en R3/R4 + R5.3 (67,5%) se diferenciaron significativamente (p -valor $< 0,0001$) de este.

En cuanto a rendimiento, los valores oscilaron entre 2140,9 y 2947,8 kg/ha (Testigo y Orquesta Ultra en R3/R4, respectivamente). Los tratamientos que se diferenciaron significativamente del testigo (p -valor = 0,0124) fueron: Melyra en R3/R4 (2607,4 kg/ha), Priaxor en R3/R4 (2694,9 kg/ha), Melyra en R3/R4 + R5.3 (2699,3 kg/ha), Amistar Xtra en R3/R4 (2714,3 kg/ha), Miravis Duo en R3/R4 (2898,3 kg/ha) y Orquesta Ultra en R3/R4 (2947,8 kg/ha). Las variaciones de rendimiento respecto al testigo sin tratar estuvieron en un rango de entre 276,0 a 806,9 kg/ha para los diferentes tratamientos evaluados.

En cuanto al peso de 1000 semillas, todos los tratamientos evaluados presentaron diferencias significativas ($P = 0,0134$) respecto al testigo (165,6 g) a excepción de Amistar Xtra en R3/R4 + R5.3.

Los resultados obtenidos en los tres sitios de evaluación confirman la elevada incidencia de enfermedades de fin de ciclo (EFC) en el cultivo de soja en el noroeste argentino, con valores del 100% para mancha marrón (*Septoria glycines*) y mancha anillada (*Corynespora cassiicola*) en todos los tratamientos evaluados en estadio R6. Esto refleja que las condiciones fueron favorables en las localidades evaluadas para el desarrollo de estas enfermedades, lo cual coincide con lo descripto por Ploper *et al.* (2006) en el noroeste argentino, y Couretot *et al.* (2019) en el norte de Buenos Aires y el sur de Santa Fe.

La aplicación de fungicidas foliares mostró una eficacia significativa en el control de ambas enfermedades, especialmente en los tratamientos que incluyeron carboxamidas. Miravis Duo, Orquesta Ultra y Priaxor se destacaron por su capacidad para limitar el progreso vertical de mancha marrón y disminuir la severidad de mancha anillada, con diferencias significativas respecto al testigo en todos los sitios. Estos resultados coinciden con lo informado por Carmona (2018), quien señaló que las formulaciones con carboxamidas presentan una acción prolongada y una alta eficacia en condiciones de elevada humedad, favoreciendo el control de EFC y otras enfermedades foliares como la roya asiática de la soja.

En términos de defoliación, los tratamientos con Miravis Duo y Orquesta Ultra presentaron los menores valores en Coronel Mollinedo y General Mosconi, mientras que en San Agustín, Melyra aplicado en R3/R4 + R5.3 también mostró una reducción significativa. La menor defoliación se tradujo en incrementos de rendimiento estadísticamente significativos, alcanzando hasta 806,9 kg/ha en San Agustín con Orquesta Ultra. Este comportamiento agronómico está alineado con lo observado por Carmona *et al.* (2015), quienes demostraron que la aplicación estratégica de fungicidas foliares puede mejorar el rendimiento.

CONCLUSIONES

Los ensayos realizados en Coronel Mollinedo, General Mosconi y San Agustín durante la campaña 2023/2024 evidenciaron que, si bien no se observaron di-

Tabla 9. Valores de defoliación en R7 (%), rendimiento (kg/ha), variación de rendimiento respecto al testigo (kg/ha) y peso de 1000 semillas (g) en el ensayo a campo realizado en San Agustín, Tucumán.

Tratamientos	Momento	Defoliación (%)	Rendimiento (kg/ha)	Variación (kg/ha)	P1000 semillas (g)
1-Testigo		86,2 A	2140,9 D		165,6 C
2-Opera	R3/R4	83,8 A	2416,9 BCD	276,0	181,6 AB
3-Melyra	R3/R4	37,5 D	2607,4 ABC	466,5	185,9 AB
4-Amistar Xtra	R3/R4	77,5 AB	2714,3 AB	573,4	186,9 AB
5-Opera	R3/R4 + R5.3	78,8 AB	2299,4 CD	158,5	179,1 AB
6-Melyra	R3/R4 + R5.3	27,5 D	2699,3 ABC	558,4	190,5 A
7-Amistar Xtra	R3/R4 + R5.3	67,5 BC	2562,8 ABCD	421,9	175,7 BC
8-Priaxor	R3/R4	78,8 AB	2694,9 ABC	554,0	179,6 AB
9-Orquesta Ultra	R3/R4	63,8 C	2947,8 A	806,9	183,6 AB
10-Miravis Duo	R3/R4	27,5 D	2898,3 A	757,4	180,1 AB
p-valor		<0,0001	0,0124		0,0134

* Los promedios en cada columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente (LSD, p -valor $< 0,05$).

ferencias significativas en la incidencia de mancha marrón y mancha anillada entre tratamientos, sí se registraron diferencias en altura alcanzada por mancha marrón, severidad foliar de mancha anillada, defoliación y rendimiento. Los tratamientos que incluyeron mezclas que contenían carboxamidas presentaron la mayor eficacia en el control de mancha marrón y mancha anillada, como así también menores valores de defoliación e incrementos de rendimiento de hasta 806,9 kg/ha respecto al testigo.

La eficacia observada estuvo estrechamente relacionada con los niveles de enfermedad registrados en cada localidad, destacando la importancia de ajustar las estrategias de manejo según el contexto epidemiológico. Además, se confirmó que la aplicación en estadios reproductivos tempranos (R3/R4) es clave para maximizar el impacto del tratamiento.

Estos resultados respaldan el uso estratégico de fungicidas foliares como herramienta efectiva dentro de un enfoque integrado de manejo de enfermedades de fin de ciclo en soja. Se recomienda continuar con las evaluaciones en distintos ambientes para fortalecer las recomendaciones técnicas y promover decisiones agronómicas más precisas y sostenibles.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Carmona, M. A. 2018.** Enfermedades de fin de ciclo y roya asiática de la soja: Un análisis de sus daños y el uso estratégico de fungicidas. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. <https://www.agro.uba.ar/sites/default/files/documentos/publicaciones/enfermedadesroyaasiaticafungicidas.pdf>.
- Carmona, M.; F. Sautua; S. Perelman; M. Gally and E. M. Reis. 2015.** Development and validation of a fungicide scoring system for management of late season soybean diseases in Argentina. *Crop Protection* 70: 83-91.
- Couretot, L.; M. Pastore; A. Curti; P. Angelotti; A. Samoiloff; G. Magnone; H. Russian y M. Labatte. 2019.** Fungicidas foliares en soja: eficacia en el control de enfermedades y respuesta al rendimiento en tres localidades, norte de Bs As y sur de Santa Fe. Campaña 2018/19. <https://core.ac.uk/download/322642724.pdf>
- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada y C. W. Robledo. InfoStat versión 2020.** Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Fehr, W. R.; C. E. Caviness; D. T. Burmood and J. S. Pennington. 1971.** Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci.* 11: 929-931.
- Mueller, D. S.; K. A. Wise; A. J. Sisson; T. W. Allen; C. A. Bradley; M. I. Chilvers and P. D. Esker. 2013.** Fungicides for field crops. *Crop Protection Network*.
- Pastore, M. 2019.** Control de enfermedades y manejo de fitoestimulantes foliares en soja. Campaña 2018/19. Spraytec Argentina.
- Ploper, L. D.; N. A. Formento; S. Barberis; S. Distefano; D. Cruz; R. M. Galvez; V. L. Gonzalez Blazek; A. Sylvestre Begnis; A. Bianchini; S. Lorenzatti; D. Peruzzi y J. Rabasa. 2006.** Evaluación de fungicidas para el control de las enfermedades de fin de ciclo y efecto de la fertilización foliar en soja: Análisis de tres campañas en Argentina. *Revista Técnica de AAPRESID, Soja en Siembra Directa*, 1850-0633.
- Reznikov, S.; V. De Lisi; P. Claps; V. Gonzalez; M. R. Devani; A. P. Castagnaro and L. D. Ploper. 2019.** Evaluation of the efficacy and application timing of different fungicides for management of soybean foliar diseases in northwestern Argentina. *Crop Protection* 124, 104844.



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 103 (1):
1-5; 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:
30/09/2025

Fecha de
aceptación:
03/12/2025

Comportamiento productivo y adaptación ambiental del cultivar TUC 03-12 analizado mediante dos métodos estadísticos

Ana C. Ghio*, Jorge V. Díaz*, Diego D. Henríquez*, Diego D. Costilla* y Santiago Ostengo*

* Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC.
Email: ceghio@eeaoc.org.ar

RESUMEN

El Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (PMGCA-EEAOC) tiene como uno de sus propósitos la obtención de genotipos adaptados a diferentes ambientes del área cañera de Tucumán, Argentina. Diferentes enfoques biométricos, tanto paramétricos como no paramétricos, permiten un análisis combinado del rendimiento y la estabilidad de un cultivar. El objetivo de este trabajo fue analizar, a través de dos enfoques estadísticos, el comportamiento productivo y la estabilidad de TUC 03-12, variedad liberada por el PMGCA-EEAOC y que actualmente es la segunda variedad más plantada en Tucumán. Los datos de rendimiento se obtuvieron de los ensayos multiambientales realizados en cinco localidades a lo largo de dos ciclos de cultivo (caña planta y primera soca), en los que se utilizó TUC 03-12 como testigo. Se emplearon dos metodologías de análisis: el modelo de regresión de sitios (SREG, análisis paramétrico multivariado) y el método de Consistencia Relativa de Rendimiento (análisis no paramétrico). El método paramétrico, *biplot* SREG, demostró un desempeño superior en rendimiento de caña de TUC 03-12 en ambas edades del cultivo, pero con una mayor estabilidad ambiental en soca 1 en comparación con la caña planta (al ubicarse más cerca del vector promedio de los ambientes evaluados). Este comportamiento fue confirmado por el método no paramétrico, el cual clasifica a TUC 03-12 como un cultivar “consistentemente superior” en la edad de soca 1. Ambos métodos resultaron útiles para inferir el sobresaliente desempeño de TUC 03-12 y su adaptabilidad a los diversos ambientes de la región cañera de Tucumán.

Palabras clave: caña de azúcar, adaptabilidad, estabilidad, interacción genotipo-ambiente.

ABSTRACT

Yield performance and environmental adaptability of cultivar TUC 03-12 analyzed by two statistical approaches

The Sugarcane Breeding Program of Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (SCBP-EEAOC) focuses on the development of cultivars with broad adaptation to different environments in the sugarcane-growing area of Tucumán, Argentina. Different biometric approaches, both parametric and non-parametric, allow for a combined analysis of the performance and stability of a cultivar. This study aimed to analyze, through two statistical approaches, the productive performance and stability of TUC 03-12, a cultivar developed and released by the SCBP-EEAOC, and currently the second-most planted in Tucumán. Yield data were obtained from a multi-environment trial conducted at five sites through two crop cycles (plant cane and first ratoon) where TUC 03-12 was used as a control. Two analysis methodologies were used: sites regression model (SREG, multivariate parametric test) and the ‘Relative Consistency Performance’ method (non-parametric test). The SREG Biplot showed the superior performance in cane yield of TUC 03-12 at both crop ages, with greater environmental stability in the first ratoon compared to plant cane (as it was located closer to the average vector of the evaluated environments). This

behavior is confirmed with the non-parametric method, which classifies TUC 03-12 as a 'consistently superior' cultivar at the first ratoon. Both methods proved useful in inferring the outstanding performance of TUC 03-12 and its adaptability to the diverse environments in the sugarcane-growing region of Tucumán.

Key words: sugar cane, adaptability, stability, genotype-environment interaction.

INTRODUCCIÓN

Los ensayos multiambientales son una herramienta clave en los programas de mejoramiento de caña de azúcar a nivel mundial, ya que permiten la identificación de genotipos superiores en diferentes ambientes y edades de cultivo. El Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (PMGCA-EEAOC) se enfoca en el desarrollo de variedades con amplia adaptación a diversos ambientes de la región cañera de Tucumán, Argentina. El estudio de la interacción genotipo-ambiente (G×E) se puede llevar a cabo mediante diferentes enfoques biométricos: métodos paramétricos y no paramétricos. El modelo de análisis de regresión por sitio (SREG) (Crossa y Cornelius, 1997) es ampliamente utilizado en caña de azúcar para interpretar, a través de un gráfico *biplot*, el rendimiento y la estabilidad de un cultivar (Chavanne *et al.*, 2007). El método no paramétrico de "Consistencia Relativa de Rendimiento" (Ketata *et al.*, 1989) también se emplea para estudios de G×E en caña de azúcar (Ostengo *et al.*, 2011).

El presente trabajo tiene como objetivo analizar, mediante estos dos enfoques estadísticos, el desempeño productivo y la estabilidad de TUC 03-12, cultivar desarrollado y liberado por el PMGCA-EEAOC y que actualmente constituye la segunda variedad más plantada en el área cañera de Tucumán, Argentina (Henríquez *et al.*, 2023).

MATERIALES Y MÉTODOS

TUC 03-12 fue utilizado como testigo en los ensayos multiambientales (METs-EEAOC) del PMGCA-EEAOC, plantado en cinco localidades contrastantes (Tabla 1) dentro del área cañera de Tucumán: Los Pérez (Departamento Cruz Alta), Río Seco (Departamento Monteros), Los Quemados (Departamento Leales), Campo de Herrera (Departamento Famaiyllá) y Simoca (Departamento Simoca).

El diseño experimental de cada ensayo fue de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. Las unidades experimentales consistieron en 3 sur-

cos de 10 metros de largo cada uno.

Los datos de rendimiento de caña (TCH: t caña/ha) se analizaron en dos edades de cultivo, caña planta y soca 1, utilizando dos metodologías de análisis: el modelo de regresión de sitios (SREG, prueba paramétrica multivariada) y la prueba no paramétrica "Consistencia Relativa de Rendimiento". El primero se basa en el análisis de Componentes Principales de las matrices de residuales de un modelo en el que los datos se ajustan únicamente por los efectos ambientales, y cuyos resultados se visualizan mediante gráficos *biplots*. Los genotipos distantes del origen sobre el eje del Componente Principal 1 (CP1) presentan altos rendimientos promedio, mientras que un genotipo estable es aquel cuya proyección en el eje del Componente Principal 2 (CP2, que representa la Interacción Genotipo-Ambiente, o G×E) es pequeña (Yan *et al.*, 2000). El *software* utilizado para analizar estos datos fue Infostat (Di Renzo *et al.*, 2018).

El análisis de Consistencia Relativa de Rendimiento consiste en el uso simultáneo de la media y la desviación estándar de los rangos genotípicos a través de diferentes localidades y la representación gráfica de estos dos parámetros. Esta metodología permite asignar cada genotipo a una de las siguientes cuatro clases: (i) consistentemente superior; (ii) inconsistentemente superior; (iii) inconsistentemente inferior; y (iv) consistentemente inferior.

RESULTADOS

En caña planta, la suma de los CP1 y CP2 explica el 75,8% de la variabilidad asociada con los efectos G y G×E (Figura 1). El cultivar TUC 03-12 muestra un desempeño sobresaliente en relación con sus competidores (valores de CP1 positivos), pero sus altos valores de CP2 se asocian a una baja estabilidad ambiental. Este comportamiento también se observa en el análisis no paramétrico (Figura 2), donde TUC 03-12 fue clasificado como "inconsistentemente superior", presentando mejor *ranking* medio y una desviación estándar superior al promedio para todos los clones.

Tabla 1. Detalles y características de los ambientes, en las localidades evaluadas.

Localidad	Heladas	Precipitaciones	Región Agroecológica	Textura	Clase Textural Agronómica	Napa	Sales
Los Pérez (LP)	Frecuente	Media	Llanura chaco pampeana	Franco Limoso	Medio	No	No
Campo Herrera (CH)	Poco Frecuente	Alta	Pedemonte	Fanco Arenoso	Pesado	Si	No
Río Seco (RS)	Poco Frecuente	Alta	Pedemonte	Franco	Liviano	No	No
Los Quemados (LQ)	Muy Frecuente	Baja	Llanura Deprimida Salina	Franco Arenoso	Liviano	Si	Si
Simoca (SI)	Muy Frecuente	Media	Llanura deprimida No salina	Franco Arenoso	Liviano	Si	No

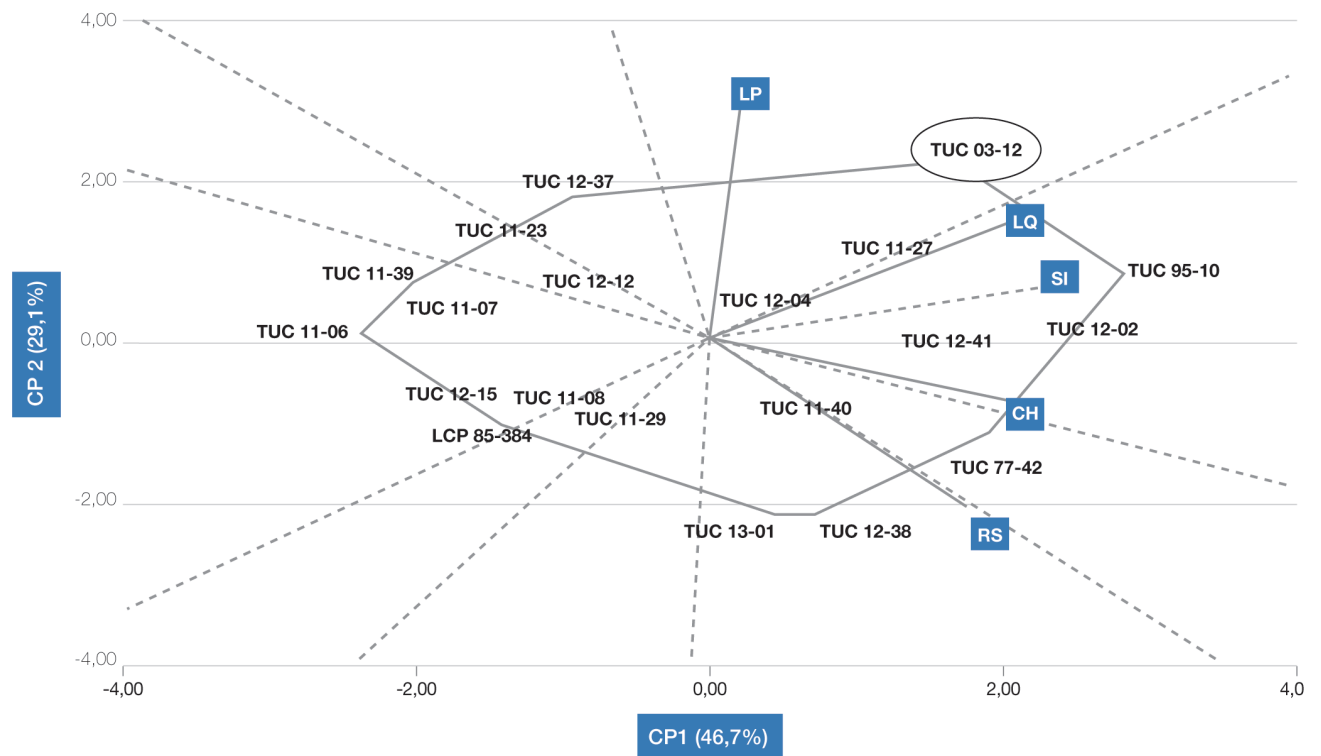


Figura 1. Gráfico SREG para el rendimiento de caña en cinco localidades de los METs-EEOC. Edad de cultivo: caña planta.

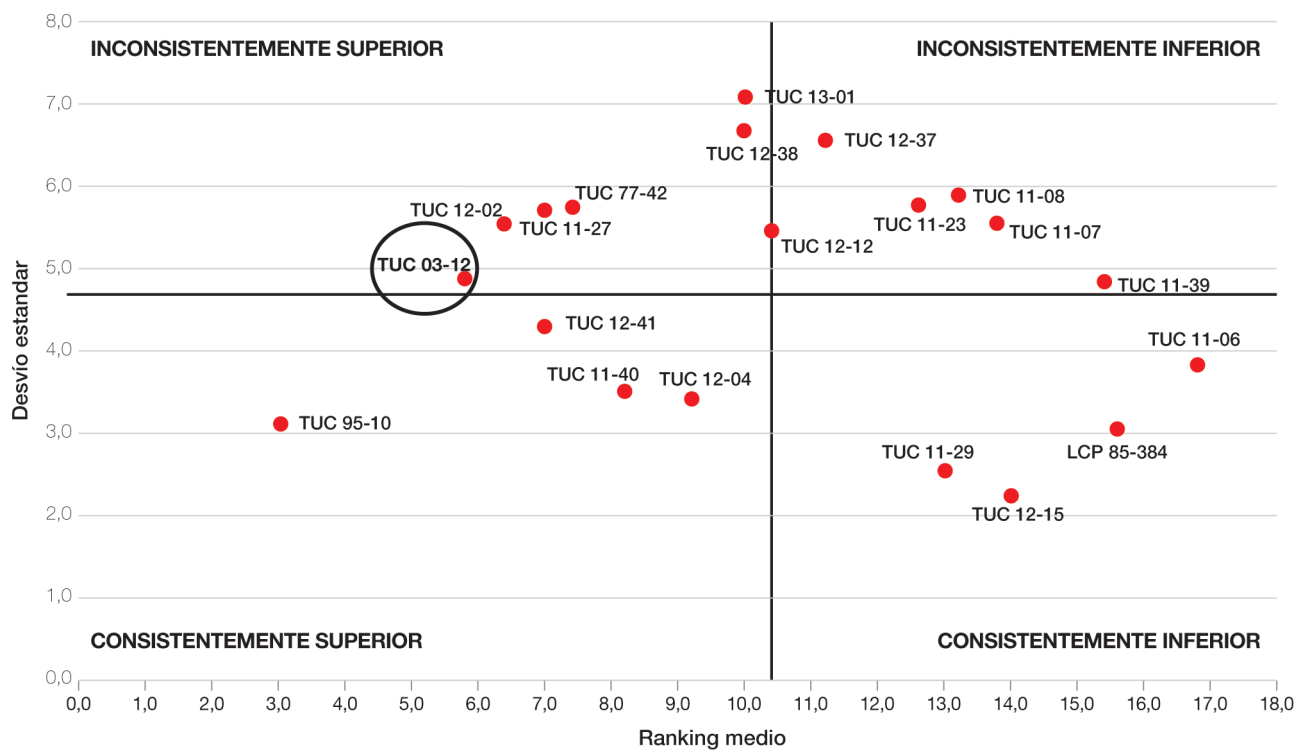


Figura 2. Valores medios de ranking y desviación estándar para el método de Consistencia Relativa de Rendimiento de caña a través de cinco localidades. Edad de cultivo: caña planta.

En la edad de soca 1, ambos componentes explican el 66,9% de la variabilidad asociada con los efectos G y G×E (Figura 3). En este ciclo, TUC 03-12 muestra un desempeño sobresaliente y estable en todos los ambientes ensayados (valores de CP1 positivos y valores de CP2 cercanos a cero). Este comportamiento se confirma con

el método no paramétrico, donde TUC 03-12 se clasifica como un cultivar “consistentemente superior” (cuadrante inferior izquierdo) (Figura 4); este cultivar se ubicó entre las primeras posiciones de producción de rendimiento de caña en todos los ambientes evaluados.

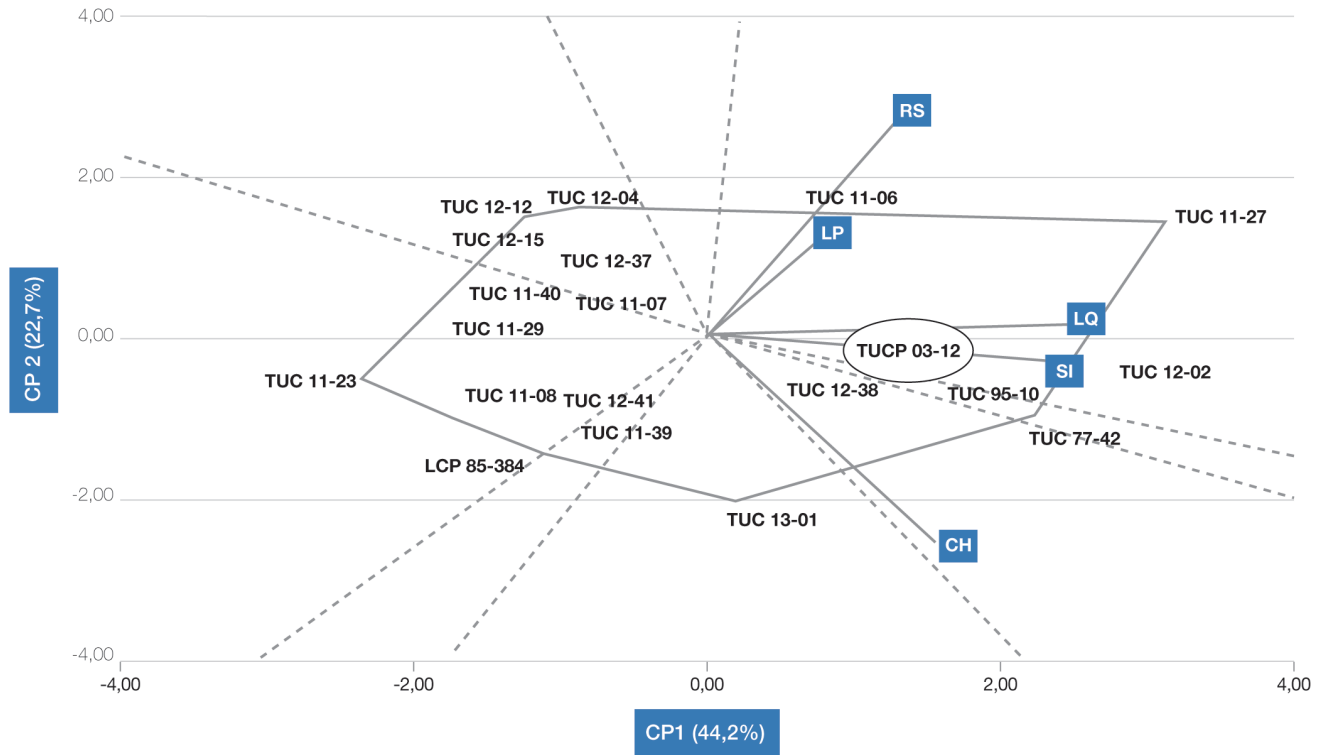


Figura 3. Gráfico SREG para el rendimiento de caña en cinco localidades de los METs-EEAOC. Edad de cultivo: soca 1.

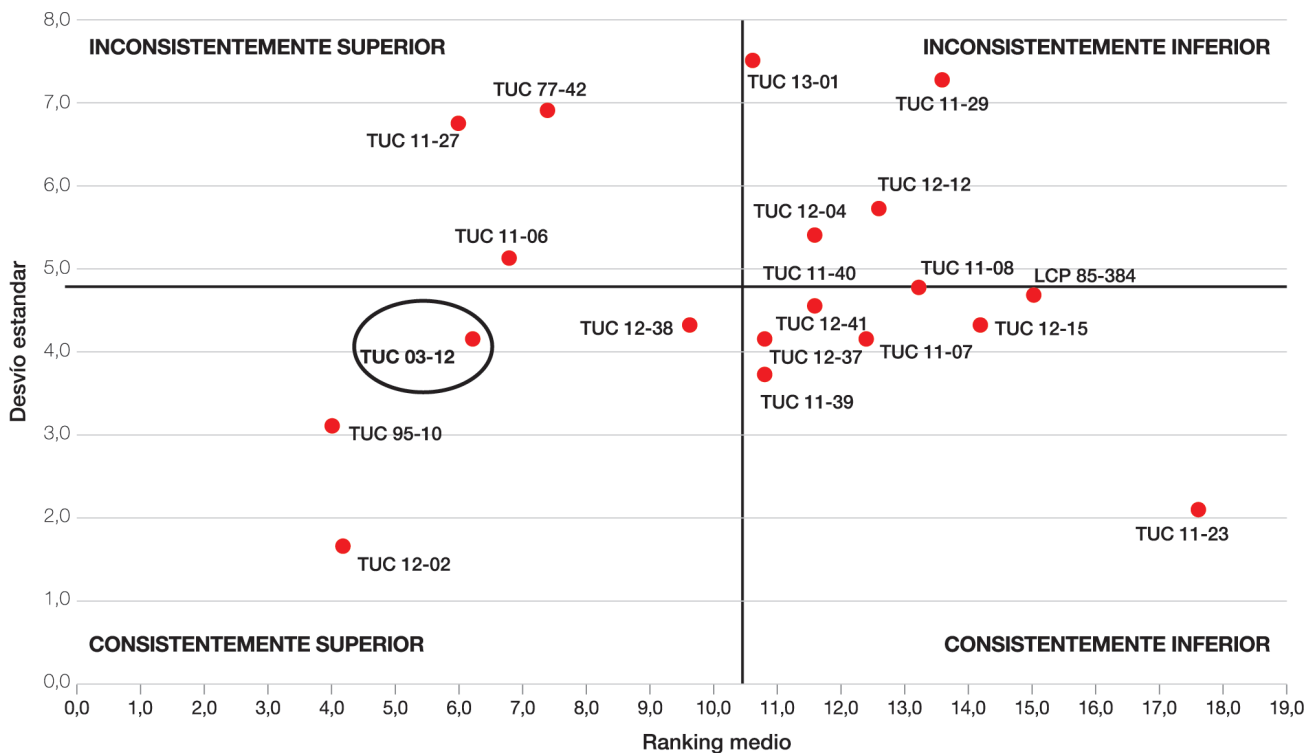


Figura 4. Valores medios de ranking y desviación estándar para el método de Consistencia Relativa de Rendimiento de caña a través de cinco localidades. Edad de cultivo: soca 1.

CONCLUSIONES

El cultivar TUC 03-12 demostró un excelente desempeño en rendimiento y una buena adaptación a los ambientes cañeros de Tucumán, Argentina.

Tanto el análisis paramétrico (SREG) como el no paramétrico (Consistencia Relativa de Rendimiento) mostraron resultados similares, ya que ambas metodologías evidenciaron una mayor estabilidad de este cultivar en la edad de cultivo de soca 1 en comparación con caña planta, lo que demuestra su utilidad para inferir el desempeño y la adaptabilidad de la variedad.

Los análisis también permitieron detectar que el clon TUC 12-02 exhibió un desempeño similar a TUC 03-12, especialmente en soca 1, con una buena adaptación a los ambientes evaluados. No obstante, este clon requiere evaluaciones adicionales para confirmar su estabilidad e idoneidad para el cultivo comercial.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las Ings. Agr. María Fernanda Figueroa y Carolina Díaz Romero por su contribución en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Crossa, J. y P. Cornelius. 1997. Sites regression and shifted multiplicative model clustering cultivar trial sites under heterogeneity of error variances. *Crop Sci.* 37:406-415.

Chavanne, E. R.; S. Ostengo; M. B. García y M. I. Cuenya. 2007. Evaluación del comportamiento productivo de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) a través de diferentes ambientes en Tucumán aplicando la técnica estadística GGE biplot. *Rev. Ind. Agríc. Tucumán* 84(2):19-24.

Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. González; M. Tablada y C. W. Robledo. 2018. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

Henríquez, D.; P. Medina; M. Aybar Guchea; M. F. Figueroa; D. Costilla; J. Díaz; C. Díaz Romero y S. Ostengo. 2023. Relevamiento de la distribución varietal y del uso de otras tecnologías en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán. Campaña 2022/2023. Reporte Agroindustrial EEOC 282(3). ISSN 2346-9102.

Ketata, H. Y.; S. K. Yau y M. Nachit. 1989. Relative consistency performance across environments. *Int. Symp. Physiol. Breed. Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments*, Montpellier, pp. 391-400.

Ostengo, S.; M. García; C. Díaz Romero; N. Delgado; J. Díaz y M. Cuenya. 2011. Evaluación de la estabilidad de un cultivar de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en diferentes ambientes agroecológicos a través de una técnica no paramétrica en Tucumán, Argentina. *Rev. Ind. Agríc. Tucumán* 88(2):21-26.

Yan, W.; L. A. Hunt; Q. Sheng y Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and megaenvironment investigation based on GGE Biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 103 (1):
6-13; 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:
30/09/2025

Fecha de
aceptación:
02/10/2025

Evaluación de indicadores de daño por heladas en variedades TUC de caña de azúcar en Tucumán, Argentina

Diego D. Henriquez*, M. Fernanda Figueroa*, L. Pablo Medina*, Diego D. Costilla*, Jorge V. Díaz*, A. Cecilia Ghio*, A. Carolina Díaz Romero*, Natalia R. Sorol** y Santiago Ostengo*

* Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC; **Sección Química, EEAOC. Email: dhenriquez@eeaac.org.ar

RESUMEN

En Tucumán, la principal provincia productora de caña de azúcar de Argentina, las heladas afectan frecuentemente el desarrollo óptimo del cultivo y la recuperación de azúcar durante el procesamiento industrial. Caracterizar las variedades TUC desarrolladas por el Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (PMGCA-EEAOC) en relación con el deterioro inducido por las heladas es crucial para optimizar las estrategias de manejo de los cultivares. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la respuesta al deterioro posterior a una helada de cinco variedades TUC: TUC 95-10, TUC 03-12, TUC 06-7, TUC 02-22 y TUC 00-65. Durante 2024, se realizaron muestreos quincenales en dos sitios experimentales para cuantificar los cambios en el contenido de sacarosa antes y después de un evento de helada severa. Los cultivares comerciales LCP 85-384 y TUCCP 77-42 se incluyeron como controles de alta y baja tolerancia al deterioro del jugo post helada, respectivamente. La concentración de sacarosa (g de sacarosa/100 g de jugo) se cuantificó utilizando cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). La primera helada significativa ocurrió el 11 de julio, con una intensidad moderada, en Los Quemados, Leales (-3,5°C durante 8 h), y severa en Santa Ana, Río Chico (-4,2°C durante 10 h). TUC 06-7 y TUC 03-12 mostraron una baja tasa inicial de disminución de sacarosa en ambos sitios, lo que indica una notable estabilidad en las primeras etapas después de la helada. TUC 95-10 mostró una tasa inicial intermedia de disminución de sacarosa. Por el contrario, TUC 02-22 y TUC 00-65 experimentaron una tasa inicial más alta de pérdida de sacarosa, aunque con un comportamiento aun superior al de TUCCP 77-42. Estos resultados preliminares ofrecen una caracterización inicial del comportamiento de las variedades TUC de caña de azúcar frente a las heladas. Es crucial continuar con ensayos adicionales bajo condiciones de heladas severas para validar estas conclusiones.

Palabras clave: contenido de sacarosa, estrés por frío, calidad industrial.

ABSTRACT

Evaluation of freeze-damage indicators in TUC sugarcane varieties in Tucumán, Argentina

In Tucumán, Argentina's primary sugarcane-producing province, frost events frequently affect optimal crop development and sugar recovery during industrial processing. Characterizing TUC varieties, developed by the Sugarcane Breeding Program of Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (SCBP-EEAOC), in relation to frost-induced deterioration is crucial for optimizing cultivar management strategies. This study aimed to assess the post-frost deterioration response of the main five TUC varieties: TUC 95-10, TUC 03-12, TUC 06-7, TUC 02-22, and TUC 00-65. During 2024, sampling was conducted

biweekly (from May 15 to October 17) at two experimental sites, in order to quantify changes in sucrose content prior and after a severe frost event. The commercial cultivars LCP 85-384 and TUCCP 77-42 were included as reference controls of high and low tolerance to juice deterioration post-frost, respectively. Sucrose concentration (g of sucrose per 100 g of juice) was quantified using high-performance liquid chromatography (HPLC). The first significant frost occurred on July 11, with moderate intensity in Los Quemados, Leales (-3.5°C for 8 h) and severe intensity in Santa Ana, Río Chico (-4.2°C for 10 h). TUC 06-7 and TUC 03-12 exhibited a low initial rate of sucrose decrease at both sites, indicating notable stability in the early stages following the frost. TUC 95-10 showed an intermediate initial rate of sucrose decrease. In contrast, TUC 02-22 and TUC 00-65 experienced a higher initial rate of sucrose loss, although with performance still superior to that of TUCCP 77-42. These preliminary results represent the first characterization on the behavior of TUC sugarcane varieties in response to frost, making it essential to continue with additional trials under severe frost conditions to validate these results.

Key words: sugar content, cold stress, industrial quality.

■ INTRODUCCIÓN

Debido a su sensibilidad a las bajas temperaturas, la caña de azúcar necesita ciclos de crecimiento más cortos en regiones propensas a las heladas para mitigar los efectos adversos de este tipo de eventos climáticos. Entre los diversos tipos de daño por heladas, las temperaturas entre 0 y -2°C causan amarillamiento del follaje y quemaduras localizadas, sin afectar el tallo principal. Cuando las temperaturas oscilan entre -2 y $-3,5^{\circ}\text{C}$, el follaje se daña por completo, provocando lesiones en el tallo principal y ennegrecimiento del tejido (Romero *et al.*, 2009). Entre $-3,5$ y -6°C , se produce la destrucción total del follaje, así como daño severo del tallo principal y los brotes, y necrosis en las regiones apicales del tallo. Por debajo de -6°C , la destrucción es completa, afectando el follaje, el tallo principal y más de seis brotes y entrenudos (Romero *et al.*, 2009). Además, el estrés por frío reduce el contenido de clorofila, lo que conduce a una menor eficiencia fotosintética, con efectos más severos observados en genotipos sensibles (Härter *et al.*, 2023).

En Tucumán, la principal región productora de caña de azúcar en Argentina, las heladas son un factor importante que afecta la recuperación de azúcar durante el procesamiento industrial. La gravedad del daño inducido por las heladas en la caña de azúcar está determinada tanto por la temperatura como por la duración de la exposición, con un mayor deterioro cuando los eventos de heladas son seguidos por condiciones cálidas y húmedas que promueven el crecimiento microbiano. En general, la caña de azúcar afectada por heladas severas produce jugo con menor pureza, mayor acidez y concentraciones anormales de polisacáridos (Eggleston *et al.*, 2004).

Diversas estrategias de manejo pueden mitigar las pérdidas de sacarosa causadas por este evento climático, entre ellas el uso de cultivares de maduración temprana y/o con mayor tolerancia al deterioro post-helada, la aplicación de maduradores químicos para acelerar la acumulación de sacarosa y la coordinación eficiente de las operaciones de cosecha y molienda, priorizando las áreas más afectadas. En este contexto, un objetivo clave del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en la Estación Experimental Agroindustrial Obispo

Colombres (PMGCA-EEOC) es el desarrollo de nuevas variedades "TUC" de maduración temprana, cruciales en las regiones más propensas a heladas. Estos cultivares permiten la acumulación de sacarosa antes del inicio del período de bajas temperaturas, a diferencia de los cultivares de maduración intermedia o tardía que aún estarían en fases de crecimiento activo y serían más vulnerables a las pérdidas de rendimiento y calidad. Dado este escenario, el PMGCA-EEOC tiene un gran interés en caracterizar el comportamiento de las principales variedades TUC, que actualmente ocupan el 30,3% del área cultivada con caña de azúcar (Henriquez *et al.*, 2023), a fin de generar información valiosa para optimizar las estrategias de manejo y cosecha. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta al deterioro posterior a una helada de las cinco variedades de caña de azúcar TUC más cultivadas.

■ MATERIALES Y MÉTODOS

Variedades evaluadas

El estudio incluyó cinco variedades de maduración temprana: TUC 95-10, TUC 03-12, TUC 06-7, TUC 02-22 y TUC 00-65. Se usaron como controles LCP 85-384, una variedad de maduración temprana con buen comportamiento frente a las heladas, y TUCCP 77-42, de maduración intermedia y con pobre desempeño frente a las heladas.

Implementación del ensayo de campo

Se evaluaron dos ensayos experimentales, en su segunda soca, establecidos en áreas propensas a heladas de Tucumán, Argentina: Los Quemados (departamento Leales) y Santa Ana (departamento Río Chico). Ambos fueron implantados bajo un diseño en bloques completos al azar (DBCA), con tres repeticiones. Cada parcela estuvo conformada por tres surcos de 10 m de longitud, con un espaciamiento de 1,60 m entre sí. Para garantizar la ausencia de enfermedades sistémicas, se empleó caña semilla obtenida a partir de vitroplantas.

Muestreo y evaluación de parámetros relacionados con las heladas

Entre el 15 de mayo y el 17 de octubre de 2024 se realizaron muestreos quincenales en ambos sitios experimentales. Cada muestra estuvo compuesta por 10 tallos limpios, pelados y despuntados en su punto natural de quiebre. El material se procesó inmediatamente, sin almacenamiento previo, a fin de evitar que factores externos afectaran la calidad de la materia prima. Las determinaciones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Química de la EEAOC, donde se cuantificó el contenido de sacarosa en el jugo (g de sacarosa en 100 g de jugo) mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos utilizados para el balance hídrico secuencial y el análisis de la duración e intensidad de las heladas se obtuvieron de las estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en Santa Ana y Los Quemados (Tucumán, Argentina). Estas estaciones proporcionan registros cada 15 minutos. Para este estudio se utilizaron las series de datos correspondientes al período de febrero a octubre de 2024.

Análisis de datos

A partir del primer evento de helada registrado, se modeló el contenido de sacarosa de siete variedades de caña de azúcar a lo largo de ocho fechas de muestreo comprendidas entre julio y octubre de 2024. Este enfoque permitió identificar diferencias varietales en la reducción de sacarosa durante el período de evaluación, así como estimar las fechas críticas en las que se produjeron cambios significativos en las tasas de disminución. El análisis de datos se efectuó utilizando el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020). Se ajustó un modelo de regresión no lineal de dos tramos (Ostengo, 2020). En este modelo, la relación entre el contenido de sacarosa (y = sacarosa g/100g) y el tiempo (x = fecha de muestreo) cambia de una fase de declive lineal inicial a una fase subsiguiente con una tasa de declive diferente, representado por:

$$Sacarosa (g/100g) = \alpha + (\beta_1 * x) * (x < \gamma) + [\beta_1 * \gamma + \beta_2 * (x - \gamma)] * (x \geq \gamma) + \epsilon$$

Donde:

α representa la intersección del primer segmento, un parámetro relacionado con el valor inicial de sacarosa de cada variedad a partir de la primera fecha de helada (segunda quincena de julio).

β_1 corresponde a la pendiente del primer segmento y describe la tasa inicial de pérdida de sacarosa en función del tiempo x (código de la fecha de muestreo).

β_2 es la pendiente del segundo segmento y representa la tasa final de pérdida de sacarosa a lo largo del tiempo.

γ indica el punto de inflexión a partir del cual cambia la tasa de disminución.

ϵ es el término de error aleatorio, con media cero y varianza σ^2 .

RESULTADOS

La primera helada significativa ocurrió el 11 de julio de 2024, con una intensidad moderada en Los Quemados

(-3,5 °C durante 8 h) y una intensidad severa en Santa Ana (-4,2°C durante 10 h). Este evento marcó el comienzo de una serie de heladas consecutivas, con temperaturas mínimas que oscilaron entre -2°C y -4°C y duraciones prolongadas, que se extendieron hasta mediados de julio. Posteriormente, los eventos de heladas continuaron con menor intensidad hasta el 10 de agosto, con temperaturas mínimas alrededor de -2°C y duraciones más cortas (Figura 1).

Entre febrero y octubre, se observaron diferencias en la disponibilidad hídrica entre los sitios evaluados. Por ello, para obtener el balance hídrico secuencial, se partió de los siguientes supuestos: un contenido de agua disponible uniforme de 300 mm en ambos sitios y una profundidad efectiva del suelo de 1 m. La evapotranspiración de referencia (ET_0) se estimó con base en la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento, aplicando correcciones del coeficiente de cultivo (K_c). Los valores de precipitación no se ajustaron mediante un factor de eficiencia. Como resultado, Santa Ana presentó un mayor almacenamiento promedio de agua en el suelo (152,3 mm) y un déficit de humedad del suelo menos pronunciado (-125 mm) en comparación con Los Quemados (137,1 mm y -180 mm, respectivamente).

Basado en la fecha de la primera helada registrada, se realizó un análisis de regresión no lineal para modelar el comportamiento de siete variedades de caña de azúcar en base al porcentaje de sacarosa, en ambas localidades evaluadas. Utilizando los parámetros determinados, se trazó la curva de regresión no lineal para cada variedad en cada ensayo.

En Los Quemados, LCP 85-384 exhibió 17,42% de sacarosa el día 0 después de la helada, con la tasa inicial de disminución más baja ($\beta_1 = -0,03$) que no fue estadísticamente significativa ($p = 0,880$), lo que refleja su notable estabilidad durante las primeras etapas del ciclo posterior a la helada (Tabla 1). Por el contrario, TUCCP 77-42 mostró el valor de sacarosa más bajo el día 0 después de la helada (16,64%), con la tasa inicial de disminución

Tabla 1. Parámetros estimados mediante análisis de regresión no lineal para modelar el comportamiento de siete variedades de caña de azúcar según el porcentaje de sacarosa en ocho fechas de muestreo, de julio a octubre de 2024, durante las cuales se registraron heladas. Ubicación: Los Quemados, departamento Leales, Tucumán, Argentina.

Variedad	α^1	β_1^2 (P-valor)	γ^3	β_1^4 (P-valor)
LCP 85-384	17,42	-0,03 (0,880)	4,25	-1,53 (0,019)
TUCCP 77-42	16,64	-0,85 (0,004)	5,76	-2,77 (0,027)
TUC 95-10	17,19	-0,34 (0,041)	4,62	-1,52 (0,004)
TUC 03-12	17,33	-0,12 (0,728)	3,82	-2,10 (0,003)
TUC 06-7	17,18	-0,22 (0,186)	5,65	-3,18 (0,018)
TUC 02-22	19,18	-0,53 (0,056)	4,00	-1,81 (0,009)
TUC 00-65	17,38	-0,64 (0,043)	3,93	-1,46 (0,003)

¹: contenido de sacarosa (%) a inicio de cosecha, ²: tasa de acumulación de sacarosa durante la etapa inicial post helada, ³: momento del tiempo en el ocurre un cambio significativo en la tasa de acumulación de sacarosa, ⁴: tasa de acumulación de sacarosa al final de cosecha. El parámetro γ es expresado como días transcurridos después de la primera helada registrada (donde 0 = día de la primera helada registrada y 7 = 96 días después de la primera helada).

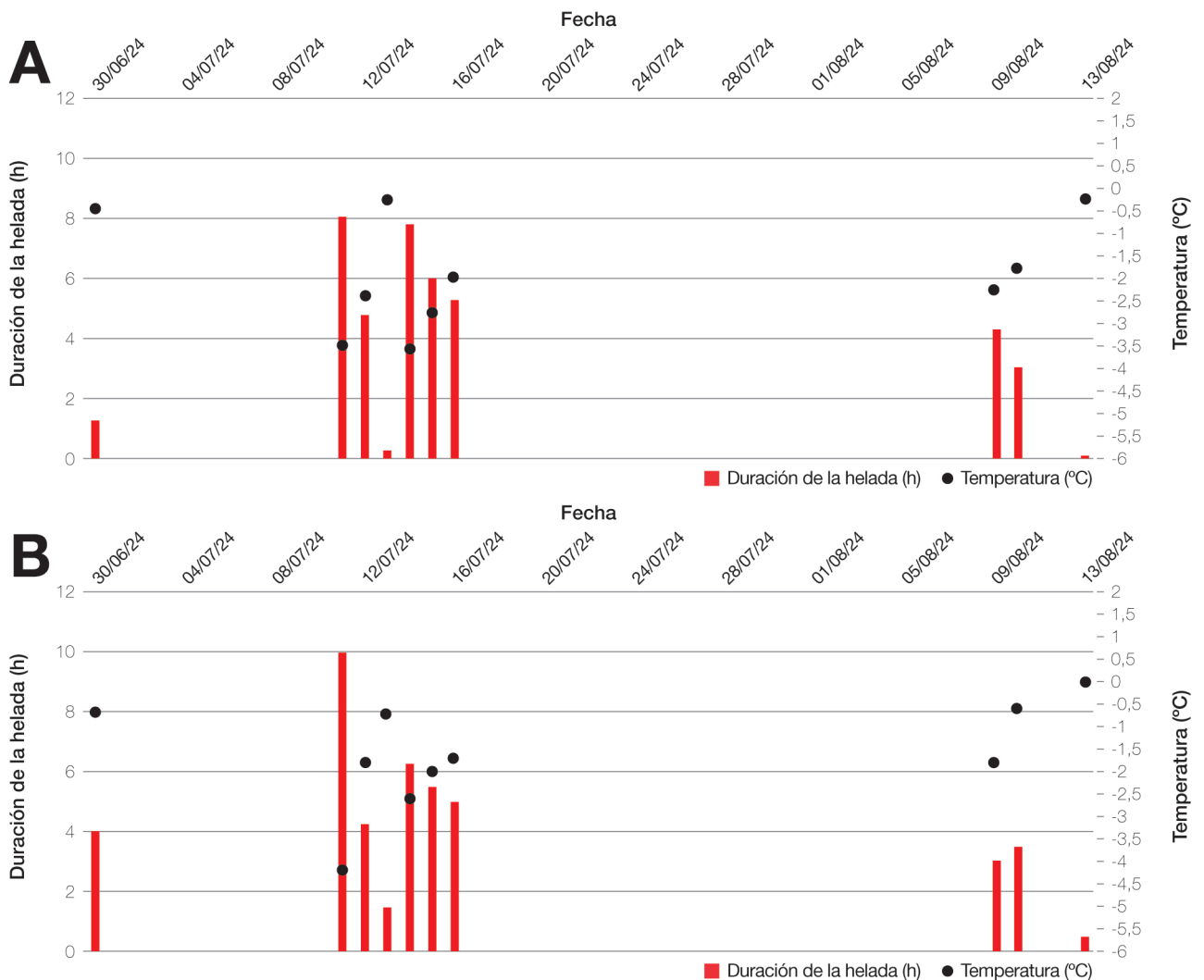


Figura 1. Temperaturas mínimas y su duración en (A) Los Quemados, Leales, y (B) Santa Ana, Río Chico (Tucumán, Argentina), durante la temporada 2024.

más alta ($\beta_1 = -0,85$; $p = 0,004$), lo que indica una pérdida abrupta de sacarosa desde el principio.

Las variedades TUC mostraron valores de sacarosa similares a LCP 85-384 el día 0 después de la helada (Tabla 1), con excepción de TUC 02-22, que alcanzó valores más altos (19,18%). Con respecto a la tasa inicial de disminución, TUC 03-12 y TUC 06-7 exhibieron los valores más bajos, y estas disminuciones no fueron estadísticamente significativas (Tabla 1), lo que demuestra una notable estabilidad al comienzo del ciclo. TUC 95-10 mostró una tasa inicial de disminución intermedia y significativa. TUC 02-22 y TUC 00-65 exhibieron las tasas iniciales más altas de disminución de sacarosa, ambas estadísticamente significativas, aunque aún más bajas que TUCCP 77-42.

LCP 85-384 mostró un punto de inflexión moderado ($y = 4,25$), manteniendo una baja pérdida de sacarosa hasta 57 días después de la helada (Figura 2B); su tasa de disminución final fue significativa ($\beta_2 = -1,53$; $p = 0,019$), lo que indica una marcada reducción después del punto de inflexión. Con respecto a TUCCP 77-42, aunque su punto de inflexión fue posterior ($y = 5,76$; 78 días después de la helada) (Figura 2C), la pérdida de sacarosa se intensifica aún más después de este punto debido a su alta y sig-

nificativa tasa de disminución final ($\beta_2 = -2,77$; $p = 0,027$). Estas características la posicionan como la variedad más susceptible a las heladas.

Entre las variedades TUC evaluadas, TUC 03-12, TUC 00-65 y TUC 02-22 exhibieron puntos de inflexión tempranos, hasta 54 días después de la helada (Figuras 2E, 2H y 2G); mientras que TUC 95-10 mostró un punto de inflexión intermedio (Figura 2D), lo que refleja una pérdida de sacarosa controlada en las primeras etapas, y TUC 06-7 tuvo un punto de inflexión tardío, lo que indica una notable estabilidad (Figura 2F).

Con respecto a la tasa final de disminución de sacarosa (β_2), TUC 06-7 mostró una caída brusca y significativa en el contenido de sacarosa después del punto de inflexión (Tabla 1, Figura 2F), seguida por TUC 03-12 (Tabla 1, Figura 2E) y TUC 02-22 (Tabla 1, Figura 2G), mientras que TUC 95-10 (Tabla 1, Figura 2D) y TUC 00-65 (Tabla 1, Figura 2H) exhibieron valores de β_2 significativos similares a LCP 85-384.

En el ensayo de Santa Ana, LCP 85-384 exhibió un contenido de sacarosa de 18,50% el día 0 después de la helada, mostrando un comportamiento similar al observado en Los Quemados, con una baja tasa de disminución inicial ($\beta_1 = -0,17$), que no fue estadísticamente

significativa, lo que indica estabilidad durante las primeras etapas (Tabla 2). TUCCP 77-42 comenzó con el contenido de sacarosa más bajo (16,95%); sin embargo, a diferencia de Los Quemados, exhibió una tasa de disminución inicial moderada pero estadísticamente significativa, lo que resultó en una menor pérdida de sacarosa en comparación con esa localidad (Tabla 2). Las variedades TUC 95-10 y TUC 03-12 mostraron valores de sacarosa similares a LCP 85-384 el día 0 después de la helada (Tabla 2), excepto TUC 02-22, que alcanzó valores más altos (19,53%), y TUC 06-7, que tuvo valores más bajos (17,94%) (Tabla 2). Con respecto a la tasa de disminución inicial de sacarosa, las variedades TUC 95-10, TUC 06-7 y TUC 03-12 exhibieron valores bajos y no significativos (Tabla 2), lo que demuestra una notable estabilidad al comienzo del ciclo.

LCP 85-384 presentó un punto de inflexión temprano ($y=4,00$; 54 días después de la helada), después del cual la pérdida de sacarosa se aceleró ligeramente ($\beta_2=-0,89$; $p=0,039$), lo que señala un comportamiento relativamente estable bajo condiciones de heladas (Figura 3B). En el caso de TUCCP 77-42, se observó un punto de inflexión intermedio ($y=4,68$; 63 días después de la helada), con una tasa de disminución final moderadamente alta que fue significativa, lo que sugiere una respuesta menos favorable (Tabla 2) (Figura 3C). De las variedades TUC evaluadas, TUC 06-7, TUC 95-10, TUC 03-12 y TUC 02-22 mostraron puntos de inflexión que ocurrieron entre 63 y 81 días después de la helada (Figuras 3F, D, E y G).

En cuanto a la tasa de disminución final de sacarosa (β_2), TUC 02-22 exhibió el valor más alto y significativo (Tabla 2; Figura 3G), lo que refleja una pérdida acelerada de sacarosa después de su punto de inflexión, seguida por TUC 03-12 (Figura 3E), TUC 95-10 (Figura 3D) y TUC 06-7 (Figura 3F), todas las cuales fueron significativas (Tabla 2). La variedad TUC 02-22 estaba caída al momento del muestreo, lo que probablemente afectó su resistencia al daño por heladas. La caña caída es más susceptible al daño por heladas, ya que las temperaturas cerca del suelo son más bajas (Romero *et al.*, 2009).

Tabla 2. Parámetros estimados mediante análisis de regresión no lineal para modelar el comportamiento de siete variedades de caña de azúcar en función del porcentaje de sacarosa en ocho fechas de muestreo, de julio a octubre de 2024, durante las cuales se registraron heladas. Ubicación: Santa Ana, departamento Río Chico, Tucumán, Argentina.

Variedad	α^1	β_1^2 (P-valor)	γ^3	β_1^4 (P-valor)
LCP 85-384	18,50	-0,17 (0,599)	4,00	-0,89 (0,039)
TUCCP 77-42	16,95	-0,27 (0,050)	4,68	-1,05 (0,012)
TUC 95-10	18,18	-0,11 (0,618)	4,63	-1,38 (0,035)
TUC 03-12	18,49	-0,07 (0,653)	4,82	-1,40 (0,015)
TUC 06-7	17,94	-0,02 (0,981)	5,29	-0,76 (0,014)
TUC 02-22	19,53	-0,68 (0,004)	5,96	-3,69 (0,006)

¹: contenido de sacarosa (%) a inicio de cosecha, ²: tasa de acumulación de sacarosa durante la etapa inicial post helada, ³: momento del tiempo en el que ocurre un cambio significativo en la tasa de acumulación de sacarosa, ⁴: tasa de acumulación de sacarosa al final de cosecha. El parámetro γ es expresado como días transcurridos después de la primera helada registrada (donde 0 = día de la primera helada registrada y 7 = 96 días después de la primera helada).

En el presente estudio, tanto el control LCP 85-384 como las variedades TUC de maduración temprana mostraron generalmente una menor disminución inicial de sacarosa (valores de β_1), en comparación con el control TUCCP 77-42, particularmente en la localidad de Los Quemados, donde el daño por heladas fue más severo. Esta observación apoya la hipótesis de que la maduración temprana puede ayudar a mitigar el impacto inmediato de las heladas. Sin embargo, es importante señalar que, a pesar de su clasificación como de maduración temprana, todas las variedades TUC exhibieron una disminución final significativa en el contenido de sacarosa (valores de β_2). Esto sugiere que, una vez que el tejido de la caña de azúcar sufre estrés por heladas, se inicia un proceso de deterioro irreversible que causa la pérdida progresiva de sacarosa.

La variedad TUCCP 77-42 mostró una mayor susceptibilidad al estrés, especialmente en Los Quemados, donde la disminución inicial de sacarosa fue abrupta, lo que concuerda con lo esperado para una variedad de maduración intermedia. Sin embargo, su comportamiento en Santa Ana fue diferente: exhibió una pérdida inicial de sacarosa moderada, lo que sugiere que factores ambientales, como la mayor disponibilidad de agua, pueden mitigar el impacto de su grupo de madurez.

Las condiciones ambientales, particularmente la disponibilidad de agua, parecieron influir en el rendimiento varietal entre las localidades. Si bien la intensidad de la helada se clasificó como moderada en Los Quemados y severa en Santa Ana, la pérdida de sacarosa posterior a la helada fue más pronunciada en Los Quemados para la mayoría de las variedades (tanto en las etapas iniciales como finales, con pendientes de β_2 más pronunciadas). Esta aparente contradicción puede explicarse por el estado hídrico contrastante observado en ambos sitios. De febrero a octubre de 2024, Los Quemados experimentó balances hídricos negativos recurrentes y un menor almacenamiento de agua en el suelo, particularmente durante el período crítico posterior a la helada (julio a septiembre), lo que sugiere la presencia de estrés hídrico. Con respecto a Santa Ana, mantuvo un mayor almacenamiento de agua en el suelo y menos déficits hídricos durante el mismo período.

La combinación de una intensidad de helada moderada y un déficit de agua sostenido en Los Quemados puede haber exacerbado el daño, lo que llevó a una degradación acelerada de la sacarosa. Por el contrario, las condiciones más húmedas en Santa Ana podrían haber amortiguado el impacto fisiológico de la helada, lo que resultó en menores pérdidas de sacarosa, incluso bajo condiciones de heladas severas. El control susceptible TUCCP 77-42 ofrece un claro ejemplo de esta interacción entre la disponibilidad de agua y la respuesta a las heladas. En Los Quemados, TUCCP 77-42 mostró una marcada disminución inicial de sacarosa ($\beta_1=-0,85$) y una alta tasa final de pérdida de sacarosa ($\beta_2=-2,77$) (Tabla 1), lo que refleja su vulnerabilidad en condiciones combinadas de heladas y estrés hídrico. Sin embargo, en Santa Ana, a pesar de la mayor intensidad de la helada, la misma variedad presentó una disminución inicial de sacarosa considerablemente menor ($\beta_1=-0,27$) y una menor tasa de pérdida de sacarosa final ($\beta_2=-1,05$) (Tabla 2).

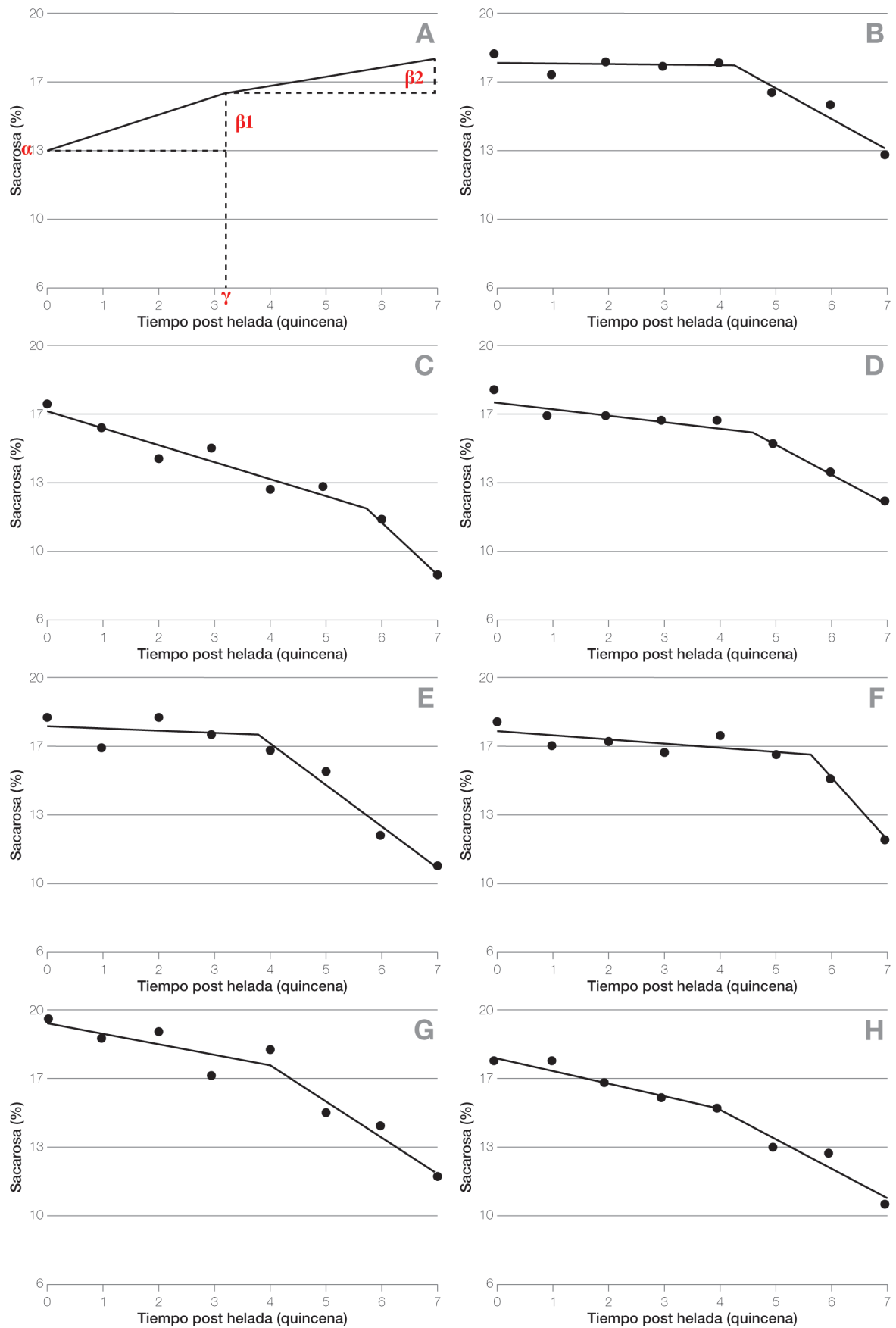


Figura 2. Cambios en el contenido de sacarosa (%) en variedades de caña de azúcar en edad soca 2 durante la temporada 2024, analizados a partir de la primera helada registrada. Los Quemados, Departamento de Leales, Tucumán, Argentina. (A) Modelo gráfico, (B) LCP 85-384, (C) TUCCP 77-42, (D) TUC 95-10, (E) TUC 03-12, (F) TUC 06-7, (G) TUC 02-22 y (H) TUC 00-65.

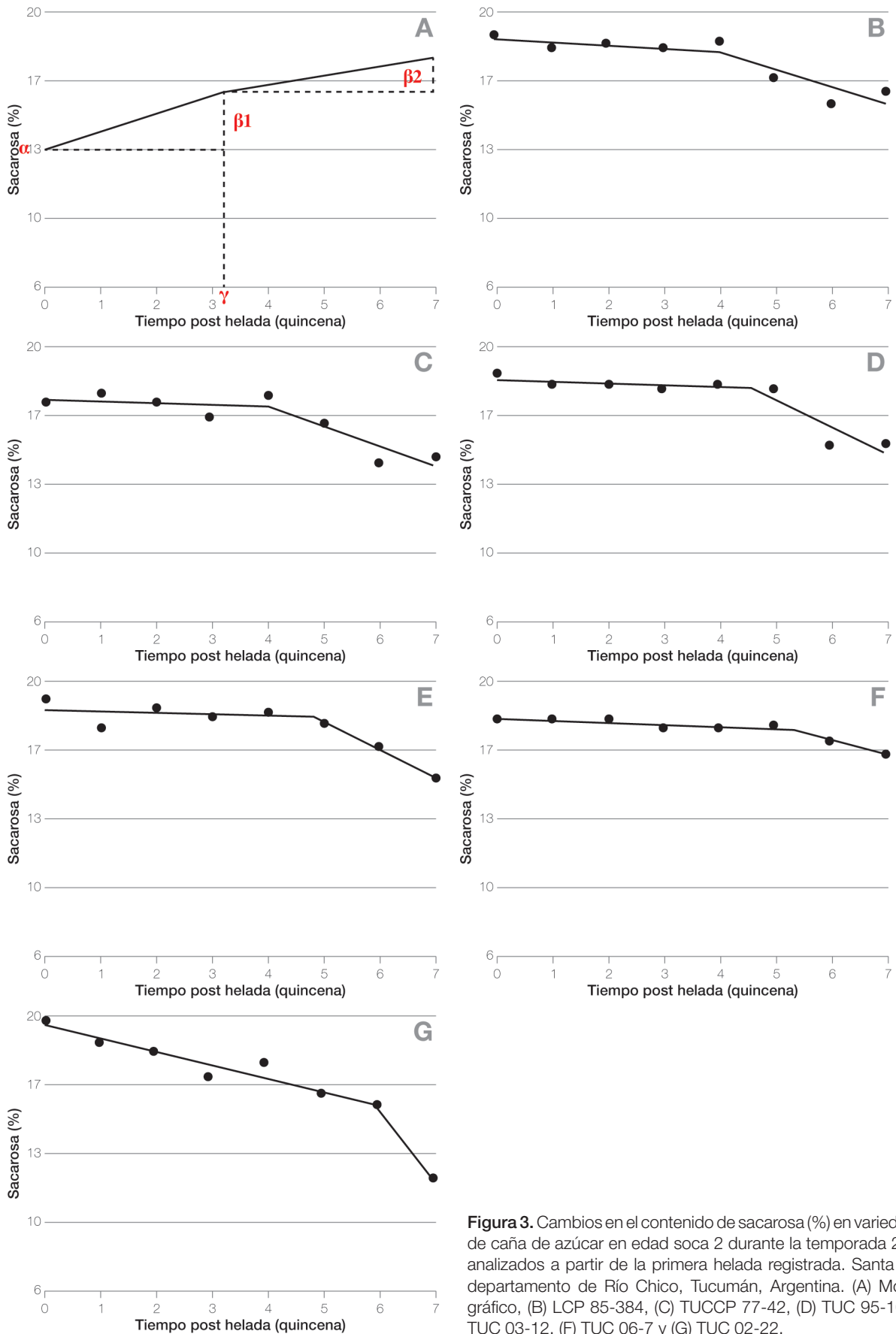


Figura 3. Cambios en el contenido de sacarosa (%) en variedades de caña de azúcar en edad soca 2 durante la temporada 2024, analizados a partir de la primera helada registrada. Santa Ana, departamento de Río Chico, Tucumán, Argentina. (A) Modelo gráfico, (B) LCP 85-384, (C) TUCCP 77-42, (D) TUC 95-10, (E) TUC 03-12, (F) TUC 06-7 y (G) TUC 02-22.

CONCLUSIONES

El comportamiento diferencial de las variedades frente a las heladas evidenció que la madurez temprana y la estabilidad inicial dada por la tasa inicial de disminución son factores clave para mitigar la pérdida de sacarosa. Las respuestas observadas sugieren que la selección varietal y el momento de cosecha deben adaptarse al contexto ambiental de cada zona productora.

LCP 85-384, confirmó su valor como referencia de estabilidad bajo frío, manteniendo niveles de sacarosa consistentes incluso en condiciones contrastantes. TUC 06-7 se destacó por su estabilidad y punto de inflexión tardío, lo cual sugiere una ventana de cosecha más extensa. TUC 95-10 mostró un comportamiento equilibrado, adecuado para cosechas intermedias. TUC 03-12 demostró una excelente estabilidad inicial. Sin embargo, su punto de inflexión temprano, observado particularmente en Los Quemados, resalta la necesidad de un momento óptimo de cosecha para maximizar la recuperación de sacarosa después de la helada. TUC 02-22 se caracterizó por su elevado contenido inicial de sacarosa, que actuó como un amortiguador parcial frente al impacto de las heladas, permitiéndole conservar niveles aceptables en las etapas tempranas del ciclo. No obstante, esta ventaja inicial se diluyó rápidamente debido a su alta tasa de pérdida posterior, lo que redujo su estabilidad bajo frío. Este desempeño fue notablemente inferior en Santa Ana, probablemente debido al vuelco observado. Por lo tanto, es crucial reevaluar su performance en condiciones de cultivo normales, aunque su comportamiento sugiere que una cosecha temprana es altamente recomendable para capitalizar su buen contenido inicial de sacarosa. TUC 00-65 en Los Quemados mostró una rápida pérdida inicial de sacarosa bajo condiciones de heladas, pero aún con mejor desempeño que TUCCP 77-42. No pudo evaluarse en Santa Ana, por lo que se necesitan más ensayos para una caracterización más precisa. Sin embargo, su comportamiento sugiere considerar una cosecha temprana en condiciones de heladas. TUCCP 77-42, el control susceptible, ratificó su alta sensibilidad al frío, reafirmando su carácter inadecuado para zonas con heladas recurrentes.

En conclusión, estos resultados preliminares proporcionan información importante sobre la respuesta de las variedades de caña de azúcar al estrés por heladas; no obstante, se requiere continuar con ensayos adicionales bajo estas condiciones para una caracterización precisa. Este análisis, además, destaca la importancia de adaptar las estrategias de manejo y cosecha de acuerdo con las condiciones locales, para optimizar el rendimiento y la calidad de la materia prima para la industria.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada y C. W. Robledo. 2020. InfoStat versión 2020.** Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Eggleston, G.; B. L. Legendre and T. R. C. Tew. 2004.** Indicators of freeze-damaged sugarcane varieties which can predict processing problems. *Food Chemistry* 87: 119-133.
- Härter, A.; W. Rodrigues Antunes; A. A. Campos de Azeredo; S. D. dos A. e Silva and R. A. de Oliveira. 2023.** Early screening for cold tolerance in sugarcane breeding. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 58, e02711.
- Henriquez, D. D.; P. Medina; M. Aybar Guchea et al. 2023.** Relevamiento de la distribución varietal y del uso de otras tecnologías en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2022/2023. Reporte Agroindustrial EEOC 314.
- Ostengo, S. 2020.** Aproximaciones metodológicas para la caracterización de la calidad industrial de genotipos de caña de azúcar. Tesis Doctoral inédita. Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.
- Romero, E. R.; P. A. Digonzelli; M. J. Tonatto et al. 2009.** Heladas. Efecto sobre los cañaverales y alternativas de manejo. En: Romero, E. R.; P. A. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.), *Manual del Cañero*, EEOC, Argentina, pp. 197-206.



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 103 (1):
14-20; 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:
16/09/2025

Fecha de
aceptación:
17/09/2025

Proyecto Vitroplantas de la EEAOC: la importancia del diagnóstico fitosanitario y su impacto en el estado sanitario de los lotes comerciales en Tucumán, Argentina

Constanza M. Joya*, Romina P. Bertani*, M. Francisca Perera*, Sofía Fajre**, Juan A. Giardina** y Aldo S. Noguera*

*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, República Argentina, T4101XAC. **Agronomía, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Las Talitas, Tucumán, República Argentina, T4101XAC. Email: contijoya@gmail.com

RESUMEN

Las enfermedades de la caña de azúcar con mayor impacto económico se transmiten mediante el uso de material de plantación infectado durante la multiplicación comercial. La producción de caña semilla de alta calidad, junto con el conocimiento del estado sanitario del cultivo, constituye un factor clave para diseñar estrategias de manejo de enfermedades. El Proyecto Vitroplantas de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) tiene como objetivo proveer caña semilla de alta calidad fitosanitaria mediante técnicas de cultivo *in vitro* de meristemas y micropropagación. En este trabajo se presentan los resultados de diagnóstico obtenidos en las últimas cinco campañas agrícolas, para la identificación de enfermedades sistémicas de la caña de azúcar en Tucumán, Argentina. Las plantas donantes de meristemas y las líneas micropropagadas se evaluaron mediante PCR para la detección de los agentes causales del raquitismo de la caña soca (RSD), la escaldadura de la hoja (LS) y la estría roja (RS); y por RT-PCR, para el virus del amarillamiento de la hoja (YL) y el virus del mosaico (MV). Asimismo, se utilizó *tissue-blot immunoassay* (TBIA) para determinar la presencia de RSD y LS en los semilleros Registrados. Se incluyen además, resultados de la presencia de RSD en lotes comerciales. Entre 2020 y 2024, YL presentó la mayor incidencia tanto en plantas donantes como en líneas *in vitro*. En los semilleros Registrados, la incidencia de RSD (número de tallos infectados/número total de tallos) varió entre 0,13% y 0,89%, mientras que la incidencia de LS osciló entre 0,09% y 0,33%. En los lotes comerciales, aproximadamente el 80% de las muestras analizadas resultaron apropiadas para su uso como caña semilla. Actualmente, el 74,5% del área de producción de caña de azúcar de Tucumán se encuentra ocupada por caña semilla de alta calidad proveniente del Proyecto Vitroplantas de la EEAOC. Esta tecnología reduce las enfermedades sistémicas y mejora los rendimientos en cañaverales comerciales. La disponibilidad de métodos de diagnóstico eficaces, aplicados del laboratorio al campo, asegura material libre de patógenos y plantas élite a los productores locales.

Palabras clave: caña semilla de alta calidad, manejo de enfermedades, diagnóstico molecular, TBIA.

ABSTRACT

EEAOC Vitroplants Project: the importance of phytosanitary diagnosis and its impact on the health status of commercial sugarcane fields in Tucumán, Argentina

Most economically significant sugarcane diseases are transmitted by infected planting material during commercial propagation. The production of high-quality planting

material and knowledge of crop sanitary conditions are key factors for designing disease-management strategies. The Vitroplants Project of Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) aims to provide high phytosanitary quality seed cane through *in vitro* meristem-culture and micropropagation techniques. This work presents the results of diagnosis over the past five crop seasons to identify systemic sugarcane diseases in Tucumán, Argentina. Meristem donor plants and micropropagated plantlets are evaluated by PCR to detect the causal agents of ratoon stunting (RSD), leaf scald (LS) and red stripe (RS), while RT-PCR protocols are applied for yellow leaf (YL) and mosaic virus (MV). *Tissue-blot immunoassay* (TBIA) is used to determine the presence of RSD and LS in Registered nurseries. Data on the presence of RSD in commercial fields is also presented. From 2020 to 2024, YL had the highest incidence in both donor plants and *in vitro* plantlets. In the Registered nurseries, RSD incidence (number of infected stalks/total number of stalks) ranged between 0.13% and 0.89%, while LS incidence ranged from 0.09% to 0.33%. In commercial fields, around 80% of the samples analyzed were appropriate for use as seed cane. Nowadays, 74.5% of Tucumán sugarcane production area is occupied by high-quality seed cane from the EEAOC Vitroplants Project. This technology significantly reduces systemic diseases, leading to increased commercial field yields. The availability of effective and reliable diagnostic methods, from the laboratory to field propagation, is a valuable tool to ensure the absence of pathogens and provide elite plants for local producers.

Key words: High-quality seed cane, disease management, molecular diagnosis, TBIA.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es susceptible a diversas infecciones causadas por bacterias y virus, cuyo control solo es posible mediante la detección temprana y un diagnóstico preciso. Entre los principales factores que limitan su producción se destacan las enfermedades sistémicas, debido a que la multiplicación comercial se realiza de forma agámica a través de caña semilla, lo que favorece la rápida propagación de estos patógenos. Desde 2001, la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) produce caña semilla de alta calidad a través del Proyecto Vitroplantas, con el fin de propagar cultivares comerciales y nuevas variedades élite liberadas por el Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar de la EEAOC (PMGCA-EEAOC). Para eliminar enfermedades bacterianas y virales, el estado sanitario del material vegetal se asegura mediante el cultivo *in vitro* de meristemas apicales provenientes de plantas donantes, previamente saneadas por hidro-termoterapia. Posteriormente, los plantines son multiplicados masivamente por micropropagación.

A fin de garantizar que las plantas donantes de meristemas y las líneas micropropagadas estén libres de enfermedades, el material vegetal se evalúa mediante técnicas de diagnóstico molecular. Estos análisis se aplican de manera rutinaria para cinco enfermedades de importancia regional: raquitismo de la caña soca (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*), escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans*), estria roja (*Acidovorax avenae* subsp. *avenae*), mosaico (virus del mosaico de la caña de azúcar – SCMV – y virus del mosaico del sorgo – SrMV) y amarillamiento de la hoja (virus del amarillamiento de la hoja de la caña de azúcar – SCYL). Una vez propagadas en el laboratorio, las líneas *in vitro* atraviesan un proceso gradual de adaptación al crecimiento *ex vitro* bajo condiciones controladas en invernadero, y posteriormente se establecen en un semillero Básico.

Todas las plantas son propagadas convencionalmente en semilleros Registrados y Certificados antes de ser distribuidas entre los productores para la multiplicación comercial (Digonzelli *et al.*, 2009). El diagnóstico serológico se utiliza para evaluar el estado fitosanitario de los semilleros, ya que permite procesar un gran número de muestras en un tiempo reducido. Por lo tanto, resulta esencial evaluar el estado sanitario del material, tanto en la etapa de laboratorio como durante la propagación en campo, mediante métodos diagnósticos adecuados que eviten la diseminación de enfermedades sistémicas y contribuyan a mejorar la productividad del cultivo. La disponibilidad de herramientas de diagnóstico eficientes y de estrategias de manejo efectivas es fundamental para el control de enfermedades y la producción sostenible del cultivo.

En este trabajo se analizan los resultados del diagnóstico molecular realizado en plantas donantes de meristemas y líneas *in vitro*, así como del diagnóstico serológico del material propagado de manera convencional en semilleros Registrados durante los últimos cinco años. Asimismo, se presentan datos sobre la incidencia del raquitismo de la caña soca (RSD) en lotes comerciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre 2020 y 2024 se analizaron, de acuerdo con procedimientos estandarizados en el laboratorio, las siguientes muestras: i) 349 correspondientes al establecimiento de la colección de plantas madre (EPM); ii) 172 de la colección de plantas madre (PM); iii) 182 de líneas *in vitro* (LI) y iv) 76 de líneas *in vitro* introducidas desde cañaverales comerciales (LIC).

La extracción de ácidos nucleicos totales se realizó mediante el método CTAB con modificaciones (Aljanabi *et al.*, 1999), y la calidad del material obtenido se evaluó por electroforesis en gel de agarosa al 1% teñido con Gel-

Red. Posteriormente, el gel fue visualizado bajo luz UV ($\lambda = 320 \text{ nm}$).

Se emplearon dos protocolos utilizando pares de cebadores específicos: a) PCR para la detección de enfermedades bacterianas: raquitismo de la caña soca (RSD, del inglés *ratoon stunting disease* - *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*) (Sun *et al.*, 2019), escaldadura de la hoja (LS, del inglés *leaf scald* - *Xanthomonas albilineans*) (Pan *et al.*, 1997, 1999) y estría roja (RS, del inglés *red stripe* - *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*) (Li *et al.*, 2017); y b) RT-PCR para la detección de los virus, *Sugarcane mosaic virus* (SCMV) y *Sorghum mosaic virus* (SrMV) (Yang and Mirkov, 1997), causantes de la enfermedad del mosaico, y del *Sugarcane yellow leaf virus* (SCYLV), agente causal del amarillamiento de la hoja (Girard *et al.*, 2012).

Las amplificaciones por PCR se realizaron en un volumen final de 20 μL , con tampón 1 \times , 2 mM de MgCl_2 , dNTPs 200 μM para RSD y RS, y 75 μM para LS, 0,40 μM de cada cebador para RSD y RS, y 0,20 μM para LS (Tabla 1), 1 U de Taq ADN polimerasa (5 U/ μL) para RSD, 1,5 U para LS, 0,5 U para RS y 1 μL de ADN templado. El volumen final se completó con agua de grado molecular. Las condiciones de ciclado se describen en la Tabla 2.

La amplificación por RT-PCR se inició con la síntesis de la cadena de ADNc en un volumen final de 4,5 μL , utilizando 2 μL de ácidos nucleicos totales y 10 μM del cebador reverso correspondiente (Tabla 1). La mezcla se incubó a 100°C (YL) o a 70°C (MV) durante 5 min, seguida de un enfriamiento a 4°C por 3 min. Posteriormente,

se añadió una mezcla de reacción de 3 μL que contenía tampón RT 1 \times , 100 μM de dNTPs, 10 U de inhibidor de RNasas y 100 U de transcriptasa reversa M-MLV. La retro-transcripción se realizó a 42°C durante 30 min para MV y a 60°C durante 60 min para YL.

La mezcla de PCR para MV se preparó en un volumen final de 12,5 μL . Para SCMV: tampón 0,625 \times , 1,69 mM de MgCl_2 , 62,5 μM de dNTPs, 1,5 μM del cebador directo (Tabla 1) y 1,75 U de Taq ADN polimerasa (5 U/ μL). Para SrMV: tampón 0,65 \times , 0,75 mM de MgCl_2 , 65 μM de dNTPs, 1,58 μM del cebador directo (Tabla 1) y 1 U de Taq ADN polimerasa (5 U/ μL). En ambos casos, el volumen de reacción se completó con agua de grado molecular.

La reacción de PCR para YL se realizó en un volumen final de 12,5 μL , con tampón 0,40 \times , 1,31 mM de MgCl_2 , 25 μM de dNTPs, 1 μM del cebador directo (Tabla 1), 1,5 U de Taq ADN polimerasa y agua de grado molecular hasta completar el volumen final.

Las condiciones de ciclado de PCR se detallan en la Tabla 3.

Los productos de amplificación se separaron en geles de agarosa al 1,5% teñidos con bromuro de etidio, y posteriormente se visualizaron bajo luz UV ($\lambda = 320 \text{ nm}$) (Sambrook *et al.*, 1989).

Para evaluar las condiciones sanitarias de los semilleros Registrados, se determinó la incidencia de RSD y LS mediante diagnóstico serológico. El muestreo consistió en la recolección aleatoria de la parte basal de 20 tallos por hectárea, tomando un tallo por cepa e incluyendo dife-

Tabla 1. Lista de cebadores.

	Cebador	Secuencia (5'-3')	Región diana	Tamaño del amplicón (pb)
Raquitismo de la caña soca	Lxx-F1	CCGAAGTGAGCAGATTGACCAATGAT	ITS	439
	Lxx-R1	ACCCTGTGTTGTTTTCAACGCAGAG		
Escaldadura de la hoja	PGBL1	CTT TGG GTC TGT AGC TCA GG	ITS	288
	PGBL2	GCC TCA AGG TCA TAT TCA GC		
Estría roja	RS-ITS-F1	AGACCCA CCAAATCTTCCG	ITS	450
	RS-ITS-R1	GACATCTCCGCTT TCTTTCAAG		
Mosaico de la caña de azúcar	SCF4	GTTTTYCACCAAGCTGGAACAGTC (Y=C/T)	Región codificante CP	900
	SCR3	AGCTGTGTGCTCTCTGTATTCTC		
Mosaico del sorgo	SrF3	AAGCAACAGCACAAAGCAC	Región codificante CP	870
	SrR3	TGACTCTCACCGACATTCC		
Amarillamiento de la hoja	ScYLVf1	GACAGACTCGGCCAGTGGTCGTG	Región codificante CP	219
	ScYLVr1	GTAAGCCATTGTTGAACGCTGCG		

Tabla 2. Condiciones de ciclado de PCR para los protocolos de amplificación.

	Desnaturalización	Ciclos	Extensión
RSD	94°C, 3 min	35 ciclos: 94°C, 30 s; 61°C, 30 s; 72°C, 60 s	72°C, 10 min
LS	95°C, 5 min	40 ciclos: 94°C, 10 s; 57°C, 10 s; 72°C, 30 s	72°C, 2 min
ER	94°C, 3 min	30 ciclos: 94°C, 45 s; 60°C, 30 s; 72°C, 45 s	72°C, 10 min

Tabla 3. Condiciones de ciclado de PCR para los protocolos de amplificación.

	Desnaturalización	Ciclos	Extensión
SCMV	95°C, 5 min; 37°C, 60 s; 72°C, 2 s	35 ciclos: 94°C, 60 s; 54°C, 60 s; 72°C, 2 min	72°C, 7 min
SrMV	95°C, 5 min; 37°C, 60 s; 72°C, 2 min		
SCYLV	94°C, 4 min	35 ciclos: 95°C, 30 s; 63°C, 45 s; 72°C, 60 s	72°C, 10 min

rentes cultivares y edades de caña semilla. Es importante destacar que, para que los patógenos puedan ser detectados por esta técnica, el material vegetal debe tener entre siete y nueve meses de edad, lo que en la provincia de Tucumán corresponde aproximadamente al mes de abril.

Las muestras se analizaron mediante *tissue-blot immunoassay* (TBIA). Para ello, se realizaron impresiones de tejido del centro de cada tallo sobre membranas de nitrocelulosa, siguiendo el método descrito por Davis *et al.* (1994), con modificaciones. Los entrenudos basales se cortaron transversalmente y de la región central se extrajo un cilindro que se presionó sobre una membrana de nitrocelulosa de 0,45 µm. Los complejos antígeno-anticuerpo fijados a la membrana se revelaron utilizando anticuerpos policlonales conjugados con fosfatasa alcalina. Una muestra se consideró positiva cuando se observaba coloración púrpura en al menos una impresión del haz vascular en la membrana, mientras que las muestras negativas no mostraron coloración.

La incidencia se calculó a partir de la relación entre el número de tallos infectados y el total de tallos evaluados. Para estimar la incidencia promedio, se aplicó una media ponderada en función del número de surcos correspondientes a cada cultivar.

Previo a la plantación de caña de azúcar, resulta fundamental evaluar el estado sanitario del lote destinado a semilleros. Con este propósito, la Sección Fitopatología de la EEAOC brinda un servicio de diagnóstico a productores e ingenios, orientado a determinar los niveles de incidencia de RSD. Entre 2020 y 2024 se procesaron 3261 muestras, cada una compuesta por la porción basal de 20 tallos por cada 5 hectáreas. Para cada muestra se calculó el porcentaje de incidencia (número de tallos infectados/número total de tallos × 100). Posteriormente, las muestras se clasificaron en rangos de incidencia de RSD: 0%, >0% ≤5%, >5% ≤10% y >10%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diagnóstico molecular reveló que el virus del amarillamiento de la hoja (YL) presentó la mayor incidencia y estuvo presente en todos los tipos de muestras analizadas (Figura 1). En EPM, YL alcanzó su máxima incidencia en 2021 y disminuyó significativamente en 2022 y 2023 (Figura 1). En PM, la incidencia se mantuvo baja a lo largo de los años, registrándose el valor más alto en 2024 con un 8,20% (Figura 1). En LIC, YL alcanzó su mayor incidencia en 2022, mientras que en 2023 y 2024 no se detectaron plantas infectadas; un comportamiento similar se observó en LI, con la mayor incidencia en 2022 y un descenso posterior en 2023 (Figura 1). Estudios previos de nuestro grupo demostraron que el virus se encuentra ampliamente distribuido en los cultivares comerciales de Tucumán, y que afecta tanto a plantas sintomáticas como asintomáticas, con un incremento marcado durante la campaña 2020/2021 (Bertani *et al.*, 2023). Estos resultados destacan la importancia de contar con técnicas diagnósticas precisas y de utilizar caña semilla sana como base para implementar estrategias de manejo de enfermedades efectivas en la región.

A pesar de su menor incidencia, también se detectaron SrMV, RS y RSD (Figura 1). Los niveles de incidencia de SrMV fueron bajos en comparación con YL, aunque se registró un incremento significativo en 2022 en EMP. RSD se detectó únicamente en EMP en 2020. En cuanto a estría roja, tanto LI como LIC presentaron una incidencia notable en 2022 (Figura 1).

Todas las muestras positivas para cualquiera de las enfermedades evaluadas son descartadas del esquema de producción del Proyecto Vitroplantas, lo que garantiza la calidad fitosanitaria del material propagado.

El diagnóstico serológico de los semilleros Registrados mostró que la incidencia de RSD se mantuvo

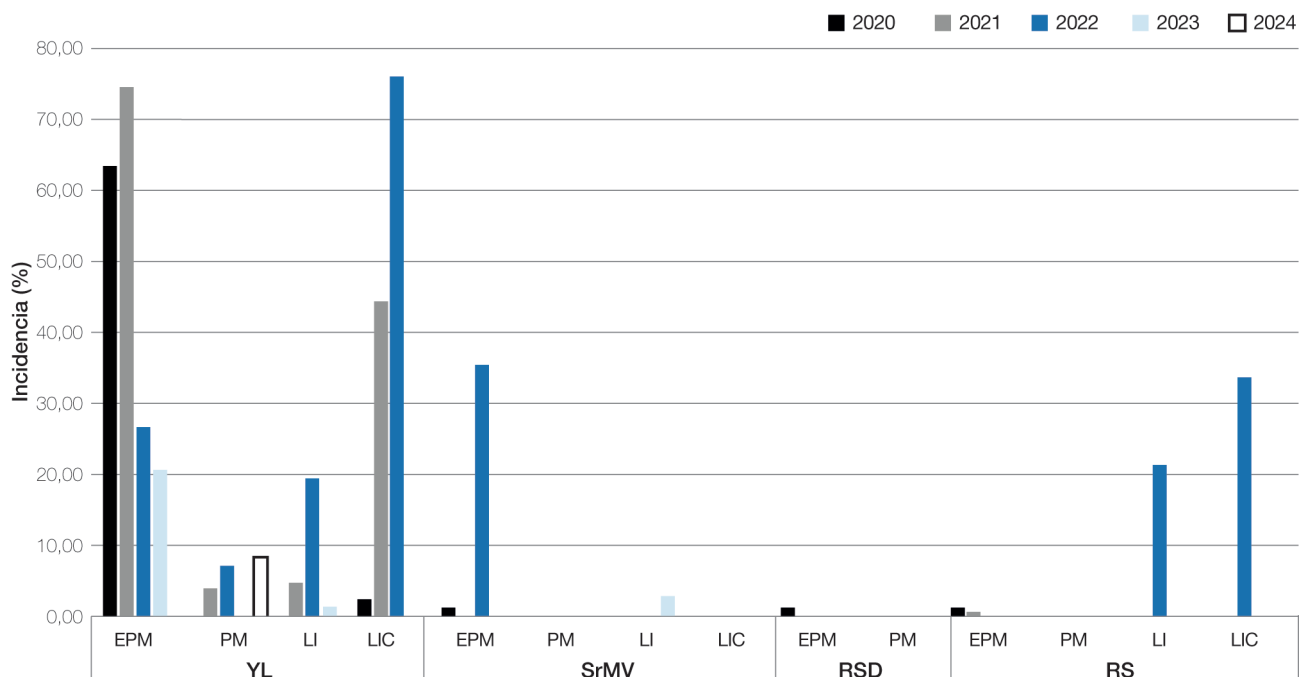


Figura 1. Incidencia promedio de las enfermedades detectadas durante 2020-2024. EPM: muestras para establecer la colección de plantas madre; PM: plantas madre; LI: líneas *in vitro*; LIC: líneas introducidas desde cañaverales. YL: amarillamiento de la hoja; SrMV: virus del mosaico del sorgo; RSD: raquitismo de la caña soca; RS: estría roja.

en niveles bajos, con valores inferiores al 1% en 2021 y menores al 0,5% en los demás años, mientras que la de LS fue inferior al 0,4% en todos los casos (Figura 2). Estos resultados coinciden con los obtenidos previamente entre 2014 y 2018, período en el cual la incidencia máxima de RSD fue de 0,43% y la de LS alcanzó 0,33% (Joya *et al.*, 2019).

Al analizar la incidencia de las enfermedades por variedad, la mayor incidencia de RSD se registró en LCP 85-384 (0,39%), seguida de TUC 95-10 (0,25%) y TUC 00-65 (0,17%). Respecto a LS, la mayor incidencia se observó en TUC 97-8 (0,51%), seguida de TUC 00-65 (0,18%) y TUC 95-10 (0,16%).

Los semilleros Registrados presentaron muy buenas condiciones sanitarias, con incidencias de RSD y LS por debajo de los umbrales de tolerancia aceptados en Argentina, 1% para RSD y 2,5% para LS (Giardina *et*

al., 2013). Si bien las técnicas moleculares constituyen herramientas altamente específicas, no resultan factibles para analizar el gran volumen de muestras provenientes de semilleros. En este contexto, el diagnóstico serológico se presenta como la alternativa más eficiente, al permitir la obtención de resultados rápidos.

En lo que respecta a los cañaverales comerciales, la Sección Fitopatología de la EEAOC recomienda no utilizar como caña semilla aquellos lotes cuyas muestras presenten un nivel de infección de RSD superior al 5% (Bertani *et al.*, 2024). Al clasificar la incidencia de RSD por rangos, se observó que aproximadamente el 80% de las muestras analizadas resultaron aptas para ser utilizadas como caña semilla (incidencia < 5%). Entre 2020 y 2024 se registró un incremento en la proporción de muestras por debajo de este umbral (Figura 3), lo que respalda la eficiencia del esquema de producción de caña semilla de

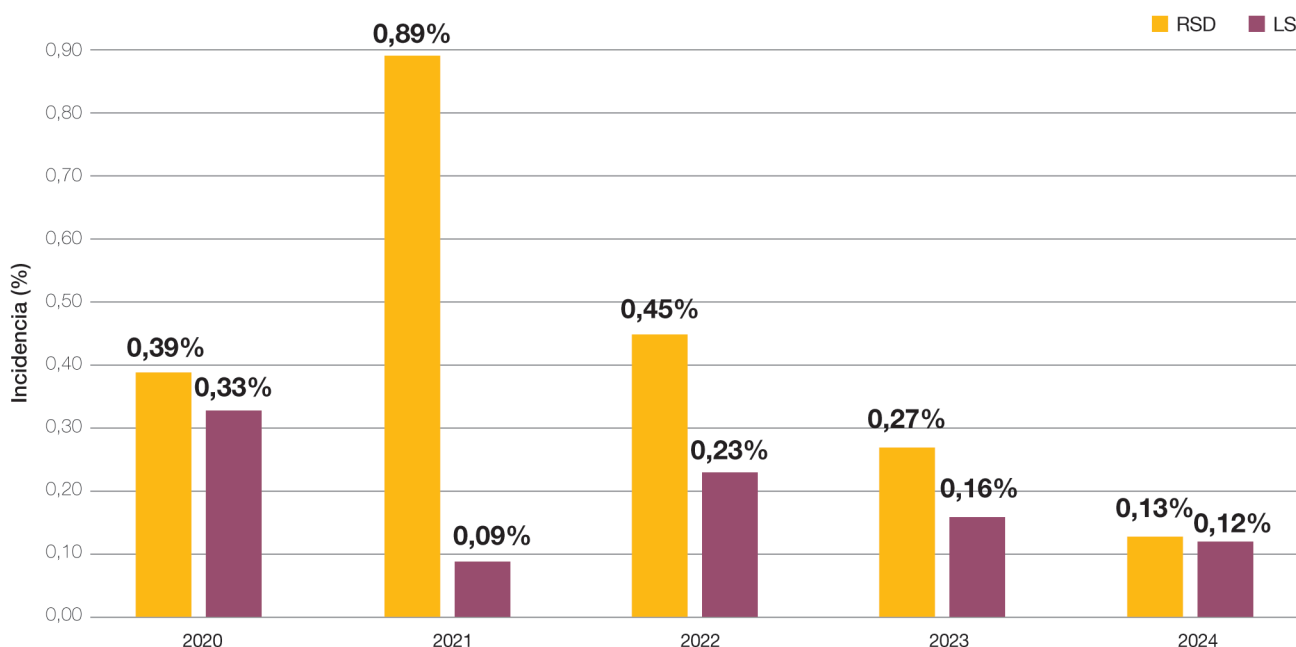


Figura 2. Incidencia promedio de RSD y LS en semilleros Registrados en Tucumán.

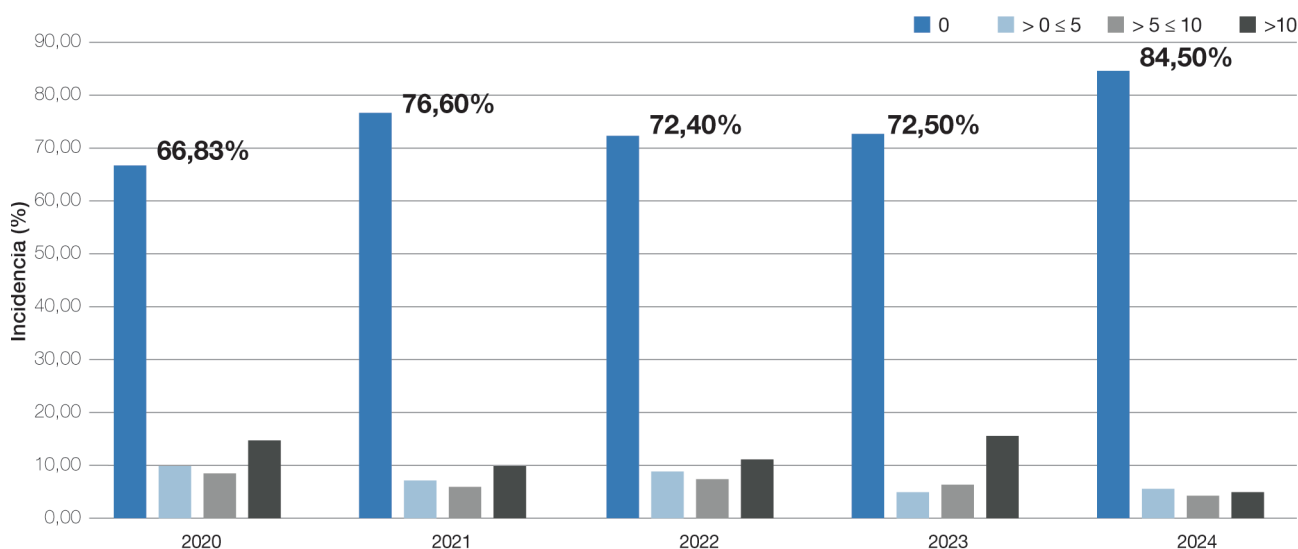


Figura 3. Incidencia promedio de RSD en lotes comerciales en Tucumán.

alta calidad implementado a través del Proyecto Vitroplantas de la EAAOC.

Con estos resultados, los productores pueden identificar y seleccionar de manera confiable cañaverales sanos para destinarlos a nuevos semilleros o para plantación comercial.

Aunque se observa una leve tendencia a la disminución de muestras positivas (Figura 3), es importante enfatizar que el monitoreo rutinario y sistemático resulta esencial. La ausencia de síntomas visibles favorece la utilización de caña semilla infectada, lo que puede conducir a la introducción del patógeno en nuevas áreas de cultivo. En este sentido, la detección correcta y rápida del patógeno en el material de plantación es clave para un manejo efectivo de la enfermedad.

Con un esquema de manejo basado en caña semilla sana, la incidencia de RSD y LS en cañaverales comerciales de Ecuador se redujo del 42% (2001) al 0,02% (2021) (Castillo *et al.*, 2023). De manera similar, en Guatemala, durante 2020-2021, el 94,6% de los semilleros estaban libres de RSD, con un nivel promedio de infección del 0,12% entre los semilleros afectados. Asimismo, el 88% de los semilleros estuvieron libres de LS, con un nivel promedio de infección del 0,30% (García *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

Actualmente, el 74,5% del área de producción de caña de azúcar en Tucumán se encuentra implantada con caña semilla de alta calidad proveniente del Proyecto Vitroplantas de la EAAOC (Henriquez *et al.*, 2023). Nuestros resultados evidencian la adopción progresiva de este esquema por parte de los productores, dado que constituye una herramienta clave de manejo y, al mismo tiempo, facilita la rápida difusión de las nuevas variedades liberadas en los últimos años por la EAAOC.

Asimismo, conocer el estado fitosanitario y realizar una correcta identificación de los fitopatógenos son aspectos esenciales para reducir las pérdidas en el cultivo y asegurar la calidad sanitaria del material de plantación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Ing. Agr. Victoria González, jefa de la Sección Fitopatología de la EAAOC, por su valioso apoyo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Aljanabi, S. M.; L. Forget and A. Dookun. 1999. An improved and rapid protocol for the isolation of polysaccharide and polyphenol free sugarcane DNA. *Plant Molecular Biology Reporter* 17: 1–8.

Bertani, R. P.; C. Funes; J. A. Lobo; C. M. Joya and S. Chaves. 2023. Status of the Sugarcane yellow leaf virus in Tucumán, the main sugarcane-producing area in Argentina. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists* 31: 855–860.

Bertani, R. P.; J. A. Lobo; L. G. Huviene; M. A. Monachesi; C. M. Joya y V. González. 2024. Los desafíos

sanitarios de la caña de azúcar en Tucumán durante la campaña 2023/2024. *Reporte Agroindustrial* 314. Sanidad del cultivo de caña de azúcar.

Castillo, R. O.; E. Silva; J. Mendoza; B. Aucatoma; M. Salazar; F. Garcés; M. Valdez; C. Buenaventura; F. Gualpa; J. Saltos and C. Avellaneda. 2023. Long-term sustainability in sugarcane production in Ecuador driven by research results. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists* 31: 1109–1115.

Davis, M. J.; J. L. Dean; J. D. Miller and Jr. J. M. Shine. 1994. A method to screen for resistance to ratoon stunting disease of sugarcane. *Sugar Cane* 6: 9–16.

Digonzelli, P. A.; J. A. Giardina; J. Fernández de Ullivarri; S. D. Casen; J. Tonatto; M. F. Leggio; E. R. Romero y L. G. P. Alonso. 2009. Caña semilla de alta calidad: obtención y manejo. En: Romero, E. R.; P.A. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.), *Manual del Cañero*. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EAAOC), Las Talitas, pp. 45–56.

García, S.; M. Catalán y D. Juda. 2021. Incidencia de patógenos en semilleros de caña de azúcar en la Zafra 2020–2021. *CENGICAÑA: Mem. Presentac. Result. Invest. Zafra 2020–2021*: 178–185.

Giardina, J. A.; P. A. Digonzelli; D. Duarte; F. Pérez Alabarce; C. Funes; R. P. Bertani; A. Sánchez Ducca and J. Scandaliaris. 2013. Planting, distribution of new varieties, and sanitary conditions of registered nurseries in the 2011 season, Tucumán-Argentina. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists* 28: 424–434.

Girard, J. C.; E. Fernandez; J. H. Daugrois; D. Roques; P. Roumagnac and P. Rott. 2012. Genetic diversity of Sugarcane yellow leaf virus in a sugarcane selection plot in Guadeloupe (FWI). *Int. Sugar J.* 114 (1358): 96–100.

Henriquez, D. D.; P. Medina; M. Aybar Guchea; M. F. Figueroa; D. D. Costilla; J. V. Díaz; C. Díaz Romero y S. Ostengo. 2023. Relevamiento de la distribución varietal y del uso de otras tecnologías en el cultivo de la caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2022/2023. *Reporte Agroindustrial* 282. Adopción de tecnología en el cañaveral.

Joya, C. M.; R. P. Bertani; C. Funes; S. Chaves; D. D. Henriquez; M. F. Perera; A. S. Noguera; V. González; A. P. Castagnaro and P. A. Digonzelli. 2019. Diagnosis and sanitary status of sugarcane propagation material in different stages of the Vitroplantas Project during 2014/2018. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists*. 30: 470–475.

Li, X.Y.; H. D. Sun; P. C. Rott; J. D. Wang; M. T. Huang; Q. Q. Zhang and S. J. Gao. 2017. Molecular identification and prevalence of *Acidovorax avenae* subsp. *avenae* causing red stripe of sugarcane in China. *Plant Pathology*. 67: 929–937.

Pan, Y. B.; M. P. Grisham; D. M. Burner; B. L. Legendre and Q. Wei. 1997. A polymerase chain reaction protocol for the detection of *Xanthomonas albilineans*, the causal agent of sugarcane leaf scald disease. *Plant Disease*. 81: 189–194.

Pan, Y. B.; M. P. Grisham; D. M. Burner; B. L. Legendre and Q. Wei. 1999. Development of polymerase

chain reaction primer highly specific for *Xanthomonas albilineans*, the causal bacterium of sugarcane leaf scald disease. *Plant Disease*. 83: 218–222.

Sambrook, J.; E. F. Fritsch and T. Maniatis. 1989. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. 2. ed. Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, NY.

Sun, S. R.; J. L. Chen; Y. Y. Duan; N. Chu; M. T. Huang; H. Y. Fu and S. J. Gao. 2019. Improved primers for

the specific detection of *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* in sugarcane using a conventional PCR assay. *Plant Disease*. 103: 3251–3258.

Yang, Z. N. and T. E. Mirkov. 1997. Sequence and relationships of sugarcane mosaic and sorghum mosaic virus strains and development of RT-PCR-based RFLPs for strain discrimination. *Phytopathology* 87: 932–939.



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 103 (1):
21-23; 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:
15/09/2025

Fecha de
aceptación:
17/09/2025

Estado actual del carbón de la caña de azúcar en Tucumán, Argentina – Evaluación de la resistencia genética y aplicaciones de fungicidas como estrategias de control

Jessica A. Lobo*, Leny G. Huvierne*, Victoria González* y Romina P. Bertani*

* Sección Fitopatología, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAS. Email: jalobo@eeaoc.org.ar

RESUMEN

Bajo un clima cambiante, el carbón de la caña de azúcar (*Sporisorium scitamineum*) se ha convertido en una amenaza significativa en Tucumán, Argentina, desde 2020. En este estudio se determinó la distribución e incidencia de la enfermedad en los cañaverales de la provincia de Tucumán y se analizaron estrategias alternativas de control. La incidencia se estimó en áreas de muestreo correspondientes a cuatro puntos de 5 metros lineales por hectárea. Se evaluaron productos químicos y biológicos aplicados a caña semilla en dos ensayos, en los que se registraron tanto la incidencia del carbón como los parámetros de rendimiento. El monitoreo realizado entre 2020 y 2024 mostró que la prevalencia de la enfermedad varió entre 47,8% y 51,6%. La principal variedad cultivada, LCP 85-384, presentó los valores de incidencia más altos (superiores al 42%) en todas las campañas. Las variedades TUC 95-10 y TUC 03-12, segunda y tercera en superficie cultivada, mostraron valores máximos de incidencia de 5,7% (campaña 2022-2023) y 17,6% (campaña 2021-2022), respectivamente. La aplicación de estrobilurinas a la caña semilla redujo el desarrollo de síntomas en comparación con la caña no tratada, mientras que la mezcla de estrobilurinas + benzimidazol mostró mayores rendimientos de tallo que el testigo. Los cambios en las condiciones ambientales o en la virulencia del patógeno podrían modificar el comportamiento de las variedades frente al carbón. Por estas razones, es importante continuar estudiando diferentes ingredientes activos para el control de la enfermedad.

Palabras clave: *Sporisorium scitamineum*, incidencia, control químico, tratamiento de semilla.

ABSTRACT

Current status of sugarcane smut in Tucumán, Argentina - evaluation of genetic resistance and fungicide applications as control strategies

Under a changing climate, sugarcane smut (*Sporisorium scitamineum*) has emerged as a significant threat in Tucumán, Argentina, since 2020. The distribution and intensity of smut across Tucumán sugarcane fields was determined and alternative control strategies for the disease analyzed. Incidence was estimated in sampling areas, corresponding to four points of 5-linear meters per hectare. Chemical and bio-products were tested in seed cane in two trials where smut incidence and yield parameters were estimated. Monitoring from 2020 to 2024 showed that smut prevalence ranged from 47.8 to 51.6%. The main cultivated variety, LCP 85-384, had the highest incidence values (above 42%) in all seasons. TUC 95-10 and TUC 03-12, the second and third most cultivated varieties, showed maximum incidence values of 5.7% (2022-2023 season) and 17.6% (2021-2022 season), respectively. Application of strobilurins to seed cane reduced symptom development compared to the untreated cane, whereas mixture of strobilurins + benzimidazole showed higher sugarcane stalk yields than control. Changes in environmental conditions or pathogen virulence could changes variety behavior to diseases. For these reasons, it is important to continue studying different active ingredients for the control of this disease.

Key words: *Sporisorium scitamineum*, incidence, chemical control, seed treatment.

INTRODUCCIÓN

Entre las enfermedades fúngicas que afectan a la caña de azúcar en el mundo, el carbón causado por *Sporisorium scitamineum* (Syd.) (Piepenbring *et al.*, 2002) es de gran importancia. El carbón ocasiona pérdidas de rendimiento debido a reducciones significativas en el contenido de sacarosa y afecta negativamente la pureza del jugo y otros indicadores de calidad (Rajput *et al.*, 2021).

El cambio climático está modificando las tasas de desarrollo de patógenos, la resistencia de los hospedantes y las interacciones hospedante-patógeno (Coakley *et al.*, 1999). En los últimos años, el fenómeno “La Niña” resultó en mayores temperaturas máximas y menores precipitaciones en Tucumán, Argentina (Forciniti *et al.*, 2023), favoreciendo el desarrollo del carbón.

Las principales estrategias de manejo de la enfermedad incluyen el uso de cultivares resistentes y caña semilla sana (Sundar *et al.*, 2012). Las aplicaciones de fungicidas a caña semilla antes de la plantación, mediante inmersión en agua fría o en combinación con tratamientos de termoterapia, han cobrado importancia creciente como medida de control alternativa (Bhuiyan *et al.*, 2015).

Los objetivos de nuestro estudio fueron determinar la distribución e incidencia del carbón en los cañaverales de Tucumán durante las últimas cuatro campañas y analizar estrategias alternativas de control de la enfermedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La incidencia de carbón se evaluó de octubre a febrero en cada campaña de 2020/2021 a 2023/2024. El estudio incluyó la variedad LCP 85-384, principal variedad cultivada en la provincia, y siete variedades TUC desarrolladas por el Subprograma de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar de la EEAOC (SMGCA-EEAOC) (Henriquez *et al.*, 2023). En cada lote de caña, la incidencia de carbón se evaluó por hectárea en cuatro sitios de muestreo, cada uno con cuatro surcos de 5 metros lineales. En estos puntos, se midió la incidencia (porcentaje de tallos enfermos) y la prevalencia (porcentaje de lotes enfermos) del carbón.

Se realizaron dos ensayos a campo en la campaña 2022/2023 con el fin de evaluar la eficacia de tratamientos fungicidas en caña semilla para controlar el carbón en la variedad LCP 85-384. La caña semilla se colectó en lotes con alta incidencia de la enfermedad. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 10 repeticiones. Las parcelas consistieron en un surco de 5 metros de longitud. Los productos se aplicaron con mochila de CO₂ a razón de 150 L/ha. Un ensayo se plantó manualmente en Alabama, Cruz Alta (Tucumán), y el otro se hizo mecánicamente en Las Cejas, Cruz Alta (Tucumán). Los productos y dosis se muestran en la Tabla 1.

El monitoreo mensual se realizó en ambos ensayos luego de la brotación de la caña, para determinar la incidencia de carbón en cada parcela. Se calcularon incidencia, área bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC), y control de la enfermedad (%) ((AUDPC testigo – AUDPC tratamiento) / AUDPC testigo x 100). Para estimar parámetros de cosecha, se recolectaron manualmente todos los tallos en 1 metro lineal de cada parcela. Se midieron peso y altura de tallos, y se determinaron rendimientos cultural y fabril.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cañaverales de Tucumán mostraron prevalencias de carbón de 47,8% en 2020/21; de 80,1% en 2021/22; de 51,6% en 2022/23 y 50,4% en 2023/24. La variedad comercial LCP 85-384, predominante en la región, exhibió altos picos de incidencia en cada campaña (Figura 1), destacando su considerable susceptibilidad a la enfermedad. En contraste, las variedades TUC desarrolladas localmente mostraron ausencia de síntomas o solo trazas, con algunas excepciones en lotes específicos (Figura 1).

Los ensayos realizados en caña semilla demostraron que A (25% i.a.) fue el único fungicida evaluado que redujo significativamente la incidencia del carbón. En ambos ensayos, este tratamiento alcanzó un control de la enfermedad del 95,3% y 61,5%, respectivamente. Estos resultados coinciden con estudios previos que reportan la alta eficacia de A en el manejo del carbón cuando se aplica como tratamiento de semilla (Bhuiyan *et al.*, 2012).

Tabla 1. Ensayos de tratamientos de caña semilla para controlar carbón bajo condiciones de campo.

Ingrediente activo (i.a)	Dosis (L/ha)	Abreviación
Control de infección	-	Control
Piraclostrobin (5%) + metil tiofanato (45%)	2,5	P + MT
Azoxistrobina (25%)	120	A
Inductor de defensa	75	ID
Inductor de defensa + piraclostrobin (5%)+ metil tiofanato (45%)	75 + 2,5	ID + P + MT

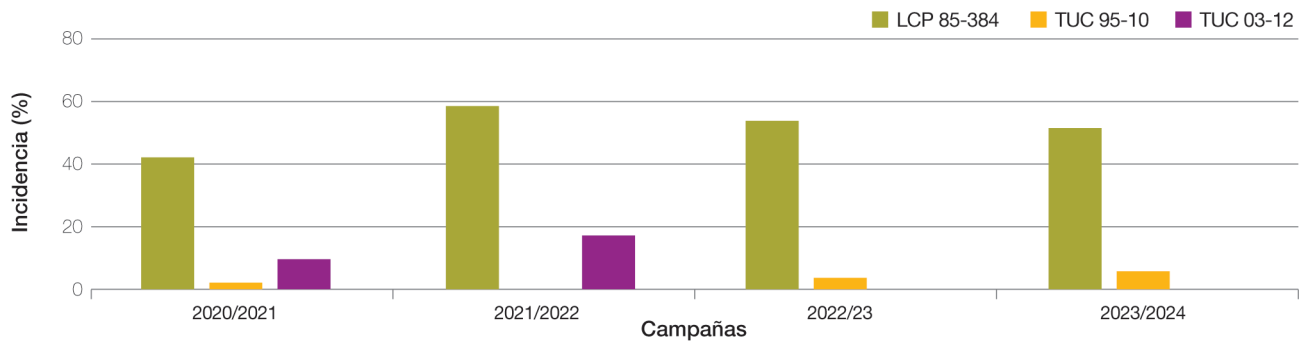


Figura 1. Valores máximos puntuales de incidencia de carbón en variedades comerciales de caña de azúcar en Tucumán, Argentina, durante cuatro campañas de cultivo. Solo se graficaron las variedades que mostraron carbón.

En el ensayo de plantación manual, ningún tratamiento mostró diferencias significativas con el testigo en peso de tallos. Sin embargo, solo el tratamiento P+MT se diferenció significativamente en altura de tallos respecto al testigo. No hubo diferencias significativas en rendimientos de caña ni en los parámetros fabriles entre los tratamientos.

En el ensayo de plantación mecanizada, los tratamientos P+MT, A y Di+P+MT mostraron mayores pesos de tallos que el testigo infectado. En altura de tallos, los tratamientos P+MT y A presentaron diferencias significativas con el testigo. Las estimaciones de rendimiento de caña fueron superiores para los tratamientos P+MT y A; sin embargo, no se observaron diferencias significativas en el rendimiento fabril.

CONCLUSIONES

Las condiciones climáticas recientes en Tucumán han generado un ambiente favorable para el desarrollo y diseminación del carbón de la caña de azúcar. LCP85-384 mostró alta susceptibilidad a la enfermedad, mientras que las variedades TUC presentaron, en general, mayor resistencia. Para enfrentar este problema, es crucial emplear estrategias de manejo integrado que combinen cultivares resistentes y fungicidas potencialmente novedosos. En consecuencia, es esencial continuar investigando nuevos ingredientes activos y métodos alternativos de control.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Bhuiyan, S. A.; B. J. Croft; R. S. James and M. C. Cox. 2012.** Laboratory and field evaluation of fungicides for the management of sugarcane smut caused by *Sporisorium scitamineum* in seed cane. *Australasian Plant Pathology* 41: 591-599.
- Bhuiyan, S. A.; B. J. Croft and G. R. Tucker. 2015.** New method of controlling sugarcane smut using flutriafol fungicide. *Plant Disease* 99: 1367-1373.
- Coakley, S. M.; H. Scherm and S. Chakraborty. 1999.** Climate change and plant disease management. *Annual Review of Phytopathology* 37: 399-426.
- Forciniti, J.; M. L. Soulé Gómez; A. M. Leal y J. M. Medina. 2023.** Condiciones agrometeorológicas del período Julio 2022 - febrero 2023 en Tucumán. *Reporte Agroindustrial* 273.
- Henriquez, D. D.; P. Medina; M. Aybar Guchea; M. F. Figueroa; D. D. Costilla; J. V. Díaz; C. Díaz Romero y S. Ostengo. 2023.** Relevamiento de la distribución varietal y del uso de otras tecnologías en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2022/2023. *Reporte Agroindustrial* 282.
- Piepenbring, M.; M. Stoll and F. Oberwinkler. 2002.** The generic position of *Ustilago maydis*, *Ustilago scitaminea*, and *Ustilago esculenta* (Ustilaginales). *Mycological Progress* 1: 71-80.
- Rajput, M. A.; N. A. Rajput; R. N. Syed; A. M. Lodhi and Y. Que. 2021.** Sugarcane smut: current knowledge and the way forward for management. *Journal of Fungi* 7: 1095.
- Sundar, A. R.; E. L. Barnabas; P. Malathi and R. Viswanathan. 2012.** A mini-review on smut disease of sugarcane caused by *Sporisorium scitamineum*. *Botany* 2014: 226.



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 103 (1):
24-26; 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:
30/09/2025

Fecha de
aceptación:
01/10/2025

Mejoras en el sector calentamiento y evaporación en un ingenio de Tucumán, Argentina

Marta Carolina Cruz*, Federico Franck* y Marcelo Ruiz*

* Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales, EEAOC. C.P. 4101- Las Talitas- Tucumán. www.eeaoc.org.ar - Tel. 0381-4521000. E-mail: ccruz@eeaoc.org.ar

RESUMEN

El proceso de evaporación es el principal consumidor de vapor escape y condiciona la eficiencia energética de la planta. El consumo de vapor escape en Tucumán podría mejorarse modificando el esquema de operación en la evaporación, lo que en general requiere inversiones, en mayor o en menor medida, en función de las modificaciones que se realicen. En este trabajo se analizó la performance del sistema de calentamiento y evaporación de un ingenio de Tucumán, considerando los equipos existentes en el proceso. El estudio se centro en la optimización del consumo de vapor de escape y del agua de refrigeración al condensador barométrico, con el propósito de establecer una guía estratégica para la toma de decisiones en futuras inversiones del ingenio. Los resultados muestran que con la extracción de vapor vegetal del segundo efecto, equivalente a 7,85% caña destinado a los tachos de cocimiento, se lograría un ahorro de vapor de escape de 0,84%, operando en cuádruple efecto y sin inversión en superficie. Con diferentes inversiones en superficie, según las alternativas planteadas, podría ahorrarse hasta 3,82% de vapor escape, junto con la mayor disminución en el vapor enviado al condensador barométrico.

Palabras clave: evaporadores, eficiencia energética, ahorro de vapor.

ABSTRACT

Improvements in the heating and evaporator stations in a mill in Tucumán, Argentina

The efficiency of the evaporation plant contributes significantly to determine the exhaust steam demand and energy efficiency of the plant. Exhaust steam consumption in Tucumán can be improved by modifying the evaporation operation scheme, which generally requires investments, to a greater or lesser extent depending on the modifications made. The performance of the heating and evaporation stage of a sugar mill in Tucumán was analyzed. Possible improvements were proposed and evaluated as a guide for planning future investments, including strategies of rational use of energy to reduce the consumption of exhaust steam and water in the barometric condenser. The results shows that shifting the vapor bleeding from the first effect to the second effect of quintuple evaporation plant equivalent to 7.85% on cane for vacuum pans would result in a saving of 0.84% exhaust steam without any investment in surface area. With some investments in the surface area, according to the proposed alternatives, up to 3.82% exhaust steam could be saved, alongside a greater reduction in the steam sent to the barometric condenser.

Key words: Evaporators, energy efficiency, steam saving.

INTRODUCCIÓN

El consumo de vapor escape depende del esquema de operación de cada ingenio; es decir, del número

de efectos, del tipo de tecnología empleada (evaporadores tipo Robert, película descendente, de placas, etc.), de la realización o no de extracciones de vapores vegetales y de cómo se emplean para el calentamiento de jugo, ta-

chos de cocimiento, destilería, refinería, etc. En Tucumán, los trenes de evaporación están constituidos, en general, por evaporadores tipo Robert (Almirón *et al.*, 2006) en cuádruple o quintuple efecto. El consumo de vapor escape ronda entre los 38% y 58% caña, y podría mejorarse mediante modificaciones en el esquema de operación del sistema de evaporación (Cruz *et al.*, 2022), alcanzando valores de 30-35% caña, como sucede en ingenios de otros países. Para ello, en general sería necesario realizar inversiones, en mayor o menor medida en función de las modificaciones a realizar.

El objetivo de este trabajo fue analizar la performance del sistema de calentamiento y evaporación de un ingenio de Tucumán y, teniendo en cuenta los equipos existentes en el proceso, evaluar posibles mejoras basadas en estrategias de uso racional de la energía, orientadas a disminuir el consumo de vapor escape y de agua en el condensador barométrico, y que sirvan como guía para planificar futuras inversiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

En octubre de 2023 se realizaron ensayos de medición en un ingenio azucarero de Tucumán, cuya capacidad de molienda fue de 8375 t/d. En este caso, el sistema de evaporación está constituido por cinco efectos, donde el jugo y el vapor de calefacción son alimentados en serie a través del tren. El primer efecto tiene la particularidad de estar conformado por un tanque de expansión central y cinco reboilers de 1200 m² cada uno dispuestos a su alrededor. Desde allí, cada efecto hacia el final está formado por una sola caja: tres de 1500 m² y dos de 1000 m². La superficie total en evaporación es de 12.500 m². Se realizan extracciones de vapor vegetal del primer, segundo y tercer efecto para abastecer los calentadores, los cuales trabajan en paralelo para calefaccionar el jugo encalado. Los tachos de cocimiento y la destilería son abastecidos por vapor vegetal del primer efecto. Además, el sistema cuenta con recalentadores de jugo claro antes de su ingreso a la evaporación. A partir de los ensayos realizados, se calcularon los valores promedio (Tabla 1) y se definió un caso base para estudiar posibles mejoras orientadas al ahorro de vapor escape. Se propusieron cinco casos

de estudio: **Caso 1:** cinco efectos, con extracción de vapor vegetal del último efecto (VG5) para el primer calentamiento de jugo encalado; **Caso 2:** cinco efectos, con extracción de vapor vegetal del segundo efecto (VG2) para tachos de cocimiento; **Caso 3:** cinco efectos, con extracción de vapor vegetal del último efecto (VG5) para el primer calentamiento de jugo encalado y con extracción de vapor vegetal del segundo efecto (VG2) para tachos de cocimiento; **Caso 4:** cuatro efectos, con extracción de vapor vegetal del segundo efecto (VG2) para tachos de cocimiento; **Caso 5:** cuatro efectos, con extracción de vapor vegetal del último efecto (VG4) para el primer calentamiento de jugo encalado y con extracción de vapor vegetal del segundo efecto (VG2) para tachos de cocimiento.

Los valores de coeficientes globales de transferencia de calor adoptados para sistemas de cuádruple efecto y quintuple, se obtuvieron con la ecuación de Baloh (T. Baloh y E. Wittwer):

$$U = \frac{5,23 \times 10^6}{r_e^2 + r_s^2 + 800} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Donde:

r_e = contenido de materia seca del jugo a la entrada

r_s = contenido de materia seca del jugo a la salida.

Se empleó el programa de simulación, desarrollado en la EEOC, denominado SIMCE 3.0, que permite efectuar simulaciones en estado estacionario de sistemas de calentamiento y evaporación de la industria azucarera. Los datos de entrada para la simulación de los casos de estudio se muestran en la Tabla 1. Según los datos aportados por el ingenio, se consideró 32 t/h (9,17% C) de vapor vegetal del primer efecto (VG1) para destilería y 62 t/h (17,83 %C) para tachos de cocimiento. En el caso de derivar vapor vegetal del segundo efecto a tachos de cocimiento, se consideró 27,4 t/h (7,85 %C) por condiciones de tachos con agitación.

RESULTADOS

En la Figura 1 (a y b) se muestran los ahorros de vapor escape logrados para cada caso de estudio en %

Tabla 1. Datos de entrada para las simulaciones.

Variable de entrada	Unidad	5 efectos	4 efectos
Caudal de JE*	%C**	104,8	104,8
Caudal de JC**	%C	91,9	91,9
Brix de JE	%Brix	17,8	17,8
Brix de JC	%Brix	16,8	16,8
Brix del melado	%Brix	62	62
Temperatura de JC antes del calentamiento	°C	88,3	88,3
Temperatura de JC después del calentamiento	°C	116,7	114,8
Temperatura de JE antes del calentamiento	°C	38	38
Temperatura de JE final	°C	103,7	103,7
Presión de VE	bar	2,21	2,21
Temperatura de VE	°C	123,6	123,6
Temperatura del último efecto	°C	65	65

* JE: Jugo encalado. ** %C: Caudal expresado como porcentaje de caña molida. ***JC: jugo claro.

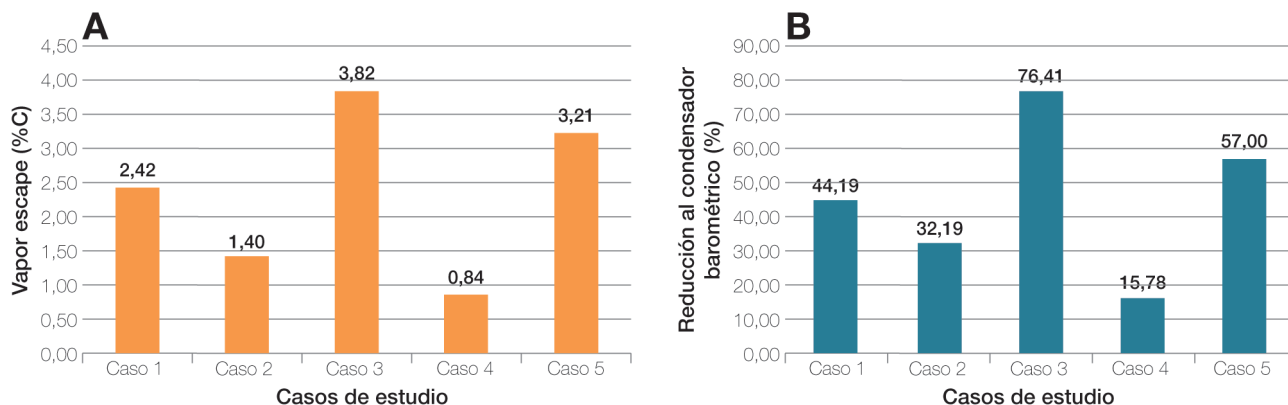


Figura 1. Ahorro de vapor escape y disminución del consumo de vapor al condensador barométrico en relación al caso base.

caña, como así también la disminución porcentual del vapor al condensador barométrico en relación al caso base.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que con la extracción de vapor vegetal del segundo efecto -equivalente a 7,85% caña para tachos de cocimiento-, se lograría un ahorro de vapor de escape del 0,84% operando en cuádruple efecto, sin necesidad de inversión en superficie. Con diferentes inversiones en superficie, según las alternativas planteadas, el ahorro podría alcanzar hasta un 3,82 % de vapor escape, y se lograría la mayor reducción del vapor enviado al condensador barométrico.

Cabe destacar que se pueden plantear diferentes alternativas, cada una con sus modificaciones específicas

en la fábrica y las inversiones asociadas correspondientes. Las alternativas aquí planteadas se realizaron con el objetivo de conformar una base de análisis para proyectar esquemas de mejoras a futuro.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Almirón, M. y D. Paz. 2006.** Evaporadores empleados en la industria azucarera de caña. Avance Agroindustrial (1): 33-38.
- Cruz, M. C.; F. Franck Colombres y D. Paz. 2022.** Evolución de la eficiencia en la evaporación. Revista Agroindustrial y Agrícola de Tucumán (RIAT).
- Baloh, T. and E. Wittwer. 1995.** Energy Manual for Sugar Factories Manual de Energia para Fábricas de Azúcar. 2a edición. Bartens. Berlin.



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 103 (1):
27-29; 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:
16/09/2025

Fecha de
aceptación:
17/09/2025

Análisis retrospectivo de progenitores en el programa de mejoramiento genético de caña de azúcar de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres de 1998 a 2020

Carolina Díaz Romero*, M. Fernanda Figueroa*, Jorge V. Díaz*, Diego D. Henriquez*, Diego D. Costilla*, A. Cecilia Ghio*, Josefina Racedo** y Santiago Ostengo*

* Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, T4101XAC. ** Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA), EEAOC - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CCT NOA Sur. Las Talitas T4101XAC, Tucumán, Argentina. Email: cdiazromero@eeaac.org.ar

RESUMEN

El Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (PMGCA-EEAOC) en Tucumán, Argentina, selecciona cada año los progenitores que se utilizarán en los cruzamientos biparentales. El presente estudio tuvo como objetivo analizar los progenitores elegidos entre 1998 y 2020 (23 campañas) en el PMGCA-EEAOC, en función de su nivel de exploración y del número de individuos seleccionados de su progenie en las etapas tempranas de selección. Se calcularon índices propuestos por Santchurn et al. (2023), asociados al número de familias e individuos explorados en base a medias históricas, y a las tasas de selección en las etapas iniciales del esquema de selección del PMGCA-EEAOC. En total, se caracterizaron 316 progenitores, de los cuales el 72% tuvo suficiente progenie para evaluar su desempeño. De estos progenitores, el 53,9% generó individuos que fueron seleccionados en la Etapa 2 del PMGCA-EEAOC (etapa temprana de selección no replicada), con una tasa de selección superior a la de la población. Los progenitores analizados fueron utilizados en 1460 cruzamientos biparentales, generando 70.135 individuos que alcanzaron la Etapa 2. De estas familias, solo el 40% fue suficientemente explorado en relación con las medias históricas. Entre las familias que fueron ampliamente exploradas, el 42,2% presentó una tasa de selección mayor que la tasa de selección poblacional. Este análisis retrospectivo de 23 campañas generó información para investigar asociaciones entre los valores fenotípicos y genéticos, derivados de estudios genómicos, de los progenitores del PMGCA-EEAOC y su capacidad de producir progenie con altos valores selectivos.

Palabras clave: cruzamientos, progenies, índice de selección, tasa de selección.

ABSTRACT

Retrospective analysis of progenitors in the sugarcane breeding program of Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres from 1998 to 2020

Each year the Sugarcane Breeding Program of Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (SCBP-EEAOC) in Tucumán, Argentina, selects the progenitors to be used in biparental crossings. The present study aimed to analyze the parents chosen between 1998 and 2020 (23 seasons) in the SCBP-EEAOC based on their level of exploration and the number of selected individuals of their progeny in early selection stages. Indices proposed by Santchurn et al. (2023) were calculated, associated with the number of families and individuals explored based on historical means, and the selection rates at the early stages of the SCBP-EEAOC selection scheme. A total of 316 progenitors were characterized, of which 72% had enough progeny to assess their performance. Of these progenitors, 53.9% generated individuals that were selected in

Stage 2 of the SCBP-EEAOC (early unreplicated selection stage) with a selection rate higher than the selection rate of the overall population. The analyzed progenitors were used in 1460 biparental crossings, generating 70,135 individuals that reached Stage 2. Of these families, only 40% were sufficiently explored based on historical means. Among the families that were widely explored, 42.2% had a higher selection rate than that of the population. This retrospective analysis of 23 seasons generated information to investigate associations between phenotypic and genetic values, derived from genomic studies, of the SCBP-EEAOC progenitors, and their capability of producing progeny with high selective values.

Key words: crossings, progenies, selection index, selection rate.

INTRODUCCIÓN

Anualmente, el Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (PMGCA-EEAOC) en Tucumán, Argentina, realiza un promedio de 450 cruzamientos biparentales para generar poblaciones genéticamente diversas. Estos nuevos genotipos son evaluados y seleccionados a través de cinco etapas sucesivas que abarcan un período de 12 años, con el objetivo final de obtener variedades comerciales de alto rendimiento (Ostengo *et al.*, 2021). La selección de los progenitores involucrados en los cruzamientos constituye un aspecto clave, ya que sus características fenotípicas y genéticas, junto con su capacidad de transmitir las a la descendencia, determinan la calidad de las poblaciones resultantes y, en consecuencia, el éxito en el desarrollo de nuevas variedades.

Santchurn *et al.* (2023) propusieron el uso de índices para categorizar progenitores y cruzamientos en función de las tasas de selección de las progenies a lo largo de las diferentes etapas del proceso de selección. Este enfoque permite identificar progenitores y cruzamientos con alta calidad genética que generarán un mayor número de genotipos con probabilidad de ser elegidos para avanzar a la siguiente fase del proceso de mejoramiento.

Una herramienta útil para la selección de progenitores es la integración de información molecular mediante el cálculo de sus valores genéticos estimados (GEBV, siglas en inglés de Genetic Breeding Values) a partir de datos genómicos. El uso de progenitores con altos GEBV para los caracteres de interés incrementará el valor genético de las progenies (Racedo *et al.*, 2023).

El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis retrospectivo de los progenitores utilizados entre 1998 y 2020 (23 campañas) en el PMGCA-EEAOC, en función de su nivel de exploración y del número de individuos seleccionados de su progenie en las etapas tempranas de selección.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los índices propuestos por Santchurn *et al.* (2023) se utilizaron para categorizar progenitores y cruzamientos biparentales, abarcando 23 series implantadas entre 1998 y 2020. La evaluación de genotipos se reali-

zó en la primera etapa clonal (Etapa 2) del esquema del PMGCA-EEAOC, que consiste en parcelas no replicadas de un surco de 3 m, plantado en campos experimentales ubicados en Cevil Pozo (departamento Cruz Alta) y Santa Ana (departamento Río Chico), en Tucumán, Argentina.

La categorización se basó en dos criterios principales: el número de individuos evaluados por progenitor o cruzamiento, y las tasas de selección obtenidas en esta etapa del programa.

Los cruzamientos y sus progenitores correspondientes fueron clasificados de acuerdo con el número de clones plantados por cruzamiento y progenitor, según los criterios especificados en la Tabla 1; a esta clasificación se la designó como Grado de Progenie (GP). Las categorías fueron definidas a partir de registros históricos de clones por cruzamiento plantados en la Etapa 2.

Tabla 1. Grado de Progenie (GP).

Grado de Progenie	Clones por cruza
1 Bajo	< 10
2 Regular	10 - 29
3 Medio	30 - 49
4 Bueno	50 - 69
5 Muy bueno	> 70

Los Índices de Selección (IS) fueron calculados para cada progenitor (femenino y masculino) y para cada cruzamiento, considerando la relación entre la tasa de selección (TS) de cada uno y la tasa de selección de la población en cada año. En base al IS se categorizaron los progenitores y los cruzamientos de acuerdo a la Tabla 2.

Tabla 2. Categorías de Progenitores y cruzamientos basados en el Índice de Selección (IS).

IS = TS Progenitor o Cruzamiento / TS Población	Categoría de Progenitor o Cruza (CP-CC)
0 - 0,99	1 Regular
1 - 1,49	2 Media
1,5 - 1,99	3 Buena
2 - 2,49	4 Muy buena
≥ 2,5	5 Excelente

RESULTADOS

El análisis de los progenitores utilizados en las 23 campañas estudiadas permitió caracterizar a 316 individuos parentales.

Determinación del Grado de Progenie de progenitores y cruzamientos

El Grado de Progenie (GP) de cada progenitor y cruzamiento se determinó considerando el número de clones evaluados correspondientes a cada uno en la Etapa 2. La Tabla 3 presenta el número de progenitores y cruzamientos clasificados en cada categoría de GP, de 1 (bajo) a 5 (muy bueno), y detalla el porcentaje que estas cantidades representan en cada categoría con respecto al total. Se consideró que un GP igual o superior a 3, es decir, más de 30 clones evaluados por progenitor o cruzamiento en la etapa mencionada, era apropiado para indicar un nivel aceptable de exploración. De esta manera, el desempeño de 228 progenitores (72% de los progenitores analizados) pudo ser evaluado a través de su progenie. Mientras tanto, 611 cruzamientos (41% del total) tuvieron suficientes clones para explorar su comportamiento.

Tabla 3. Número y porcentaje de progenitores y cruzamientos estudiados para cada categoría de GP.

Grado de Progenie	N° de Progenitores	% de Progenitores	N° de Cruzamientos	% de Cruzamientos
1 Bajo	33	10%	811	56%
2 Regular	55	17%	38	3%
3 Medio	32	10%	241	17%
4 Bueno	25	8%	100	7%
5 Muy bueno	171	54%	270	18%
Total	316	100%	1460	100%

Categorización de progenitores

Los Índices de Selección (IS) fueron calculados para los 228 progenitores con un GP mayor o igual a 3, y luego se les asignó la categoría correspondiente. El número total de progenitores asignados a cada categoría se muestra en la Tabla 4. Las categorías iguales o superiores a 2 corresponden a IS mayores que 1, lo que indica que la tasa de selección (TS) del progenitor o del cruzamiento superó la TS de la población evaluada. El número total de progenitores asignados a estas categorías fue de 123, lo que representa el 53,9% de los progenitores estudiados.

Tabla 4. Número de progenitores asignados por Categoría de Progenitores (CP).

Categoría de Progenitor (CP)	N° de Progenitores	%
1 Regular	33	46
2 Media	55	
3 Buena	32	54
4 Muy buena	25	
5 Excelente	171	
Total	316	100

Categorización de cruzamientos

Se evaluaron 1460 cruzamientos biparentales a lo largo de las 23 campañas, generando un total de 70.135 clones plantados en la Etapa 2. De estos cruzamientos, 611 presentaron un GP de 3 o superior. En la Tabla 5, los cruzamientos se categorizan según su Índice de Selección (IS), mostrando el 42,2% un IS de 2 o más. Esto indica que la Tasa de Selección (TS) del cruzamiento superó la TS promedio de la población analizada. Por lo tanto, se destaca que un porcentaje significativo de los cruzamientos estudiados presentó características deseables, lo que permitió la selección de un alto número de individuos para continuar el proceso de selección en la siguiente etapa.

Tabla 5. Número de cruza asignadas por Categoría de Cruzamientos (CC).

Categoría de Cruzamiento (CC)	N° de Cruzamientos	%
1 Regular	353	58
2 Media	155	
3 Buena	55	42
4 Muy buena	27	
5 Excelente	21	
Total	611	100

CONCLUSIONES

La selección de progenitores en un programa de mejoramiento es una etapa altamente compleja que involucra numerosas variables, por lo que se requieren metodologías eficientes para detectar de manera precisa y, si es posible, rápida los que poseen un alto valor genético.

La categorización de progenitores y cruzamientos utilizando niveles de exploración y tasas de selección en etapas tempranas, y luego asociándola con información genética (GEBVs), constituye una herramienta útil. Los valores genéticos asignados a los progenitores, junto con estudios de asociación, permitirán implementar la selección genómica, identificando progenitores destacados para continuar explorándolos, y descartar aquellos con bajo desempeño. De manera similar, facilitará la diferenciación de cruzamientos sobresalientes de aquellos clasificados como de bajo rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Ostengo, S.; G. Serino; M. F. Perera et al. 2021.** Sugarcane breeding, germplasm development and supporting genetic research in Argentina. Sugar Tech 24: 166-180.
- Racedo, J.; E. A. Rossi; M. Aybar Guchea et al. 2023.** Genomic selection for traits of interest in the EEAOC sugarcane breeding program. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists 31: 775-781.
- Santchurn, D.; M. G. H. Badaloo and S. Travaille. 2023.** A method for improving the efficiency of the proven-cross and proven-parent system in Mauritius. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists 31: 611-620.



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 103 (1):
1-6; 2026



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

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

Nota Técnica

Primer registro de supervivencia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz Bt que expresa la proteína Vip3Aa20, en la Argentina

Martín A. Vera*, María G. Murúa**, Juan L. Jurat-Fuentes***, Nicolás E. Campero*, Cristian M. Medrano*, Emmanuel Cejas Marchi*, Lucas E. Cazado****, Gerardo A. Gastaminza*, Franco S. Scalora* y Augusto S. Casmuz*

* Sección Zoología Agrícola. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Instituto de Tecnología Agroindustrial del Noroeste Argentino (ITANOA-EEAOC-CONICET), Av. William Cross 3150. T4101XAC, Las Talitas, Tucumán, Argentina. ** Instituto de Bioprospección y Fisiología Vegetal (NBIOFIV-CONICET-UNT) y Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (UNT), San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. *** Departamento de Entomología y Patología de Plantas, Universidad de Tennessee, Tennessee, EEUU. **** Universidad Nacional de Tucumán (UNT), San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina. Email: mavera@eeaoc.org.ar

RESUMEN

El empleo de híbridos Bt resulta una herramienta clave para el manejo de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), una de las principales plagas del cultivo de maíz en la Argentina. Entre las tecnologías disponibles, se destacan los híbridos que expresan la proteína Vip3Aa20 por su alta eficacia. Sin embargo, durante la campaña 2025 - 2026 se detectó daño foliar y supervivencia de larvas de *S. frugiperda* en estas tecnologías en diferentes regiones del Norte y Litoral de la Argentina. Con el objetivo de identificar posibles cambios en la susceptibilidad de *S. frugiperda* a tecnologías Bt que expresan esta proteína, se realizaron muestreos y evaluaciones en lotes comerciales de maíz y bioensayos en laboratorio. Para ello, se determinó en campo la incidencia y la severidad del daño causado por esta especie, verificando la expresión de la proteína Vip3Aa20 en plantas de maíz Bt con daño foliar. Se evaluó también, la supervivencia larval y la defoliación en bioensayos con maíz Bt (Vip3Aa20) y no Bt comparándolos con larvas de una colonia susceptible. Las evaluaciones a campo evidenciaron una incidencia variable de daño foliar, con predominio de niveles de severidad bajos a moderados (escala de Davis) y presencia de larvas vivas. Los bioensayos realizados con poblaciones de campo confirmaron la supervivencia de larvas de *S. frugiperda* sometidas a tejido Bt (Vip3Aa20). Esto constituye el primer registro en la Argentina de supervivencia de *S. frugiperda* en maíz Vip3Aa20, lo que indicaría un cambio en la susceptibilidad poblacional. Esta situación es una señal de alerta para reforzar el monitoreo y las estrategias de manejo integrado para preservar la eficacia y durabilidad de las tecnologías Bt.

Palabras clave: monitoreo, gusano cogollero, susceptibilidad, cultivos transgénicos.

ABSTRACT

First record of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) survival in Bt maize expressing the Vip3Aa20 protein in Argentina

The use of Bt maize hybrids is a key tool for managing *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), one of the main pests of maize in Argentina. Among the available technologies, hybrids expressing the Vip3Aa20 protein stand out for their high efficacy. However, during the 2025-2026 growing season, foliar damage and survival of *S. frugiperda* larvae were detected in these technologies in different regions of Northern and Litoral of Argentina. To identify possible changes in the susceptibility of *S. frugiperda* to Bt technologies expressing this protein, sampling and evaluations were carried out in commercial maize fields, along with laboratory bioassays. Specifically, the incidence and severity of damage caused by this species were determined in the field, verifying the expression of the Vip3Aa20 protein in Bt maize plants with foliar damage.

Fecha de
recepción:
15/01/2026

Fecha de
aceptación:
16/01/2026

Larval survival and defoliation were also evaluated in bioassays with Bt (Vip3Aa20) and non-Bt corn, comparing them with larvae from a susceptible colony. Field evaluations showed a variable incidence of foliar damage, with a predominance of low to moderate severity levels (Davis scale) and the presence of live larvae. Bioassays conducted with field populations confirmed the survival of *S. frugiperda* larvae exposed to Bt (Vip3Aa20) tissue. This constitutes the first record in Argentina of *S. frugiperda* survival on Vip3Aa20 maize, which would indicate a change in population susceptibility. This situation is a warning sign to strengthen monitoring and integrated management strategies to preserve the efficacy and durability of Bt technologies.

Key words: monitoring, fall armyworm, susceptibility, transgenic crops.

INTRODUCCIÓN

Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) es una de las principales plagas del cultivo de maíz en la Argentina, particularmente en regiones tropicales y subtropicales (Murúa *et al.*, 2019). Actualmente está presente en África, Asia y Oceanía, tanto que representa una grave amenaza para la seguridad alimentaria a nivel mundial (Shylesha *et al.*, 2018; Ganiger *et al.*, 2018; Nagoshi, 2019; MPI, 2024).

Las larvas se alimentan de todos los tejidos vegetativos como hojas jóvenes y el cogollo, lo que reduce la capacidad fotosintética y provoca daños estructurales en las plantas. Además, pueden afectar órganos reproductivos, como espigas y granos de maíz, generando un impacto directo sobre el rendimiento (Chimweta *et al.*, 2019; Prasanna *et al.*, 2021). En función del estadio fenológico del cultivo y la intensidad de infestación, esta especie puede ocasionar daños característicos de cortadora, defoliadora y cogollera, e incluso perforar y barrenar tallos, dañando panojas y espigas, con pérdidas potenciales de hasta un 37% del rendimiento (Willink *et al.*, 1993; Vera *et al.*, 2022). No obstante, los niveles de pérdida pueden variar ampliamente según el ambiente, el estadio fenológico del cultivo, la densidad larval y la implementación de estrategias de manejo, y en escenarios sin control se han citado reducciones de rendimiento de hasta el 73% (Willink *et al.*, 1993; Hruska y Gould, 1997; Overton *et al.*, 2021; Kenis *et al.*, 2022).

El uso de híbridos Bt ha sido una herramienta clave para su manejo (Murúa *et al.*, 2013), destacándose en los últimos años, las tecnologías que expresan la proteína Vip3Aa20 por su alta eficacia frente a poblaciones susceptibles (Vera *et al.*, 2022). Sin embargo, la presión de selección ejercida por el uso continuo y extendido de estas

tecnologías puede favorecer cambios en la susceptibilidad poblacional, tal es así que la resistencia de esta especie a cultivos Bt ya fue detectada (Chandrasena *et al.*, 2017, Murúa *et al.* 2019). La resistencia a Cry1F se mencionó por primera vez en Puerto Rico (Storer *et al.*, 2010). Detecciones posteriores se documentaron en Florida, Brasil, Carolina del Norte (Huang *et al.*, 2014; Farias *et al.*, 2014; 2016) y en la Argentina (Chandrasena *et al.*, 2017).

Durante la campaña 2025 - 2026 se detectó la presencia de daño foliar y larvas vivas de *S. frugiperda* en maíz Bt con tecnología Vip3Aa20 en distintos lotes comerciales de maíces de primera, de las provincias de Corrientes, Santa Fe y Chaco. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el cambio de susceptibilidad a la proteína Vip3Aa20 de poblaciones de campo de *S. frugiperda* mediante evaluaciones en campo y en laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de muestreo

Los muestreos se realizaron en lotes comerciales de maíz Bt durante la campaña 2025 - 2026 en las provincias de Corrientes, Santa Fe, Chaco, Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero (Argentina). En cada sitio se registró la localidad, fecha de evaluación y evento biotecnológico (Tabla 1).

Evaluaciones a campo

En cada localidad se evaluaron 200 plantas de maíz Bt, distribuidas en cuatro puntos de 50 plantas cada uno. En cada planta se registraron las siguientes variables:

- Incidencia de daño foliar y severidad según la escala de Davis, agrupando en las siguientes categorías: sin daño (0 - 1), daño bajo (2 - 3), daño moderado (4 - 6) y

Tabla 1. Lotes relevados en este estudio.

Provincia	Localidad	Año	Mes	Evento
Corrientes	Bella Vista	2025	octubre	Cry1F + Cry1Ab + Vip3Aa20
Santa Fe	Margarita	2025	octubre	Cry1Ab + Vip3Aa20
Chaco	Charata	2025	noviembre	Cry1Ab + Vip3Aa20
Tucumán	Alto Verde	2025	diciembre	Cry1Ab + Vip3Aa20
Catamarca	Los Altos	2025	diciembre	Cry1Ab + Vip3Aa20
Santiago del Estero	El Palomar	2026	enero	Cry1A.105 + Cry2Ab2 + Vip3Aa20

daño severo (7 - 9) (Davis *et al.* 1992).

- Presencia y número de larvas vivas de *S. frugiperda* en el total de plantas evaluadas por localidad.

Confirmación de la expresión de Vip3Aa20 en plantas de maíz Bt con daño foliar

La expresión de la proteína Vip3Aa20 se confirmó mediante el testeo del 20% de plantas con daño en cada lote, utilizando tiras inmunocromatográficas ELISA QuickStix (Envirologix®), siguiendo las instrucciones del fabricante.

Bioensayos de supervivencia a Vip3Aa20

Se trabajó con poblaciones de larvas de *S. frugiperda* recolectadas de lotes de maíz Bt con tecnología Vip3Aa20 en las localidades detalladas en la Tabla 2. El material recolectado en el campo fue identificado taxonómicamente y criado en condiciones controladas de laboratorio hasta la obtención de los adultos. Estos fueron ubicados, formando parejas, en jaulas cilíndricas de PET (polietileno-tereftalato) de 30 cm de longitud y 10 cm de diámetro que contenían un trozo de papel plegado para permitir el reposo y la oviposición de las hembras. Diariamente se extrajeron las posturas, que fueron depositarlas en tubos de vidrio hasta la obtención de las larvas. Para los bioensayos se utilizaron larvas neonatas, correspondiente a la filial 1 (F1) de cada población.

Los bioensayos se realizaron bajo condiciones controladas (27°C ± 2 °C, 60%HR, 14:10 L:O), considerándose las poblaciones de campo y una colonia de *S. frugiperda* susceptible de referencia siguiendo la metodología descrita por Murúa *et al.* (2019) (Tabla 2). Un total de 120 larvas fueron alimentadas con tejido foliar de maíz Bt que expresaba las proteínas Cry1F, Cry1Ab y Vip3Aa20 (confirmándose la expresión de esta última con las tiras mencionadas anteriormente), mientras que otras 120 larvas fueron alimentadas con tejido foliar de maíz no Bt, ambos

provenientes de plantas en iguales estadios vegetativos. Los parámetros evaluados fueron el porcentaje de supervivencia larval y el porcentaje de defoliación a los 4, 7 y 10 días después de la infestación (DDI). El porcentaje de supervivencia se calculó restando 100 en el valor de mortalidad corregida, calculado mediante la fórmula de Abbott (1925) y el porcentaje de defoliación a partir del programa BioLeaf - Foliar Analysis™.

Se analizaron los porcentajes de supervivencia y defoliación determinados a los 10 DDI, de las poblaciones de *S. frugiperda* alimentadas con maíz Bt y no Bt. Se realizó un modelo lineal con función de varianza identidad, determinándose diferencias entre las medias de los tratamientos (maíz Bt y no Bt) mediante la prueba de Tukey, empleando el paquete estadístico InfoStat versión 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS

Incidencia y severidad del daño a campo

La incidencia de daño foliar varió entre localidades, con valores comprendidos entre un 8% y un 53% (Tabla 3). Predominaron las categorías correspondientes a daño bajo (2 - 3) y moderado (4 - 6), observándose en todas las localidades y en esta última categoría la presencia de larvas vivas.

Expresión de Vip3Aa20

La expresión de la proteína Vip3Aa20 fue confirmada en el 100% de las plantas evaluadas, descartando fallas relacionadas a la falta de expresión de la proteína Vip3Aa20, como causa del daño observado.

Bioensayos para evaluar la supervivencia a Vip3Aa20 de *S. frugiperda*

En la colonia susceptible no hubo supervivencia

Tabla 2. Poblaciones de *Spodoptera frugiperda* (Lep.: Noctuidae) utilizadas en los bioensayos recolectadas en diferentes lotes y momentos.

Provincia	Localidad	Año	Mes	Evento
Corrientes	Bella Vista	2025	octubre	Cry1F Cry1Ab Vip3Aa20
Santa Fe	Margarita	2025	octubre	Cry1Ab Vip3Aa20
Chaco	Charata	2025	noviembre	Cry1Ab Vip3Aa20
Tucumán	Alto Verde	2025	diciembre	Cry1Ab Vip3Aa20
Tucumán	La Cocha	2022	febrero	RR2 (colonia susceptible)

Tabla 3. Porcentaje de severidad, incidencia y número de larvas vivas de *Spodoptera frugiperda* (Lep.: Noctuidae) registrados en las diferentes localidades, sobre el monitoreo de 200 plantas de maíz en la campaña 2025 - 2026.

Provincia	Localidad	Escala de Davis (%)				Incidencia (%)	Larvas vivas
		0-1	2-3	4-6	7-9		
Corrientes	Bella Vista	47	30	16,5	6,5	53	86
Santa Fe	Margarita	77,5	20,5	2	0	23	37
Chaco	Charata	52,5	28,5	14	5	48	85
Tucumán	Alto Verde	72	26	2	0	28	50
Catamarca	Los Altos	92	7	1	0	8	10
Santiago del Estero	El Palomar	87,5	7,5	4	1	13	20

de larvas cuando se alimentaron con tejido de maíz Bt que expresaba la proteína Vip3Aa20, confirmando la susceptibilidad a esta proteína y respaldando la validez biológica de los ensayos realizados.

A los 10 DDI, se observaron niveles de supervivencia que oscilaron entre un 97% y 99,16% en las larvas alimentadas con maíz no Bt según la población evaluada (Tabla 4). Cuando estas poblaciones fueron expuestas a maíz Bt, que expresa la proteína Vip3Aa20, se registraron porcentajes de supervivencia altos, con valores comprendidos entre 65,83% y 77% (Tabla 4). Se observaron diferencias estadísticamente significativas al comparar los valores de supervivencia, cuando las poblaciones fueron sometidas a maíz Bt (Vip3Aa20) y no Bt, con valores promedio de 70,92% y 98,41% respectivamente (Tabla 5).

Con respecto al nivel de defoliación, a los 10 DDI, las poblaciones alimentadas con maíz Bt (Vip3Aa20), presentaron valores que oscilaron entre un 3,29% y un 3,92%; mientras que en maíz no Bt las defoliaciones registradas fueron desde un 8,79% a un 9,7% (Tabla 4 y Figura 1). Sobre este parámetro, las poblaciones produjeron una defoliación significativamente superior cuando fueron alimentadas con maíz no Bt, en comparación a la registrada en maíz Bt (Tabla 5).

Tabla 4. Porcentaje de supervivencia larval y porcentaje de defoliación a los 10 días después de la infestación (DDI) en poblaciones de *Spodoptera frugiperda* (Lep.: Noctuidae) de distintas localidades de la Argentina, evaluadas en bioensayos con maíz Bt (Vip3Aa20) y maíz no Bt.

Provincia	Localidad	Supervivencia (%) - 10 DDI		Defoliación (%) - 10 DDI	
		Bt	No Bt (%)	Bt	No Bt
Corrientes	Bella Vista	77,00	97,00	3,92	8,79
Santa Fe	Margarita	66,67	98,30	3,67	9,13
Chaco	Charata	74,16	99,16	3,29	9,7
Tucumán	Alto Verde	65,83	99,16	3,52	9,28
Tucumán*	La Cocha			0,005	9,24

*Población susceptible de *S. frugiperda*.

DISCUSIÓN

La resistencia de *S. frugiperda* a los maíces Bt presenta un desafío significativo, especialmente en regiones tropicales y subtropicales donde la especie se considera una plaga clave. Las estrategias de manejo de la resistencia para prolongar la durabilidad de los maíces Bt deben ser prioritarias. Entre estas prácticas, un refugio estructurado (es decir, un bloque con un 10% de maíz no Bt sembrado con un 90% de maíz Bt) asociado con una dosis alta se considera la estrategia de manejo más eficiente.

La resistencia de *S. frugiperda* a Cry1F ya fue detectada en Puerto Rico (Storer *et al.*, 2010), EE.UU., Brasil y en la Argentina (Huang *et al.*, 2014; Farias *et al.*, 2014; 2016; Chandrasena *et al.*, 2017). Estudios realizados por Flores y Balbi (2014) y Balbi y Flores (2015), registraron hasta 15% de supervivencia de larvas de *S. frugiperda* en híbridos de maíz Bt que expresaban la proteína Cry1F, confirmando posteriormente la resistencia de las poblaciones de esta especie a dicha proteína en la Argentina (Chandrasena *et al.*, 2017). Estos antecedentes concuerdan con nuestros resultados donde la presencia de daños en plantas Bt, indicarían un cambio de susceptibilidad de *S. frugiperda* a Vip3Aa20, demostrando la existencia de alelos de resistencia de Vip3Aa20 en poblaciones de campo. Por lo tanto, esta proteína podría tener una eficacia reducida en la Argentina. Estos resultados tienen importantes implicaciones para el manejo de la resistencia.

Tabla 5. Porcentaje de supervivencia larval y porcentaje de defoliación a los 10 días después de la infestación (DDI) para las poblaciones de *Spodoptera frugiperda* (Lep.: Noctuidae) sometidas a maíz Bt (Vip3Aa20) y maíz no Bt.

Tratamientos	Supervivencia (%) - 10 DDI	Defoliación (%) - 10 DDI
Maíz Bt	70,92 ± 2,76 a	3,60 ± 0,13 a
Maíz No Bt	98,41 ± 0,51 b	9,23 ± 0,19 b
p-valor	0,0001	<0,0001

Letras distintas indican diferencias significativas (Prueba de Tukey, p<0,05).

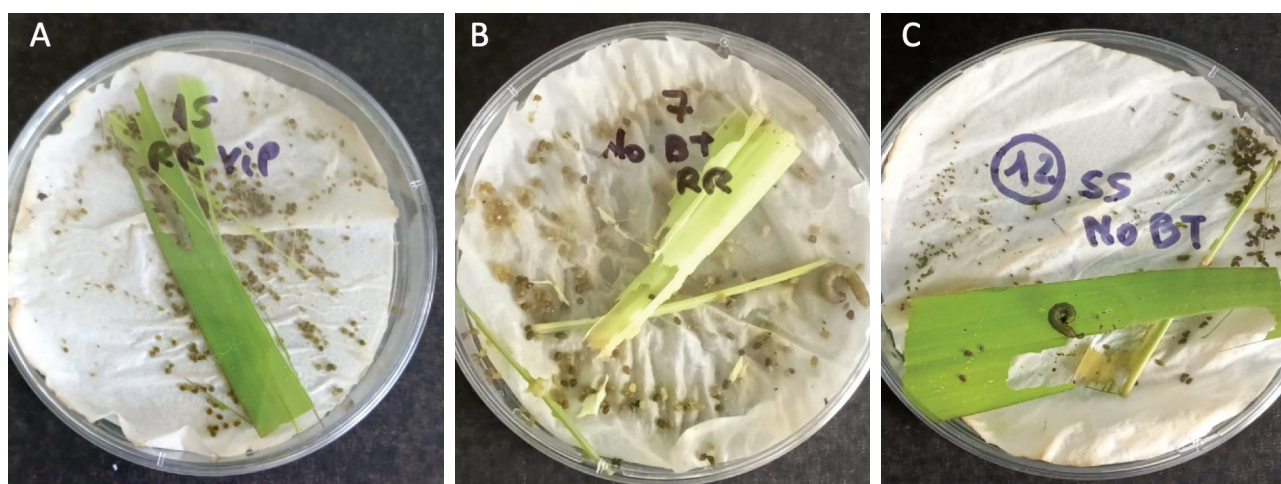


Figura 1. Defoliación producida por larvas de *Spodoptera frugiperda* (Lep.: Noctuidae). **A:** población recolectada sobre maíz Vip3Aa20 alimentada con maíz Bt, **B:** población recolectada sobre maíz Vip3Aa20 alimentada con maíz no Bt, **C:** colonia susceptible alimentada con maíz no Bt.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO

La confirmación de la expresión de la proteína Vip3Aa20 permite descartar fallas del evento Bt y sugiere la existencia de cambios iniciales en el comportamiento de determinadas poblaciones de *S. frugiperda* en campo, a esta tecnología.

Este comportamiento, apoyado por la detección de larvas supervivientes de *S. frugiperda* alimentándose en maíz Bt Vip3Aa20 proveniente de distintas localidades del país, constituye una señal de alerta temprana. Lo observado actualmente en maíz Bt que expresa esta proteína indica que no debe asumirse un control pleno de la plaga apoyado en esta tecnología, recomendándose intensificar los monitoreos tempranos y sistemáticos de los lotes de maíz, especialmente durante los estadios vegetativos iniciales. Resulta fundamental reforzar las estrategias de manejo integrado de plagas y de manejo de resistencia, asegurando el cumplimiento efectivo de refugios, la rotación de modos de acción y el empleo criterioso de controles químicos complementarios cuando la situación lo requiera.

La generación continua de información regional y el seguimiento sistemático de poblaciones permitirán anticipar escenarios de pérdida de eficacia y contribuir a la preservación de la durabilidad de las tecnologías Bt disponibles.

En síntesis, este trabajo constituye el primer registro en la Argentina de supervivencia de *S. frugiperda* en maíz Bt con tecnología Vip3Aa20 y aunque esto no constituye por sí sola evidencia concluyente de resistencia, los resultados obtenidos resaltan la importancia de la vigilancia temprana y continua para anticipar posibles escenarios de pérdida de eficacia de la tecnología.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a **SUMMIT AGRO Argentina** por la colaboración brindada en el desarrollo del presente trabajo. Asimismo, expresan su reconocimiento a los Ing. Agr. Leopoldo Márquez, Martín Pasamani, Rocío Budeguer, Elder Ledergerber, Carlos Roca, Carolina Fulani, Gómez Gerardo e Ignacio Romero, por su valioso aporte técnico y acompañamiento durante las distintas etapas del estudio.

Por otro lado, agradecemos a Carmen Urueña de la EEOC, por su excelente apoyo técnico en los ensayos de laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Abbott, W.S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265 – 267.

Balbi, E. I. y Flores, F. (2015). Evaluación del daño causado por el “Cogollero de maíz” (*Spodoptera frugiperda*) y presencia de la “Isoca de la espiga” (*Helicoverpa zea*) en diferentes híbridos de maíz transgénico. Available from [http:// inta.gob.ar/documentos/evaluacion-del-danocausado-por-el-cogollero-de-maiz-spodoptera-frugiperda-y-presenciade-la-](http://inta.gob.ar/documentos/evaluacion-del-danocausado-por-el-cogollero-de-maiz-spodoptera-frugiperda-y-presenciade-la-)

[isoca-de-la-espiga-helicoverpa-zea-en-diferentes-hibridos-de-maiztransgenico](http://inta.gob.ar/documentos/evaluacion-del-danocausado-por-el-cogollero-de-maiz-spodoptera-frugiperda-y-presenciade-la-isoca-de-la-espiga-helicoverpa-zea-en-diferentes-hibridos-de-maiztransgenico)

- Chandrasena, D., A. Signorini, G. Abratti, N. P. Storer, M. Lopez Olaciregui, A. P. Alves, and C. D. Pilcher. (2017).** Characterization of field –evolved resistance to *Bacillus thuringiensis*-derived Cry1F δ -endotoxin in *Spodoptera frugiperda* populations from Argentina. *Pest Manag. Sci.* doi: 10.1002/ps.4776 (online version without final page numbers).
- Chimweta, M., Nyakudya, I. W., Jimu, L., and Mashingaidze, A. B. (2019).** Fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)] damage in maize: management options for smallholder farmers in sub-Saharan Africa. *International Journal of Pest Management.*
- Davis, F., S. S. Ng, and W. P. Williams. (1992).** Visual rating scale for screening whorl stage corn resistance to fall armyworm. *Tech. Bull:* 186. USDA. ARS. M.S. Univ.
- Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C. W. (2008).** InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Casanoves/publication/319875343_Manual_del_usuario/links/5e2ee26992851c9af7280cfa/Manual-del-usuario.pdf
- Farias, J. R., D. A. Andow, R. J. Horikoshi, R. J. Sorgatto, P. Fresia, A. C. Santos, and C. Omoto. (2014).** Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Crop Protect.* 64: 150–158.
- Farias, J. R., D. A. Andow, R. J. Horikoshi, R. J. Sorgatto, A. C. dos Santos, and C. Omoto. (2016).** Dominance of Cry1F resistance in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on TC1507 Bt maize in Brazil. *Pest Manag. Sci.* 72: 974–979.
- Flores, F., y Balbi, E. (2014).** Evaluación del daño de oruga militar (*Spodoptera frugiperda*) en diferentes híbridos comerciales de maíz transgénico. *Maíz Actualización 2014. Informe de actualización Técnica N° 31*, pp. 23-28.
- Ganiger, P. C., Yeshwanth, H. M., Muralimohan, K., Vinay, N., Kumar, A. R. V., and Chandrashekar, K. (2018).** Occurrence of the new invasive pest, fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in the maize fields of Karnataka, India. *Curr Sci India*, 115(4):621-3.
- Hruska, A. J., and Gould, F. (1997).** Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and the impact of larval population level on maize yield. *Journal of Economic Entomology.*
- Huang, F., Qureshi, J. A., Meagher Jr., R. L., Reisig, D. D., Head, G. P., Andow, D. A., Ni, X., Kerns, D., Buntin, G. D., Niu Y., Yang, F. and Dangal, V. (2014).** Cry1F resistance in fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: single gene versus pyramided Bt maize. *PLoS One.* 9: e112958.
- Kenis, M., du Plessis, H., Van den Berg, J., Ba, M. N., Goergen, G., Kwadjo, K. E., ... Prasanna, B. M. (2022).** Invasiveness, biology, ecology, and management of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Annual Review of Entomology*, 67, 231–251.

- Ministry for Primary Industries (MPI) (2024).** <https://www.mpi.govt.nz/biosecurity/exotic-pests-and-diseases-in-new-zealand/long-term-biosecurity-management-programmes/fall-armyworm-in-new-zealand/#presence>
- Murúa M. G., García Degano M. F., Pereira M. de los A., Pero E., Willink E., y Gastaminza G. (2013).** Eficacia en campo del maíz Herculex® I para el control de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lep.: Noctuidae). Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán,90 (1): 37-43.
- Murúa M. G., Vera M. A., Michel A., Casmuz A. S., Faretto J., and Gastaminza G. (2019).** Performance of field-collected *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) strains exposed to different transgenic and refuge maize hybrids in Argentina. Journal of Insect Science, 19(6): 21; 1-7doi: 10.1093/jisesa/iez110.
- Nagoshi, R. N. (2019).** Evidence that a major subpopulation of fall armyworm found in the Western Hemisphere is rare or absent in Africa, which may limit the range of crops at risk of infestation. PLoS One. 2019; 14(4): e0208966. doi: 10.1371/journal.pone.0208966.
- Overton, K., Maino, J. L., Day, R., Umina, P. A., Bett, B., Carnovale, D., ... and Meagher, R. L. (2021).** Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. Crop Protection, 145, 105641.
- Prasanna, B. M., Huesing, J. E., Eddy, R., and Peschke, V. M. (Eds.). (2021).** Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management (2nd Edition). CIMMYT (y socios).
- Shylesha, A. N., Jalali, S. K., Gupta, A., Varshney, R., Venkatesan, T., Shetty, P., Ojha, R., Ganiger, P., Navik, O., Subaharan, K., Bakthavatsalam, N., Ballal, C.R., and Raghavendra, A.T. (2018).** Studies on new invasive pest *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies. Journal of Biological Control. 32(3):145-51. doi: DOI: 10.18311/jbc/2018/21707.
- Storer, N. P., J. M. Babcock, M. Schlenz, T. Meade, G. D. Thompson, J. W. Bing, and R. M. Huckaba. (2010).** Discovery and characterization of field resistance to Bt maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. J. Econ. Entomol. 103: 1031-1038.
- Vera M. A., Casmuz A. S., Cejas Marchi E., Villafañe D. A., Díaz Arnijas G. H., Medrano C. M., Aguilar A., Paoletti F., Suarez L., Murúa M. G., Gastaminza G., and Scalora F. S. (2022).** Maíces con la proteína Vip3A: estrategias para la prevención de la resistencia del gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda*. Ed. Devani MR & Gamboa D, El cultivo de maíz en el noroeste argentino campaña 2020/2021. Publicación Especial Maíz EEAOC N° 68, EEAOC: <https://www.eeaoc.gov.ar/?publicacion=maices-con-la-proteina-vip3a-estrategias-para-la-prevencion-de-la-resistencia-del-gusano-cogollero-spodoptera-frugiperda>.
- Willink, E.; M. Costilla y V. Osoros. (1993).** Daños, pérdidas y nivel de daño económico de *Spodoptera frugiperda* (Lep., Noctuidae) en maíz. Revista Industrial Agrícola de Tucumán 70 (1-2): 49-52.



**ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES**

Tucumán | Argentina