



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

Tomo 102 (1) | 2025



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

Ing. Qco. Roberto Marcelo Ruiz

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

Corrección

Prof. en Letras Ernesto Klass

Difusión

D.G. Silvio César Salmoiraghi

Coordinadora de Publicaciones

Ing. Agr. Victoria González



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

Tomo 102 (1):
2025

ISSN
0370-5404

En línea
1851-3018

EEAOC

Determinación de azúcares reductores
totales en cachaza **3**

Influencia del ambiente en la optimización
de la fertilización nitrogenada en caña de
azúcar en Tucumán, Argentina **8**

Un enfoque de mejora continua en la
producción de vitroplantas de caña de
azúcar en la EEAOC **12**

Control de vitropatógenos en el esquema
de producción *in vitro* de caña de azúcar
en la EEAOC **16**

Impacto del carbón de la caña de azúcar
en el proceso de selección del Programa
de Mejoramiento Genético de la EEAOC
durante los últimos 10 años **20**

Relación entre la zonificación del área
cañera según los niveles de producción
y la fertilidad de los suelos en Tucumán,
Argentina, utilizando geotecnologías **24**



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 102 (1) - 2025

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 tomo.

Ing. María E. Tosi
Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Tucumán, R. Argentina.

Dra. Mónica Piccardi
Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Córdoba, R. Argentina.



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 102 (1):
3-7; 2025



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

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

Determinación de azúcares reductores totales en cachaza

Paula M. Díez*, Rubén A. Jiménez*, Cristian A. Aballay*, Alvaro N. Rementería*
Natalia R. Sorol*

*Sección Química de Productos Agroindustriales. EEAOC. Email: pmdiez@eeaoc.org.ar

RESUMEN

La producción simultánea de azúcar y alcohol a partir de caña de azúcar es una de las más importantes fuentes de ingreso económica en Tucumán – Argentina. La evaluación de la eficiencia en la producción de azúcar cristal se viene realizando históricamente mediante el control por balance de sacarosa, a través de la Pol en caña, el azúcar obtenido físicamente, y la sacarosa perdida en las principales corrientes residuales del sistema productivo (bagazo, cachaza y melaza). Para evaluar la producción de etanol se hace necesario contar con un control por balance similar al de la producción de azúcar cristal, donde la variable a controlar debe ser necesariamente el contenido de Azúcares Reductores Totales (ART).

Desde el Laboratorio de Investigaciones Azucareras (LIA) de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) se desarrolló y puso a punto una metodología de análisis directo modificada, que permite cuantificar el contenido de ART en la caña y en el bagazo. Esta metodología se suma a las ya establecidas para el análisis de ART en melaza y en azúcar; y queda, para completar el balance, disponer de una técnica que cuantifique los ART en cachaza, siendo éste último el objetivo del presente trabajo de investigación.

Para la detección de los ART en muestras de cachaza, se utilizó la técnica modificada del método químico de reducción de cobre, denominada Fehling Causse-Bonnans, por ser una metodología que permite visualizar mejor el punto final de la reacción. Para la aceptación de los datos analíticos, se estableció un coeficiente de variación porcentual de $\pm 5\%$ para los ensayos de repetibilidad y reproducibilidad. Los resultados obtenidos cumplen con el criterio establecido, obteniéndose % CV menores al 2%.

Palabras clave: Fehling Causse-Bonnans, ART, balance de sacarosa mediante Pol.

ABSTRACT

Determination of total reducing sugars in filter cake

The simultaneous production of sugar and alcohol from sugar cane is one of the most important sources of income in Tucumán – Argentina. Historically, the assessment of efficiency in crystal sugar production has been conducted through the control of the sucrose balance entering the sugar cane and the physically obtained sugar, plus the sucrose lost in the main waste streams of the production system (bagasse, filter cake, and molasses). To evaluate ethanol production, it's necessary to have a similar balance control as with crystal sugar production, where the variable to be monitored must necessarily be the Total Reducing Sugars content (TRS).

From the Sugar Research Laboratory (SRL) of the Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), a modified direct analysis methodology was developed and refined, allowing for the quantification of TRS content in cane and bagasse. This methodology complements the established ones for TRS analysis in molasses and sugar. To complete the balance, a technique to quantify TRS in filter cake is needed, which is the objective of this research work.

For the detection of TRS in filter cake samples, the modified technique of the copper reduction chemical method, known as Fehling Causse-Bonnans, was used. This methodology allows for better visualization of the end point of their action. To accept the analytical data, a coefficient of variation of $\pm 5\%$ was established for repeatability and reproducibility tests. The results obtained meet the established criteria, with % CV values lower than 2%.

Key words: Fehling Causse-Bonnans, ART, sucrose balance by Pol analysis.

Fecha de
recepción:
21/01/2025

Fecha de
aceptación:
12/08/2025

■ INTRODUCCIÓN

La industria azucarera tiene un gran impacto en la actividad económica de la provincia de Tucumán, por lo tanto, cualquier mecanismo que contribuya a evaluar la calidad de la caña y las pérdidas de azúcar en el proceso, y maximizar la rentabilidad del proceso industrial resulta de significativa importancia.

Actualmente, son dos los métodos usados para determinar la calidad de la materia prima en el proceso azucarero. El método indirecto o método de trapiche: determinando el contenido de sacarosa aparente y la pureza del jugo de primera presión y usando el factor de Java, se estima el contenido de sacarosa de la caña que ingresa a la industria. El otro método, empleado por algunos ingenios, es el método por prensa hidráulica: de manera directa se obtiene la calidad de la materia prima que permite conocer el rendimiento esperado (Romero *et al.*, 2009).

En el LIA de la EEAOC se desarrolló y puso a punto una modificación del método de digestión húmeda, que permite, de una manera directa y más precisa, evaluar la calidad de la caña que ingresa al ingenio. (Sorol *et al.*, 2024). En el desarrollo de este método se incluyó la determinación de ART. Realizar esta no es necesario para determinar la calidad de la caña en relación a la producción de azúcar, pero debido a que en el proceso industrial no sólo se obtiene azúcar sino también alcohol, al hablar de rendimientos es necesario realizar un balance de este parámetro en la industria sucroalcoholera.

Para realizar este balance es necesario conocer la cantidad de azúcares que ingresa al proceso industrial con la materia prima, la cantidad de azúcares que sale con las corrientes de azúcar y de melaza (principal subproducto que se utiliza para la obtención de alcohol), y la cantidad de azúcares que se pierde en el bagazo y en la cachaza. Con el método desarrollado en el laboratorio se puede conocer la cantidad de ART que ingresa al proceso con la materia prima. Este método se puso a punto, además, para permitir evaluar este parámetro en el bagazo. El azúcar y la melaza cuentan con métodos para el análisis de ART estandarizados, quedando solamente para estudiar las pérdidas de estos componentes en la cachaza, que es el objetivo del presente estudio.

La cachaza es un residuo que se obtiene en el proceso de clarificación de los jugos de caña. Durante este proceso se obtiene el jugo clarificado que se envía a la fábrica y un lodo que precipita en el fondo del decantador. Al lodo se lo filtra para recuperar la mayor parte del jugo, quedando como producto lo que se conoce como cachaza, que contiene restos de azúcares que no se recuperan. Los azúcares que se encuentran presentes en la caña en mayor proporción son sacarosa; y en menor proporción, glucosa y fructosa (Rein, 2007). La sacarosa, azúcar no reductor, es un disacárido formado por la unión de dos monosacáridos, glucosa y fructosa. La glucosa es un polihidroxialdehído, mientras que la fructosa es una polihidroxiketona.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar y poner a punto un método que permitiera cuantificar la cantidad de azúcares reductores totales que se pierde en la cachaza,

basado en el método químico de la reducción del cobre.

■ MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la determinación de ART en muestras de cachaza, primero se sometieron las muestras a una hidrólisis ácida con el objetivo de degradar la sacarosa, para que luego, durante una reacción de titulación en un medio básico, toda la fructosa presente se isomericice, obteniéndose como producto final glucosa con capacidad de reducir al cobre.

El método de determinación de ART fue optimizado utilizando muestras de cachaza provenientes de diferentes ingenios. Su precisión se evaluó mediante ensayos de repetibilidad y reproducibilidad, en los que dos analistas realizaron siete determinaciones bajo las mismas condiciones experimentales. Como criterio de aceptación, se estableció un coeficiente de variación porcentual (CV %) igual o inferior al $\pm 5\%$.

Dado que las muestras de cachaza analizadas presentaron similares porcentajes de sacarosa aparente, para verificar la precisión del método en un amplio rango de concentración de sacarosa aparente se aplicó el mismo procedimiento con muestras patrón de azúcar refinado. Estas soluciones patrón se prepararon considerando la cantidad de sacarosa que podría contener una suspensión de cachaza con valores de Pol de 3%, 7% y 10%. Las determinaciones fueron realizadas por quintuplicado y se mantuvo como criterio de aceptación un coeficiente de variación porcentual de $\pm 5\%$.

■ Fundamento del método químico

A la temperatura de ebullición, los azúcares reductores reaccionan con los iones Cu^{2+} (provenientes del CuSO_4) y lo reducen; este proceso ocurre de forma muy lenta en medio neutro; para aumentar la velocidad de la reacción se debe trabajar en medio básico, lo que produce la precipitación del hidróxido cúprico en el medio. Para eliminar este inconveniente se incorpora al medio de la reacción un tercer ingrediente: el tartrato de sodio y potasio. El ión tartrato es capaz de unirse al ion Cu^{2+} formando un complejo de color azul intenso. El ión Cu^+ , formado por la reducción del Cu^{2+} , no es estable en medio básico y precipita como óxido cuproso.

Para lograr mayor nitidez en el punto final de la valoración, se decidió utilizar la modificación del método de Fehling denominada Fehling-Causse-Bonnans, (AOAC, 1964). Esta metodología agrega el ferrocianuro de potasio a la solución. El ión ferrocianuro es capaz de formar un complejo con el Cu^+ de color amarillo verdoso. Esa coloración, fácil de ser visualizada, dura unos instantes, y rápidamente se convierte en un precipitado castaño, complicando la apreciación del punto final. Para resolver ese inconveniente se agrega unas gotas de azul de metileno como indicador redox. Una vez obtenida la reducción total del cobre presente en el licor, el exceso de azúcar agregado interactúa con el indicador reduciéndolo a su forma incolora (el azul de metileno en su forma oxidada es de color azul).

Procedimiento Técnico - Insumos

Licor de Fehling- Cause- Bonnans (F.C.B.) (g/L):
 Tartrato de sodio y potasio.....130,00 g
 Hidróxido de sodio.....110,00 g
 Sulfato cúprico pentahidratado.....24,00 g
 Ferrocianuro de potasio.....16,80 g

Solución de ácido clorhídrico 3+1 (v/v)
 Solución de hidróxido de sodio 2 N
 Solución de azul de metileno 1% (p/v)
 Solución de fenoltaleína 1% (p/v)
 Solución de trabajo de azúcar invertido
 (ICUMSA, 2011b)

Estandarización del Licor de Fehling

En un Erlenmeyer de 250 ml, colocar 15 ml de licor F.C.B., 43 ml de agua destilada y 15 ml de solución de trabajo de azúcar invertido al 0,25% desde una bureta. Mezclar suavemente. Colocar sobre un calentador hasta que comience la ebullición. Dejar que la solución hierva durante 2 minutos $\pm$ 5 segundos. Agregar 3 o 4 gotas de solución de azul de metileno. La solución debe asumir un color azul bien definido; si persiste el amarillo claro, significa que la misma es deficiente en cobre. Repetir la prueba comenzando con menor cantidad de solución de azúcar invertido, a fin de establecer un exceso de cobre.

Si la solución permanece azul, continuar la adición de la solución patrón de azúcar invertido, gota a gota, sin interrumpir la ebullición hasta que desaparezca el color azul. Esta operación no debe durar más de 1 minuto.

El volumen final de la mezcla tras la valoración debe alcanzar los 75 ml, ya que esta condición es fundamental para mantener parámetros estándar de calentamiento y asegurar la obtención de resultados reproducibles (ICUMSA 2011b). Durante la valoración, la solución no debe dejar de hervir y no se debe retirar el Erlenmeyer de la fuente de calor a lo largo de todo el procedimiento.

Calcular el título de la solución F.C.B. según la siguiente expresión:

Ecuación 1

$$T = \frac{g}{100} \times V(1)$$

Donde:

g: gramos de solución Patrón expresado en %

V: ml de solución estándar de glucosa gastados para 15 ml de Licor F.C.B.

Procedimiento

Para el desarrollo de este método analítico se tomó como referencia la preparación de la muestra y el proceso de hidrólisis descrito para la determinación de sacarosa aparente (Pol %) en cachaza (Chen and Chou,

1993; ICUMSA, 2011a) y la de azúcares reductores totales en melaza (ICUMSA, 2011b).

Luego, se realizó la puesta a punto para un rango de concentraciones de azúcares reductores totales en la muestra de entre 250 y 400 mg/100 ml.

Los ensayos se llevaron a cabo en muestras de cachaza proporcionadas por ingenios de la provincia y en muestras de azúcar refinado usadas como patrón. Se evaluó la precisión del método mediante ensayos de repetibilidad y reproducibilidad en estas muestras, empleando como criterio de aceptación un valor de coeficiente de variación porcentual dentro del rango de $\pm$ 5%.

Preparación e hidrólisis de la muestra

Se debe realizar previamente la determinación de sacarosa aparente (Pol %) en la muestra. Si el resultado de la determinación de Pol % es menor al 6%, se debe pesar 50 gramos de cachaza; si es mayor o igual al 6 %, se debe pesar 25 gramos de cachaza.

Pesar la muestra de cachaza en un vaso de precipitación registrando el peso con una aproximación de 0,01 gramos. Agregar 100 ml de agua destilada y mezclar disgregando bien la cachaza. Transferir cuantitativamente la suspensión a un matraz de 200 ml. Enjuagar el vaso con pequeñas cantidades de agua destilada arrastrando la muestra de cachaza, transfiriendo los sucesivos lavados al matraz. Llevar a aforo con agua destilada. Mezclar bien y filtrar la suspensión con papel de servilleta.

Preparar una solución entre 250 y 400 mg de azúcares invertidos en 100 ml de solución.

100 gramos de cachaza..... % POL

Gramos de cachaza

pesados $X_1 = (g \text{ cachaza} * \% \text{ POL}) / 100$

X_1 = gramos de azúcar que están en el matraz de 200 ml

X_1 gramos de Az..... 200 ml

0,25 g – 0,40 g..... $X_2 = ((0,25 - 0,40) g * 200) / X_1$

X_2 = alícuota (ml) de la suspensión de cachaza que contendrá entre 250 – 400 mg azúcares

De acuerdo a los cálculos arriba mencionados, pipetear X_2 ml de la suspensión de cachaza en un vaso de precipitación de 100 ml. Sumergir el vaso en un baño de agua entre 60°C – 65°C. Cuando la solución alcanza los $60 \pm 1^\circ\text{C}$, agregar 5 ml de ácido clorhídrico (3+1), agitar suavemente la solución y dejar en reposo por espacio de 15 minutos.

Transcurrido este tiempo, retirar el vaso del baño y colocarlo inmediatamente en un baño de agua fría. Ya frío, agregar 3 o 4 gotas de la solución de fenoltaleína. Neutralizar la solución con una solución de hidróxido de sodio 2N. Transferir el contenido del vaso a un matraz aforado de 100 ml, enrasar con agua destilada y homogeneizar.

Titulación

Cargar una bureta con la solución de trabajo hidrolizada de cachaza. Realizar una valoración preliminar.

Pipetear 15 ml del licor de Fehling en un Erlenmeyer de 250 ml, agregar 45 ml de agua destilada y desde la bureta escurrir 10 ml de la muestra hidrolizada. Colocar el Erlenmeyer en el mechero y calentar hasta el punto de ebullición. Mantener la ebullición durante 2 minutos, agregar 4 gotas de la solución de azul de metileno al 1%. La solución toma una coloración azul intensa. Agregar, gota a gota, la solución de trabajo hidrolizada hasta completar la valoración. El punto final se consigue por el cambio de color de la solución que pasa de azul a amarillo tenue. Registrar el volumen gastado en la titulación.

Realizar una segunda valoración. Pipetear 15 ml del licor de Fehling en un Erlenmeyer de 250 ml. Colocar en el mismo "X_{AGUA ml}" de agua destilada, de acuerdo al siguiente cálculo:

$$X_{AGUA\ ml} = 75 - 15 - \text{ml gastados en la primera valoración}$$

En frío, desde la bureta introducir, en el mismo Erlenmeyer, 2 ml menos del volumen de muestra hidrolizada registrado en la primera valoración.

Colocar el Erlenmeyer en el mechero, permitir que alcance el punto de ebullición; mantener la ebullición durante 2 minutos; agregar 4 gotas del indicador. La solución toma una coloración azul intensa. Gota a gota escurrir desde la bureta la solución hidrolizada, hasta completar la titulación. El punto final se manifiesta por el cambio de color de la solución que pasa de azul a amarillo tenue. Registrar el volumen gastado en la titulación (V₁). La valoración debe completarse trascurrido 1 minuto adicional, obteniéndose un tiempo total de ebullición de 3 minutos.

La concentración de azúcares reductores totales en cachaza se calcula de la siguiente manera:

$$V_1 \dots \dots \dots \text{Título del licor de F.C.B.} \\ 100\ \text{ml} \dots X = (100 * \text{TÍTULO}) / V_1 \text{ (g de azúcar invertido)}$$

$$X_2 \dots \dots \dots (100 * \text{Título}) / V_1 \\ 200\ \text{ml} \dots \dots X = (200 * 100 * \text{Título}) / (V_1 * X_2)$$

$$X_1 \text{ gramos} \\ \text{de cachaza} \dots \dots \dots (200 * 100 * \text{Título}) / (V_1 * X_2) \\ 100\ \text{gramos} \\ \text{de cachaza} \dots \dots X = (100 * 200 * 100 * \text{Título}) / (V_1 * X_2 * X_1)$$

$$\text{ART \% cachaza} = (2 * 10^6 * \text{Título}) / (V_1 * X_2 * X_1)$$

Donde:
Título: título del licor de Fehling calculado con la ecuación 1.
V₁ = ml gastados en la segunda valoración.
X₂ = ml tomados de la suspensión de cachaza para preparar la muestra de hidrólisis.
X₁ = gramos de cachaza usados para hacer el ensayo.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se pueden observar los resultados de los ensayos de repetibilidad y reproducibilidad para la determinación de ART (%) en cachaza, realizados por dos analistas en siete réplicas consecutivas bajo las mismas condiciones.

Tabla 1. Resultados de repetibilidad y de reproducibilidad para la determinación de ART (%) en cachaza realizados por dos analistas en siete réplicas. Promedio, desvío estándar (SD) y coeficiente de variación (%CV).

Muestra	% ART	
	Analista 1	Analista 2
1	6,42	6,84
2	6,42	6,89
3	6,38	6,69
4	6,46	6,94
5	6,46	7,05
6	6,38	6,89
7	6,42	7,05
Promedio	6,42	6,91
SD	0,036	0,12
% CV	0,56	1,78

Los resultados de la Tabla muestran que el coeficiente de variación porcentual (CV %) para el Analista 1 fue de 0,56% y para el Analista 2, de 1,78%, valores ambos inferiores al criterio de aceptación de $\pm 5\%$. Estos valores indican una adecuada repetibilidad del método con buena precisión tanto dentro de un mismo analista como entre analistas, lo que respalda la confiabilidad del procedimiento para la determinación de ART en cachaza.

En la Tabla 2 se pueden observar los resultados de los ensayos de repetibilidad de las muestras patrones empleadas para verificar la precisión del método en un amplio rango de concentración de sacarosa aparente.

Los resultados obtenidos demuestran que el método aplicado presenta una alta precisión en un amplio

Tabla 2. Resultados de repetibilidad de ART (%) en soluciones patrones de azúcar refinado en cinco réplicas. Promedio, desvío estándar (SD) y coeficiente de variación (%CV).

Muestra	% ART PATRONES		
	3% Pol	7 % Pol	10 % Pol
1	1,57	1,88	2,68
2	1,54	1,89	2,68
3	1,56	1,88	2,7
4	1,56	1,89	2,66
5	1,59	1,9	2,68
Promedio	1,56	1,89	2,68
Peso patrón	1,5	1,75	2,5
SD	0,019	0,011	0,013
% CV	1,19	0,56	0,47
ART	3,12	7,56	10,72

rango de concentración de sacarosa aparente. Se observaron coeficientes de variación porcentual de 1,19% para el patrón 3%, 0,56% para el patrón 7% y 0,47% para el patrón 10%, todos ampliamente por debajo del límite de aceptación establecido ($\pm 5\%$). Esto valida la confiabilidad del procedimiento para la determinación de Azúcares Reductores Totales en muestras con distintos niveles de sacarosa, confirmando su aplicabilidad en diferentes condiciones de matriz.

■ CONCLUSIONES

Se desarrolló y puso a punto un método analítico para la determinación de Azúcares Reductores Totales (ART) en muestras de cachaza, el cual fue validado mediante ensayos de repetibilidad y reproducibilidad, demostrando ser robusto y confiable.

Su aplicabilidad y precisión quedaron confirmadas a través del análisis de muestras provenientes de distintos ingenios y de soluciones patrón de sacarosa refinada.

Se estableció como criterio de aceptación un coeficiente de variación porcentual (CV%) $\pm 5\%$, y todos los ensayos arrojaron valores inferiores al 2%, dato que respalda la calidad del método desarrollado y su adecuación a los estándares del Laboratorio de la Sección Química de la EEAOC.

Esta herramienta analítica constituye un aporte valioso para el cierre del balance de ART, permitiendo cuantificar las pérdidas de sacarosa asociadas a la cachaza y, en consecuencia, contribuyendo al estudio del ren-

dimiento, la eficiencia y la sostenibilidad del proceso de producción de azúcar y alcohol a partir de caña de azúcar.

■ BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 1964.** Método de Fehling-Causse-Bonnans modificado. USA, pp. 495
- Chen, J. C. P. and C. C. Chou. 1993.** Cane Sugar Handbook, 12th ed., Wiley & Sons, pp. 912
- International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA). 2011a.** Method book. Method GS 7-7: Determinación de pol (polarización) de la torta de filtración por polarimetría con acetato básico de plomo (Accepted) (2011). Bartens, Berlin.
- International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA). 2011b.** Method book. Method GS 4-7: Azúcares reductores totales en melaza y jarabes refinados después de la hidrólisis por el procedimiento Lane & Eynon (Accepted) (2011). Bartens, Berlin.
- Rein, P. 2007.** Cane Sugar Engineering. Bartens, Berlin.
- Romero, E.; P. Digonzelli y J. Scandaliaris. 2009.** Manual del Cañero. Las Talitas, Argentina. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Capítulo 17.
- Sorol, N.; O. Diez y P. Diez. 2024.** Desarrollo y optimización de un método de Digestión Húmeda para estudio de la calidad industrial de caña de azúcar. Rev. ind. agric. Tucumán 101 (2): 31-40.



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 102 (1):
8-11; 2025



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBARES
Tucumán | Argentina

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

Influencia del ambiente en la optimización de la fertilización nitrogenada en caña de azúcar en Tucumán, Argentina

María Fernanda Leggio Neme*, Luis G. Alonso*, Alejandra Dip**, Pablo Fernández González* y Javier Tonatto*

* Subprograma Agronomía de Caña de Azúcar, EEAOC; ** Instituto de Ecología Regional (UNT)-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Email: fleggio@eeaoc.org.ar

RESUMEN

En Tucumán, Argentina, en el manejo de la fertilización en la caña de azúcar se pretende diseñar recomendaciones precisas que se adapten a las condiciones específicas del suelo y el clima. Este estudio procura abordar esta necesidad, evaluando la existencia de correlaciones entre parámetros edáficos y climáticos, y el nivel de respuesta del cultivo en rendimiento (t/ha) a diferentes dosis de fertilizante nitrogenado. Se analizaron datos de ensayos de fertilización realizados durante 15 años (de 2006 a 2021) en el cultivar LCP 85-384. Los tres tratamientos fueron: control (sin fertilizante), 125 kg/ha de urea y 250 kg/ha de urea. Inicialmente se evaluaron de forma independiente los parámetros de suelo (textura, contenido de materia orgánica y fósforo) y climáticos (temperatura y precipitaciones antes y después de las fertilizaciones) y su correlación con el nivel de respuesta en términos de rendimiento (t/ha) relativo de cada tratamiento con el control. Se realizó un análisis de correlación y de componentes principales con los resultados obtenidos, pero no se identificaron tendencias claras ni correlaciones significativas. Por esta razón, para un análisis más adecuado se procedió a agrupar los ensayos en tres regiones agroecológicas: Llanura Chacopampeana (LCP), Llanura Deprimida (LD) y Pedemonte (P). Los datos se analizaron utilizando un ANAVA de dos vías para evaluar los principales efectos e interacciones. Se realizaron comparaciones por pares utilizando medias marginales estimadas para evaluar las diferencias dentro y entre regiones. Las comparaciones por pares revelaron que en las regiones LD y P hubo diferencias significativas en el rendimiento entre el control y ambos tratamientos con urea, pero no entre los dos tratamientos con urea. En contraste, en la región LCP hubo una diferencia significativa solo entre el control y el tratamiento con urea de 250 kg/ha. No se identificaron parámetros edáficos ni ambientales que determinaran el nivel de respuesta a la fertilización nitrogenada. Además, se concluyó que el aumento en la dosis de nitrógeno no necesariamente se traduce en un incremento en los rendimientos.

Palabras clave: nitrógeno, eficiencia, dosis, balance hídrico.

ABSTRACT

Influence of the environment on the optimization of nitrogen fertilization in sugarcane in Tucumán, Argentina

In Tucumán, Argentina, the management of sugarcane fertilization seeks to develop precise recommendations specific to soil and climate conditions. The goal of this study is to address this need by evaluating the existence of correlations between edaphic and climatic parameters and the crop's response to different nitrogen fertilizer doses. Data from fertilization trials conducted over 15 years (2006 to 2021) on the LCP 85-384 cultivar was analyzed. Three treatments were considered: control, 125 kg/ha of urea, and 250 kg/ha of urea. Initially, soil parameters (texture, organic matter content, and phosphorus content) and climatic factors (temperature and precipitation before and after fertilization) were independently evaluated. Their correlation with the relative crop response (yield) of each treatment compared to the control was assessed. A correlation analysis and principal component analysis were conducted based on the results obtained, but no clear trends or significant correlations were identified. For this reason, the trials were grouped into three agroecological regions Llanura Chacopampeana (LCP), Llanura Deprimida (LD) y Pedemonte (P), to better contextualize the data. Data was analyzed using a two-way

Fecha de
recepción:
05/06/2025

Fecha de
aceptación:
23/07/2025

ANOVA to evaluate main effects and interactions. Pairwise comparisons were made using estimated marginal means to assess differences within and between regions. The pairwise comparisons revealed that in the LD and P regions there were significant differences in yield between the control and both urea treatments, but not between the two urea treatments. In contrast, in the LCP region, a significant difference was found only between the control and the 250 kg/ha urea treatment. No edaphic or environmental parameters were identified as determining the level of response to nitrogen fertilization. Moreover, it was concluded that increasing nitrogen dosage does not necessarily result in yield improvement.

Key words: nitrogen, efficiency, doses, water balance.

■ INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) constituye el cultivo sacarífero más importante del mundo, responsable del 70% de la producción total de azúcar. Este cultivo se extiende a lo largo de los trópicos y subtrópicos, entre los 36,5° latitud Norte hasta los 31° latitud Sur. Su capacidad productiva varía entre las zonas cañeras subtropicales y tropicales, de 40 a 150 t/ha de caña y de 3,5 a 15 t/ha de azúcar.

En Tucumán, Argentina, el clima es subtropical serrano con estación seca. Los valores de temperatura permiten el crecimiento de la caña de azúcar durante siete a nueve meses (agosto a abril). Las precipitaciones oscilan entre 1200 y 700 mm anuales, decreciendo de oeste a este; y el 60% de las precipitaciones se concentran entre diciembre y marzo, con déficit hídricos durante el invierno y la primavera (régimen monzónico). Solamente el 10% de la caña en Tucumán se cultiva con riego (Romero et al.; 2009). La superficie con caña de azúcar para la zafra 2024 estimada fue de 294.470 hectáreas (Fandos et al., 2024). Las mismas se distribuyen en las regiones agroecológicas de Pedemonte, Llanura Deprimida y Llanura Chacopampeana (Zuccardi y Fadda, 1985). Estas regiones presentan marcadas diferencias en sus características climáticas, fisiográficas y edáficas, las cuales influyen directamente en las condiciones de crecimiento y en la productividad del cultivo.

La región del Pedemonte se caracteriza por un balance hídrico positivo y la presencia de suelos con baja capacidad de retención de agua, además de áreas con fuertes pendientes que pueden dificultar el manejo agrícola. En contraste, la Llanura Chacopampeana muestra un balance hídrico más negativo de oeste a este, aunque la mayoría de sus suelos posee una alta capacidad de almacenamiento de agua, favoreciendo al cultivo en años con precipitaciones adecuadas. Por su parte, la Llanura Deprimida se destaca por su heterogeneidad textural y la influencia de la capa freática. En la subregión occidental de esta llanura, las principales limitaciones están asociadas a la asfixia radicular y las dificultades operativas en años con excesos hídricos. La subregión oriental, en cambio, presenta una freática salina con contenidos elevados de cloruros y sulfatos sódicos, lo que genera estrés salino y afecta la permeabilidad del suelo debido al alto contenido de sodio intercambiable (Han et al., 1965; Sanzano y Fadda, 2009). Estas diferencias agroecológicas no solo condicionan la productividad de la caña de azúcar, sino que también generan variabilidad en la respuesta del

cultivo a las diferentes prácticas culturales, entre ellas la fertilización nitrogenada. Dado que la eficiencia del nitrógeno depende de la interacción entre factores edáficos y climáticos, surge la necesidad de adaptar las estrategias de manejo a las condiciones específicas de cada región para cerrar la brecha entre los rendimientos actuales y los óptimos del cultivo (Van den Berg and Singels, 2013).

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar cómo las condiciones edáficas (textura, materia orgánica, fósforo) y climáticas (temperatura y precipitaciones) influyen en la respuesta del rendimiento de caña de azúcar a diferentes niveles de fertilización nitrogenada.

■ MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se analizaron datos de ensayos de fertilización nitrogenada realizados durante un período de 15 años (2006-2021) en el cultivar de caña de azúcar LCP 85-384, el de mayor difusión comercial en toda el área cañera. Se realizaron 74 ensayos en distintas fincas cañeras pertenecientes a empresas privadas.

El diseño experimental empleado fue el de parcelas distribuidas en bloques al azar con tres repeticiones. Cada parcela estuvo constituida por cuatro surcos de entre 75 y 100 metros de largo, distanciados a 1,6 metros, a cubrir una superficie total de 480 a 640 m². Los factores evaluados fueron la fertilización y las regiones agroecológicas. Para el factor fertilización se incluyó un control sin fertilización y aplicaciones de 125 kg/ha y 250 kg/ha de urea. La aplicación del fertilizante (urea) se realizó utilizando equipos especializados para abonos sólidos diseñados para cubrir dos surcos simultáneamente, incorporando el fertilizante en ambos costados de cada surco. En el caso del factor regiones agroecológicas, se consideraron tres regiones agroecológicas: Llanura Chacopampeana (LCP), Llanura Deprimida (LD) y Pedemonte (P), cada una con características particulares en términos de disponibilidad hídrica y propiedades del suelo (Tabla 1). Se lo consideró de esta manera, ya que los ensayos se distribuían en diversas localidades representativas de estas tres regiones.

En cada ensayo se registraron variables relacionadas tanto con las condiciones iniciales del sitio como con la respuesta del cultivo. Los parámetros edáficos evaluados incluyeron la textura del suelo, el contenido de materia orgánica y el nivel de fósforo disponible, mientras que los datos climáticos recopilados abarcaron las temperaturas y las precipitaciones ocurridas antes y después de

Tabla 1. Comparación edafoclimática de tres regiones agroecológicas productoras de caña de azúcar en Tucumán.

Característica	Pedemonte	Llanura Deprimida	Llanura Chacopampeana
Fisiografía	Abanicos aluviales, 1-5% pendiente	Planicie aluvial, <0,5% pendiente	Llanura extensa, <1%, suaves ondulaciones
Clima	Húmedo, >1.000 mm lluvia	Subhúmedo a subhúmedo-seco, 700-1.000 mm	Subhúmedo a semiárido, 500-900 mm
Evapotranspiración	900 mm/año	900-1.000 mm/año	900-1.000 mm/año
Suelos	Haplustoles y Argiudoles en pendiente	Haplustoles y Argiudoles, zonas con hidromorfía	Argiudoles y Haplustoles, zonas con salinidad
Limitantes edáficas	Erosión hídrica en pendientes	Salinidad, drenaje, agua freática	Deficiencia hídrica, salinidad, heladas
Ventajas para caña de azúcar	Suelos fértiles, clima húmedo	Proximidad agua freática, zona principal cañera	Apta con riego, diversificación de cultivos
Limitantes para caña de azúcar	Erosión, manejo de drenaje	Salinidad, drenaje, excesos de agua	Déficit hídrico, heladas, salinidad

la aplicación de los fertilizantes. Por su parte, la respuesta del cultivo se evaluó a través del rendimiento relativo, definido como el porcentaje del rendimiento de cada tratamiento respecto al rendimiento del tratamiento control.

En una primera etapa, se exploraron relaciones entre las condiciones de suelo y clima relevantes (materia orgánica, fósforo, precipitación y temperaturas máximas y mínimas) y los niveles de respuesta del cultivo mediante análisis de componentes principales. Se evaluó el rendimiento como respuesta a la interacción entre dosis de nitrógeno y las variables de suelo y clima utilizando modelos lineales generales y mixtos (en este último caso, con la localidad como efecto aleatorio). Ninguno de estos enfoques permitió identificar tendencias claras ni correlaciones significativas, probablemente debido a la complejidad inherente de las interacciones entre los factores ambientales y educativos a lo largo de los años y las localidades estudiadas.

En un segundo análisis, los ensayos se agruparon por regiones agroecológicas, y se evaluaron las diferencias en el rendimiento comparando los niveles del factor fertilización y las regiones agroecológicas, así como las posibles interacciones entre ambos factores, mediante un ANAVA de dos vías. Finalmente, se calcularon las medias marginales ajustadas para realizar comparaciones específicas entre los niveles de los factores, considerando interacciones y corrigiendo por comparaciones múltiples. El nivel de significación utilizado fue 0,05.

RESULTADOS

Los análisis exploratorios iniciales mediante ACP y modelos lineales generalizados y mixtos no identificaron relaciones claras, lo que podría atribuirse a la complejidad inherente de las interacciones entre factores ambientales y edáficos a lo largo de los años y localidades estudiadas (datos no mostrados). El agrupamiento por regiones permitió captar tendencias más generales en las variaciones ambientales y edáficas dentro de cada región, facilitando la interpretación de las respuestas productivas.

Los resultados del ANAVA (Tabla 2) indicaron que existe una diferencia significativa entre las medias de los niveles del factor fertilización y también entre las medias del factor dado por las regiones agroecológicas. Sin embargo, no se observó interacción significativa entre el factor fertilización y las regiones agroecológicas. Esto implica que el efecto del factor fertilización es consistente en todas las regiones, es decir, el impacto relativo no varía

Tabla 2. Resultados del análisis de la varianza (ANAVA).

	Gl	Suma Cuad	Media Cuad	Valor p
Fertilización	2	27990	13995	<2e-16**
Región agroecológica	2	31476	15738	<2e-16**
Fertilización: Región agroecológica	4	655	164	0,757
Residuales	403	140072	348	

** p≤0,001: significativo.

según la región agroecológica.

En las regiones de LD y P, las comparaciones por pares revelaron diferencias significativas en el rendimiento entre el control (sin fertilización) y ambos niveles con urea (125 kg/ha y 250 kg/ha) (Tabla 3). Esto demuestra que la aplicación de nitrógeno tuvo un impacto positivo en el rendimiento del cultivo en estas regiones (Figura 1). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las dos dosis de urea evaluadas, lo que sugiere que la dosis de 125 kg/ha podría ser suficiente para alcanzar un rendimiento óptimo, sin necesidad de incrementar la cantidad aplicada.

En contraste, en la región de la LCP, los resultados mostraron un patrón diferente. Solo se encontró una diferencia significativa entre el control y el nivel de fertilización con la dosis más alta de urea (250 kg/ha), mientras que el nivel intermedio (125 kg/ha) no presentó diferencias significativas respecto al control (Tabla 3). Este comportamiento podría deberse a condiciones específicas de la región, como un balance hídrico negativo o una capacidad de almacenamiento de agua limitada, que podrían restrin-

Tabla 3. Resumen descriptivo del rendimiento (media y desviación estándar) por tratamiento y región.

		Urea		
		Testigo	125 kg/ha	250 kg/ha
Llanura Chacopampeana	N	16	16	10
	Rendimiento (media (DE))	57,64 (14,02)	66,50 (19,08)	76,68 (26,96)
Llanura Deprimida	N	112	57	106
	Rendimiento (media (DE))	80,38 (19,04)	96,99 (20,06)	97,21 (18,43)
Pedemonte	N	45	15	35
	Rendimiento (media (DE))	66,54 (14,83)	79,96 (19,99)	83,13 (18,31)

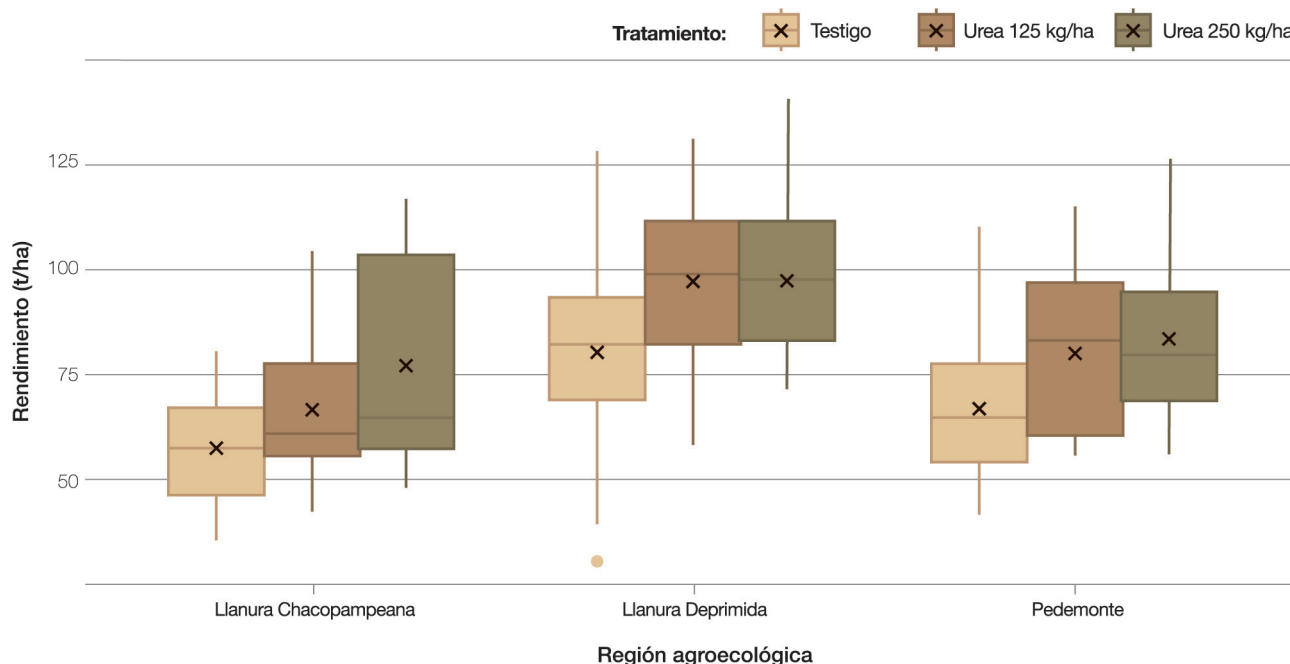


Figura 1. Rendimiento promedio bajo los diferentes niveles del factor fertilización en cada región agroecológica.

gir la respuesta del cultivo a dosis más bajas de fertilización nitrogenada.

A pesar de estas diferencias regionales en la respuesta a la fertilización, el análisis de los parámetros edáficos y ambientales no permitió identificar factores específicos que explicaran el nivel de respuesta del cultivo.

CONCLUSIONES

La fertilización nitrogenada con urea fue efectiva para mejorar el rendimiento de la caña de azúcar en toda el área cañera, pero sin diferencias significativas entre dosis. El análisis en las regiones de Llanura Deprimida y Pedemonte no evidenció diferencias significativas entre las dosis de 125 kg/ha y 250 kg/ha, lo que demuestra que aumentar la cantidad de N aplicado no genera beneficios adicionales. Por lo tanto, la dosis de 125 kg/ha es suficiente para alcanzar rendimientos óptimos, permitiendo reducir los costos de producción y minimizar los riesgos ambientales asociados al uso excesivo de fertilizantes.

En contraste, en la Llanura Chacopampeana, las condiciones climáticas adversas, como un balance hídrico negativo, podrían limitar la respuesta del cultivo a dosis más bajas. En esta región, solo la dosis más alta de 250 kg/ha generó un aumento significativo en el rendimiento.

Estos resultados subrayan la importancia de ajustar las estrategias de fertilización nitrogenada a las condiciones específicas de cada región, evitando aplicaciones excesivas que no solo carecen de beneficios adicionales, sino que aumentan los costos de producción y el riesgo de impactos ambientales.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Fandos, C.; J. Scandaliaris.; P. Scandaliaris; J. Carreras Baldrés y F. Soria. 2024.** Estimación del área cosechable y de la producción de caña de azúcar para la zafra 2024 en Tucumán. (En línea). Boletín electrónico (306). Disponible en <https://www.eeaoc.gov.ar/?publicacion=estimacion-del-area-cosechable-y-de-la-produccion-de-cana-de-azucar-para-la-zafra-2024-en-tucuman> (consultado 27 diciembre 2024).
- Han, F.; P. J. Aso y F. A. Fogliata. 1965.** Estudio sobre salinidad en algunos suelos cultivados con caña de azúcar del Dpto Leales, Tucumán. *Rev. Agron. N.O. Argentino* 4 (2): 165-180.
- Romero, E. R.; J. Scandaliaris.; P. A. Digonzelli; M. F. Leggio Neme; J. A. Giardina; J. Fernández de Ullivarri; S. D. Casen; J. Tonatto y L. G. Alonso. 2009.** La caña de azúcar, características y ecofisiología, capítulo 1. En: Romero, E. R.; P. A. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.), *Manual del cañero*, EEAOC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina. 2009, pp. 13 - 21. ISBN 978-987-21283-7-1
- Sanzano, G. A. y G. S. Fadda. 2009.** Características edáficas y manejo de suelos en el área cañera de provincia de Tucumán. Recomendaciones de manejo, capítulo 2. En: Romero, E. R.; P. A. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.), *Manual del cañero*, EEAOC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina, pp. 23-31. ISBN: 978- 987- 21283 -6 -4.
- Van den Berg, M. and A. Singels. 2013.** Modelling and monitoring for strategic yield gap diagnosis in the South African sugar belt. *Field Crops Research* 143: 143-150.
- Zuccardi, R. B. y G. S. Fadda. 1985.** Bosquejo agrológico de la provincia de Tucumán. Misc 86. Facultad de Agronomía y Zootecnia- UNT, pp. 51.



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 102 (1):
12-15; 2025



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

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

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

Fecha de
recepción:
18/08/2025

Fecha de
aceptación:
19/08/2025

Un enfoque de mejora continua en la producción de vitroplantas de caña de azúcar en la EEAOC

M. Elena Díaz*, Andrea N. Peña Malavera*, Ana M. Cerviño Dowling*, M. Francisca Perera* 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), CCT NOA Sur.
Email: mediazmicales@eeaoc.org.ar

RESUMEN

El Proyecto Vitroplantas de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) se inició en 2001 y suministra “caña semilla” de alta calidad (sana, vigorosa y con identidad genética garantizada) al sector agrícola. Esto se logra con diferentes herramientas biotecnológicas, que incluyen la hidrotermoterapia, la micropropagación y técnicas moleculares. En 2016, la aplicación de la norma ISO 9001 mejoró el proceso de producción al evaluar la efectividad en cada etapa para lograr un uso eficiente de los recursos humanos y materiales. La eficiencia productiva de las vitroplantas de caña de azúcar durante 2023 se analizó utilizando las tasas de multiplicación, la duración de cada subcultivo, el porcentaje de material de cada etapa de multiplicación transferido a enraizamiento y los porcentajes de pérdidas. La tasa de multiplicación promedio varió entre 3,45 y 4,97, con tasas máximas de 5 a 10,5 para diferentes variedades. Las tasas de multiplicación por subcultivo y variedad oscilaron entre 3,34 y 4,86, con la tasa más alta en la etapa M2 y las más bajas en los subcultivos más avanzados. Además, el tiempo en cada subcultivo aumentó a partir de la etapa M3. El mayor porcentaje de enraizamiento provino del material en la etapa M7 (el límite permitido para prevenir variaciones genéticas); sin embargo, para evitar pérdidas, parte del material se transfirió a partir de la etapa M4 al medio de enraizamiento. Las pérdidas fueron del 28%, y los porcentajes más altos se asociaron a plantas en mal estado (50% del total), seguidas de la contaminación bacteriana. En general, la eficiencia productiva estuvo determinada no solo por la cantidad de vitroplantas producidas, sino también por su calidad y costo, y los índices permitieron tomar decisiones informadas para corregir, mejorar o prevenir posibles riesgos.

Palabras clave: norma ISO 9001, eficacia, pérdidas, tasas de multiplicación.

ABSTRACT

A continuous improvement approach in the production of sugarcane vitroplants at the EEAOC

The Vitroplants Project of Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) began in 2001 and supplies high-quality “seed cane” (healthy, vigorous and with guaranteed genetic identity) to the farming sector. This is achieved with several biotechnological tools, including hydrothermotherapy, micropropagation and different molecular techniques. In 2016, the application of the ISO 9001 standard improved the production process by evaluating the effectiveness at each stage to achieve efficient use of human and material resources. The productive efficiency of sugarcane vitroplants during 2023 was analysed using multiplication rates, length at each subculture, percentage of material from each multiplication stage transferred to rooting, and percentages of losses. The average multiplication rate varied between 3.45 and 4.97, with maximum rates of 5 to 10.5 for different varieties. The multiplication rates per subculture per variety ranged between 3.34 and 4.86, with the highest rate in stage M2 and the lowest ones in the most advanced subcultures. In addition, the time in each subculture increased from stage M3. The

highest percentage of rooting came from material in stage M7 (the limit allowed to prevent genetic variations); however, to avoid losses, part of material was transferred after stage M4 to rooting medium. Losses were 28%, with the highest percentages were associated with plants in poor condition (50% of total), followed by bacterial contamination. Overall, productive efficiency was determined not only by the quantity of vitroplants produced, but also by their quality and cost, and the indices allowed informed decisions to be taken to correct, improve, or prevent possible risks.

Key words: thermo-vapor compressor, barometric condenser, water saving.

■ INTRODUCCIÓN

La EEAOC de Tucumán, Argentina, suministra “caña semilla” de alta calidad (sana, vigorosa y con identidad genética garantizada) al sector agropecuario desde el año 2001. Para producirla se utilizan diversas herramientas biotecnológicas, entre ellas la hidrotermoterapia, el cultivo de meristemas y la micropropagación (Pérez Ponce, 1998), así como diferentes técnicas moleculares que garantizan la sanidad y pureza genética (Díaz *et al.*, 2019).

En 2016, la implementación de la norma internacional de gestión de calidad ISO 9001 consolidó el proceso de producción y permitió alcanzar los objetivos planificados de la manera más eficiente. Esta implementación implica el registro de procesos, procedimientos, instrucciones de trabajo estandarizadas y planes de capacitación, entre otros elementos relacionados. Estos registros proporcionan evidencia para el control de todas las etapas y aspectos del ciclo de producción y permiten tomar decisiones informadas para corregir, mejorar o prever posibles riesgos. La eficacia se evalúa en cada etapa del proceso de producción, garantizando el uso eficiente de los recursos humanos y materiales. Por ello, se propuso analizar la eficiencia productiva de las vitroplantas de caña de azúcar en el laboratorio de la Sección de Biotecnología de la EEAOC durante la campaña 2023.

■ MATERIALES Y MÉTODOS

— Eficiencia productiva

El esquema de producción de vitroplantas consta de cinco etapas que se numeran a continuación:

- Etapla 0:** Preparación del material donante
- Etapla 1:** Establecimiento del cultivo *in vitro* (M0)
- Etapla 2:** Multiplicación (M1 a M7)
- Etapla 3:** Enraizamiento (R)
- Etapla 4:** Aclimatación

Los indicadores que se contemplaron a fin de estimar la eficiencia productiva se detallan seguidamente:

- **Tasas de multiplicación (TM, por variedad y subcultivo):** número total de frascos obtenidos de un solo frasco y transferidos al subcultivo subsiguiente.
- **Duración de cada subcultivo de las etapas 2 y 3:** número de días transcurridos entre un subcultivo y el siguiente.
- **Porcentaje de material de cada subcultivo en**

la etapa de multiplicación, transferido a la etapa de enraizamiento: número de frascos de cada subcultivo transferidos a enraizamiento sobre el total de frascos enraizados * 100.

- **Promedio de plantas por frasco:** número de plantas en enraizamiento por frasco y por variedad.
- **Pérdidas:** número de frascos eliminados por hongos, bacterias, mal estado y alteraciones morfológicas respecto al total de frascos eliminados * 100.

— Análisis de datos

Se calcularon las estadísticas descriptivas con el programa Navure 1.2.0 (Navure, 2023).

— Estimación de la producción

Se consideraron la tasa promedio de multiplicación (AMR) de todas las variedades por subcultivo, el promedio de plantas por frasco (APJ) y el porcentaje de pérdida (L) para estimar la producción (PE) mediante la siguiente fórmula:

$$PE = AMR * APJ * (1-L)$$

Además, se consideró la duración de cada subcultivo para estimar la fecha de finalización del ciclo de producción.

■ RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tasas de multiplicación

Las tasas promedio de multiplicación (MR) de cada variedad (para todos los subcultivos) se presentan en la Tabla 1. El índice promedio varió entre 3,45 y 4,97, con los índices máximos entre 5 y 10,5. Considerando el amplio rango de datos, también se incluyeron las medianas por variedad, ya que es una medida menos susceptible a valores extremos.

Las tasas de multiplicación promedio (MR) por subcultivo para las variedades evaluadas oscilaron entre 3,34 y 4,86, con el valor más alto en M2 (segundo subcultivo, 4,86). Los valores más bajos se obtuvieron en M6 (3,34), lo cual podría estar influenciado por el aumento de la cantidad de material en producción, que afectó la capacidad operativa.

— Duración de cada subcultivo

A partir de M3, el tiempo aumentó significativamente, también relacionado con el aumento del material

Tabla 1. Tasas de multiplicación por variedad en todos los subcultivos.

Variedad	N° de frascos	Tasa de multiplicación				
		Promedio	S.D.	Mín	Max	Mediana
LCP 85-384	29	3,93	1,69	2,25	10,5	3,43
TUC 95-10	15	3,55	1,20	2,00	5,00	3,00
TUC 00-19	40	3,45	1,11	0,50	7,00	3,24
TUC 00-22	14	4,97	1,87	1,50	8,78	4,91
TUC 00-65	51	4,05	1,41	0,50	7,00	3,93
TUC 03-12	109	3,83	1,50	0,50	9,00	3,50
TUC 06-7	102	4,28	1,30	0,38	9,00	4,20

disponible para transferir a medio fresco (Tabla 2). La duración promedio total del ciclo se estimó en 356 días.

Enraizamiento

Para evitar el deterioro del material debido al tiempo excesivo en el mismo subcultivo, se realizó el enraizamiento en los subcultivos iniciales antes de alcanzar la etapa M7 (Figura 1). El mayor porcentaje de enraizamiento se produjo en la etapa M7; sin embargo, también se transfirió material a partir de la etapa M4 en adelante.

Número promedio de plantas por frasco

El número promedio de plantas por frasco en la etapa de enraizamiento osciló entre 15,44 y 24,92 para las diferentes variedades, con un promedio de 18,65.

Pérdidas

La pérdida total fue del 28%. Las mayores pérdidas se asociaron con plantas en mal estado (por permanecer demasiado tiempo en el mismo medio), seguidas de la contaminación bacteriana, mientras que las alteraciones morfológicas de las plantas fueron insignificantes (Tabla 3).

Estimación de la producción

La fórmula utilizada para estimar la producción, basada en la duración de cada subcultivo, arrojó estimaciones similares a la producción de 2023. Por ejemplo, TUC 03-12 y TUC 06-7 fueron las variedades más solicitadas ese año. De la primera variedad, se solicitaron 20.000 plántulas, se produjeron 20.599 y la producción estimada a partir de los meristemas introducidos fue de alrededor de 23.000 plántulas. De la segunda variedad, se produjeron 17.630 plántulas, mientras que la producción estimada fue de 19.500.

CONCLUSIONES

La estimación más precisa de la producción permitió mejorar la toma de decisiones, como el enraizamiento temprano, la implementación de medios de cultivo de mantenimiento o el aumento de la capacidad operativa.

La eficiencia de la producción no sólo depende de la cantidad de vitroplantas producidas, sino también de su calidad y costo. Esta eficiencia es consecuencia directa de un sistema de gestión que permite planificar y controlar la producción para lograr un producto final que satisfaga las necesidades de los productores cañeros.

Tabla 2. Promedio de duración de cada subcultivo.

Subcultivo		Días
Establecimiento	M0	32,08
	M1	33,79
Multiplicación	M2	33,73
	M3	41,00
	M4	48,10
	M5	43,47
	M6	44,83
	M7	38,67
	Enraizamiento	R
Total		356,63

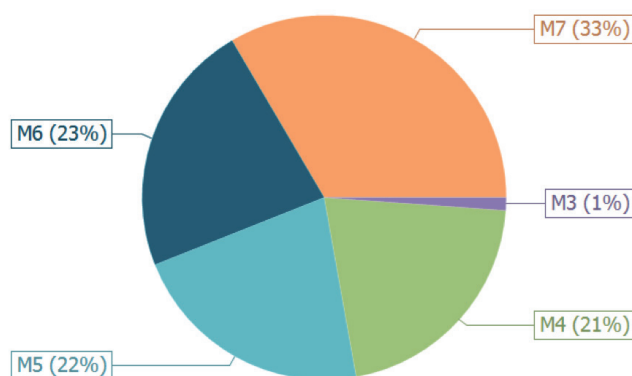


Figura 1. Proporción de material en cada subcultivo transferido a enraizamiento.

Tabla 3. Distribución de las pérdidas en la etapa de multiplicación.

Causa	Porcentajes	Total
Contaminación	Hongos	18,64
	Bacterias	30,21
Alteraciones morfológicas	Arrosetadas	0,78
	Quimeras	0,09
	Albinas	0,04
Mal estado	50,23	50,23

■ AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a N. V. Paz y a M. P. Insaurralde Rocco por su importante apoyo técnico.

■ BIBLIOGRAFÍA CITADA

Díaz, M. E.; N. V. Paz; M. P. Insaurralde Rocco; M. F. Perera; A. P. Castagnaro and A. S. Noguera. 2019. The sugarcane Vitroplantas project of the Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colom-

bres (EEAOC, Tucumán, Argentina): production of healthy plantlets in the laboratory. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists 30: 621-625,

Navure Team. 2023. Navure (1.2.0): A data-science-statistic oriented application for making evidence-based decisions. URL <http://www.navure.com>,

Norma ISO 9001. 2015. Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos.

Pérez Ponce, J. N. 1998. Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología, Instituto de biotecnología de las plantas: Santa Clara.



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 102 (1):
16-19; 2025



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

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

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

Fecha de
recepción:
18/08/2025

Fecha de
aceptación:
19/08/2025

Control de vitropatógenos en el esquema de producción *in vitro* de caña de azúcar en la EEAOC

M. Elena Díaz*, Andrea N. Peña Malavera*, M. Francisca Perera* 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), CCT NOA SUR. Email: mediazmicales@eeaac.org.ar

RESUMEN

Uno de los principales problemas que se presentan cuando se tratan de establecer cultivos *in vitro* es la contaminación endógena (virus, viroides, bacterias, hongos y levaduras presentes en el interior de las células, en los espacios intercelulares o en los haces conductores), ya que no pueden ser eliminados por técnicas de desinfección química a las que es sometido el material vegetal al inicio del proceso de micropropagación. Cuando causan daño *in vitro* (aunque no necesariamente *in vivo*) se los denomina vitropatógenos. Entre estos microorganismos, las bacterias constituyeron el principal problema en 2024 en la micropropagación de caña de azúcar en la EEAOC, ya que ocasionaron pérdidas equivalentes al 20% de la producción total, lo que representó casi el 55% de las pérdidas totales de producción. Además de la muerte de las plantas, las bacterias producen una disminución de la tasa de multiplicación de las variedades micropropagadas y fallas en la etapa de enraizamiento. El objetivo de este trabajo fue evaluar dos antibióticos (cefotaxima y gentamicina) e identificar los géneros bacterianos presentes mediante la secuenciación de la región 16S, a fin de diseñar una apropiada estrategia de control. El uso de cefotaxima fue más efectivo en el control del crecimiento bacteriano, sin disminución de la tasa de multiplicación. El tratamiento con gentamicina no resultó efectivo para el control bacteriano y, además, las plantas manifestaron alteraciones fenotípicas (quimeras y albinismo) en el 2,7% del total de la producción. Las bacterias identificadas pertenecieron a los géneros *Bacillus* y *Microbacterium*. Considerando que el 73% del área cañera plantada en Tucumán está plantada con "caña semilla" de alta calidad provista por el Proyecto Vitroplantas de la EEAOC, la incorporación de estrategias de control beneficiará al esquema de producción y, en consecuencia, al sector productivo.

Palabras clave: antibiótico, bacteria, contaminación *in vitro*, tasa de multiplicación.

ABSTRACT

Vitropathogen control in EEAOC's sugarcane micropropagation scheme

One of the main inconvenient of *in vitro* culture is the endogenous contamination (viruses, viroids, bacteria, fungi or yeasts inside cells, in intercellular spaces or vascular bundles) since it cannot be eliminated by chemical disinfection before micropropagation process. When they cause *in vitro* damage (but not necessarily in *in vivo* conditions) they are called vitro pathogens. Among these microorganisms, bacteria were the main problem in EEAOC's sugarcane micropropagation since the losses they caused were 20% of the total production, representing almost 55% of the total production losses. Bacteria not only cause plant death but also decrease in multiplication rates, and even cause failures in rooting stage. The aim was to evaluate two antibiotics (cefotaxime and gentamicin) and identify by sequencing 16S region the genera present to design adequate strategy control. Cefotaxime proved to be more effective in controlling bacterial growth in *in vitro* sugarcane culture without decreasing the multiplication rates. The use of gentamicin was not effective

to bacterium control, besides some plants revealed phenotypic alterations (chimeras, albinism) in 2.7% of the total evaluated plants. The identified bacteria belong to the genera *Bacillus* and *Microbacterium*. Considering that 73% of the sugarcane area in Tucumán is planted with high quality seed cane obtained by Vitroplant Project, the incorporation of control strategies will positively affect in the production scheme, which directly will benefit the productive sector.

Key words: antibiotic, bacteria, *in vitro* contamination, multiplication rates.

INTRODUCCIÓN

En 2001, la EEAOC creó el Proyecto Vitroplantas, cuyo propósito es el de proveer caña de azúcar de alta calidad a los productores de la región. Para ello, se vale de herramientas biotecnológicas tales como cultivo de tejidos, termoterapia y diagnóstico molecular, mediante los cuales obtiene material sano, vigoroso y con pureza genética (Pérez Ponce, 1998). Las técnicas de cultivo de tejidos vegetales permiten el establecimiento, la manipulación y el desarrollo de células, tejidos u órganos en condiciones asépticas, mientras que la micropropagación se refiere a la multiplicación a gran escala de plantas, mediante la proliferación o inducción de yemas en medios de cultivo *in vitro* en condiciones asépticas. El Programa de Mejoramiento de la EEAOC proporciona las variedades que son micropropagadas por el laboratorio de la Sección Biotecnología. Desde 2016, la producción en laboratorio de las vitroplantas de caña de azúcar está certificada con la norma internacional de calidad ISO 9001:2015.

El material resultante está libre de las principales enfermedades de la caña de azúcar en Tucumán (Argentina): escaldadura de la hoja (*Xanthomonas albilineans*); raquitismo de la soca (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*); estría roja (*Acidovorax avenae* subsp. *avenae*); mosaico de la caña de azúcar (SCMV y SrMV); y virus del amarillamiento de la hoja (YLS). La pureza genética asegura que las plántulas tienen el mismo perfil genético que el material donante (Díaz *et al.*, 2019).

La contaminación microbiana es una de las principales limitaciones en los sistemas de micropropagación. Provoca dificultades en la iniciación del cultivo, reducción de las tasas de multiplicación, dificultad en el enraizamiento, necrosis de tejidos y mortalidad del cultivo. Los contaminantes más comunes son hongos y bacterias.

Los hongos pueden controlarse fácilmente con protocolos adecuados de limpieza y desinfección. Sin embargo, estos protocolos son ineficientes para la eliminación de bacterias, ya que, al ser endógenas, pueden permanecer latentes y aparecer después de varios subcultivos. Cuando las contaminaciones bacterianas causan daños significativos o la muerte del material vegetal, se denominan vitropatógenos (Herman, 1987). En el ambiente natural, no son necesariamente patógenas ni perjudiciales para las plantas; incluso pueden ser beneficiosas para las plantas hospedantes, al favorecer su crecimiento o fortalecer sus defensas contra enfermedades. Para el control de la contaminación bacteriana *in vitro* pueden usarse antibióticos.

En 2024, el 36% de la producción se perdió debido a diferentes motivos, donde la presencia de vitropatógenos fue responsable del mayor porcentaje (Figura 1). Este grave problema se produjo por la falta de disponibilidad comercial de cefotaxima, que fue reemplazado por gentamicina. Los objetivos de este estudio fueron: (i) evaluar la eficacia de dos antibióticos para controlar el crecimiento bacteriano, (ii) identificar los géneros presentes en el cultivo *in vitro* de caña de azúcar, y (iii) diseñar una estrategia adecuada para el control de los vitropatógenos en el sistema de micropropagación de la caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y condiciones de crecimiento

Se utilizaron vitroplantas de dos variedades, TUC 95-10 (subcultivo 5) y TUC 03-12 (subcultivo 6), que fueron crecidas en medio Murashige and Skoog, al que se adicionó 3% sacarosa, 6-benzylaminopurina (BAP) y ácido naftaleacético (ANA).

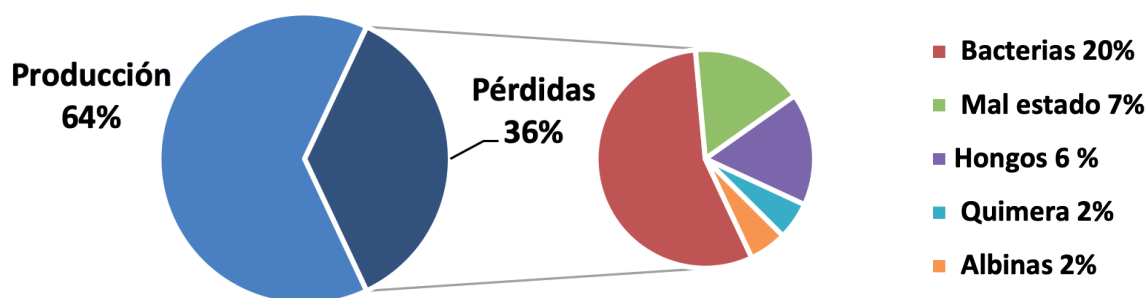


Figura 1. Pérdidas de producción de vitroplantas de caña de azúcar en 2024.

Los tres tratamientos evaluados fueron: cefotaxima (170 mg/L); gentamicina (30 mg/L), y control (sin antibiótico), con 15 repeticiones por tratamiento (TUC 95-10 en tres bloques y TUC 03-12 en dos bloques). El material fue incubado durante cuatro semanas a 24-28°C con un fotoperíodo de 16 h luz. Se registraron las tasas de multiplicación y alteraciones fenotípicas. Antes del ensayo, todas las plantas fueron cultivadas desde sus etapas iniciales con gentamicina, debido a la falta de disponibilidad de cefotaxima.

Aislamiento, crecimiento bacteriano e identificación

Se realizó una dilución 1:1000 del medio de cultivo de cada tratamiento, se sembraron 100 µL en placas Petri y se incubaron a 37°C durante dos días. Posteriormente, se contaron las unidades formadoras de colonias. La región 16S ADNr de las colonias se amplificó mediante PCR y los fragmentos amplificados se purificaron y secuenciaron (Figura 2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tasa de multiplicación fue mayor con cefotaxima, mientras que el tratamiento con gentamicina disminuyó significativamente esa tasa comparada incluso con respecto al control, es decir sin antibiótico (Figura 3).

Las alteraciones fenotípicas fueron similares para ambas variedades 14,8% para TUC 95-10 y 11% para TUC 03-12. TUC 95-10 desarrolló más quimeras cuando fue tratada con cefotaxima, y la aparición de plantas albinas se observó tanto en el tratamiento con gentamicina, como en el tratamiento control. En TUC 03-12, el tratamiento con gentamicina mostró mayores niveles de quimeras y plantas albinas que en los tratamientos con cefotaxima y control (Figura 4). Sin embargo, el valor $p \leq 0,5$ indica que tales alteraciones morfológicas fueron independientes de los tratamientos.

En ambas variedades, el uso de cefotaxima disminuyó la contaminación bacteriana (Figura 5). TUC 03-12 tuvo mayor crecimiento de bacterias en todos los trata-

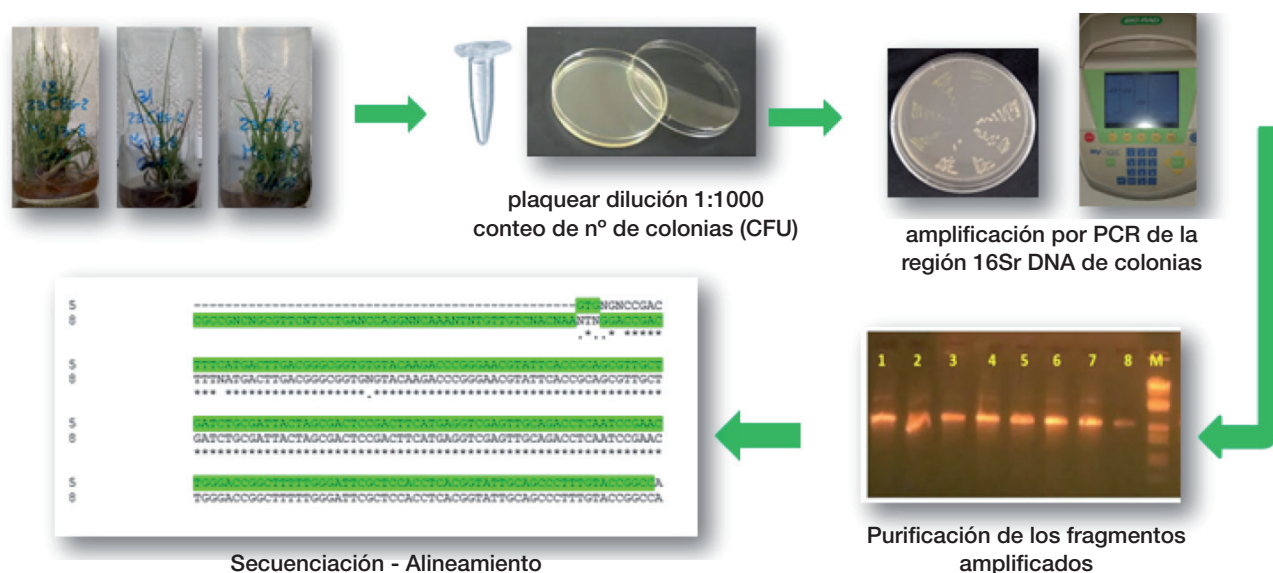


Figura 2. Esquema de aislamiento e identificación de contaminantes bacterianos.

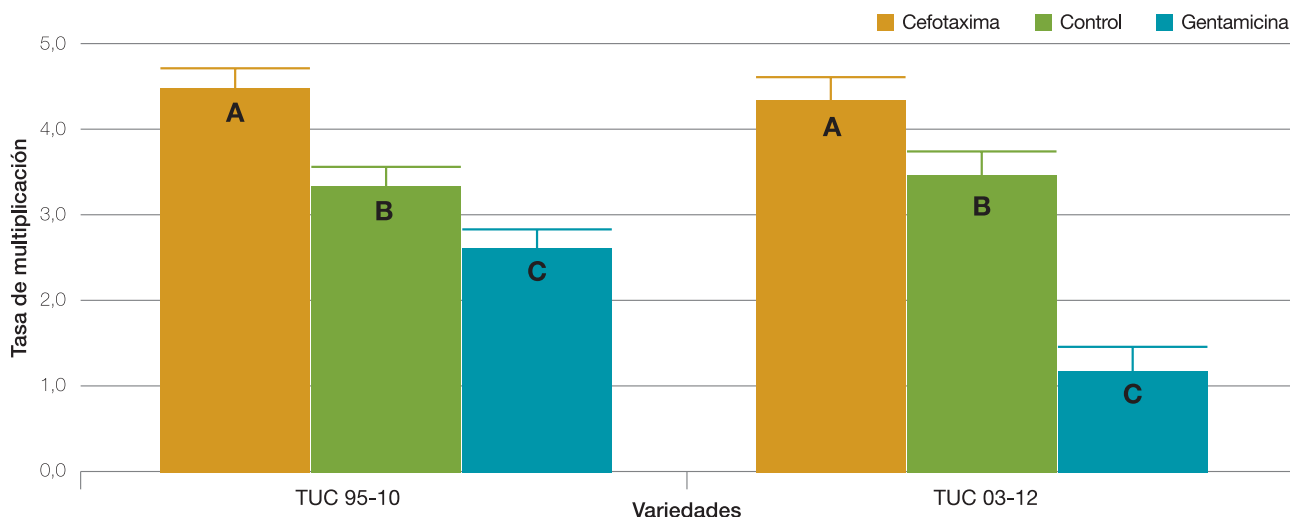


Figura 3. Tasa de multiplicación de las dos variedades en los tres tratamientos ensayados.

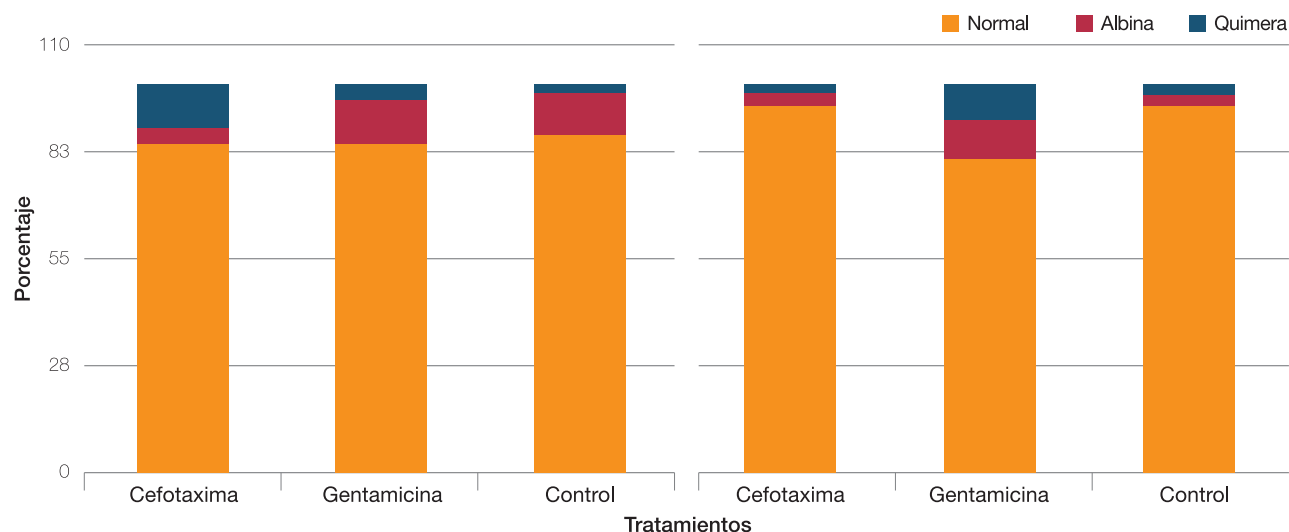


Figura 4. Alteraciones fenotípicas. Izquierda: TUC 95-10 (p-valor=0,31); Derecha: TUC 03-12 (p-valor=0,46).

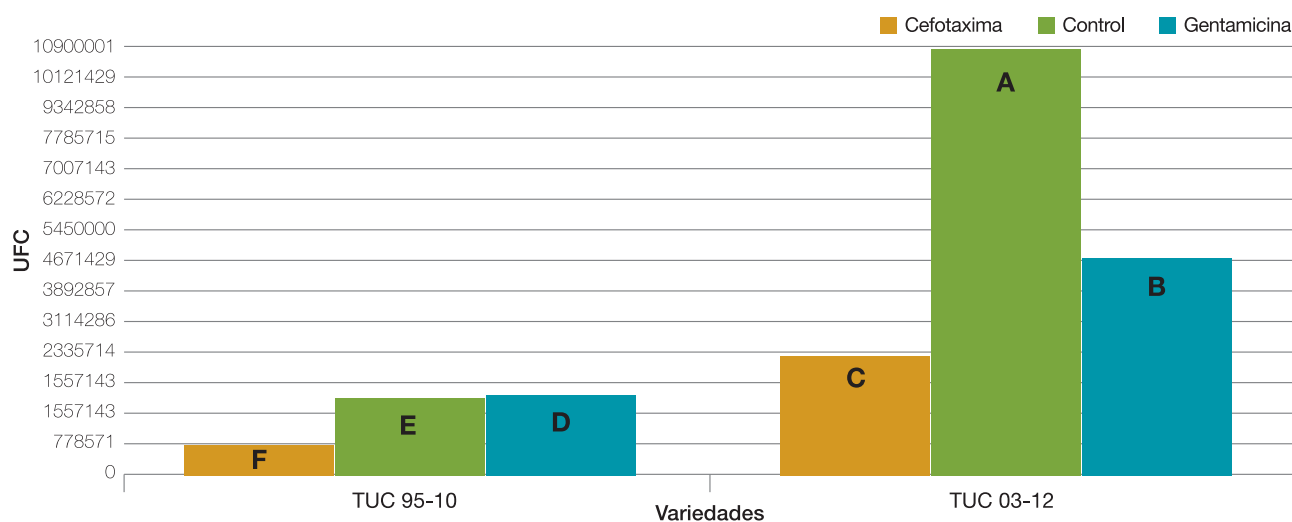


Figura 5. Unidades formadoras de colonias en TUC 95-10 y TUC 03-12 para los diferentes tratamientos.

mientos, lo que podría explicar su menor tasa de multiplicación bajo la aplicación de gentamicina.

Cuando los fragmentos de la región 16S DNAR fueron amplificados, purificados y secuenciados, se identificaron bacterias pertenecientes a los géneros *Bacillus* y *Microbacterium*. Ambos géneros están ampliamente distribuidos y reconocidos como endofíticos, además *Microbacterium* spp. es reconocida como fijadora de N₂ en plantas micropropagadas de caña de azúcar.

CONCLUSIONES

El uso de cefotaxima fue más efectivo en el control de contaminación bacteriana en las dos variedades de caña de azúcar cultivadas in vitro, sin afectar la tasa de multiplicación. El uso rutinario de gentamicina no solo falló en el control de la contaminación bacteriana, sino que

incrementó la aparición de alteraciones morfológicas.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Díaz, M. E.; N. V. Paz; M. P. Insaurralde Rocco; M. F. Perera; A. P. Castagnaro and A. S. Noguera. 2019. The sugarcane Vitroplants project of the Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC, Tucumán, Argentina): production of healthy plantlets in the laboratory. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists 30: 621-625.
- Herman, E. B. 1987. Towards control of micropropagation contamination. Agricell Report 9: 33-3
- Pérez Ponce, J. N. 1998. Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología. Instituto de biotecnología de las plantas: Santa Clara.



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 102 (1):
20-23; 2025



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

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

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

Fecha de
recepción:
21/08/2025

Fecha de
aceptación:
21/08/2025

Impacto del carbón de la caña de azúcar en el proceso de selección del Programa de Mejoramiento Genético de la EEAOC durante los últimos 10 años

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

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

RESUMEN

El objetivo principal del Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (PMGCA-EEAOC) es desarrollar nuevas variedades TUC con alto rendimiento en caña y contenido de sacarosa, madurez temprana y buen comportamiento fitosanitario, entre otras características agronómicas e industriales. A partir de la campaña 2020/2021, el carbón de la caña de azúcar (*Sporisorium scitamineum* Syd.) incrementó su prevalencia en Tucumán, República Argentina, convirtiéndose en una de las principales enfermedades del cultivo en la región. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto que tuvo el carbón en etapas clonales tempranas (etapas II y III) y en los ensayos comparativos internos de variedades (etapa IV) del proceso de selección del PMGCA-EEAOC durante la última década. La selección por resistencia al carbón se realizó bajo condiciones de infección natural en cinco series de cruzamientos, abarcando las etapas mencionadas. Durante las etapas clonales tempranas (2014 a 2019), con baja presión de inóculo, se descartó el 0,26% de los clones evaluados por su susceptibilidad al carbón. Sin embargo, en los ensayos comparativos internos (2019 a 2024), bajo alta presión de la enfermedad, el 17,50% de los clones evaluados mostraron susceptibilidad. Los resultados evidencian que el aumento de la prevalencia del carbón en Tucumán en las últimas campañas generó un descarte significativo de clones avanzados que no habían sido identificados como susceptibles en etapas tempranas. Esto resalta la necesidad de incorporar herramientas de inoculación artificial para evaluar la resistencia al carbón en etapas iniciales del proceso de selección, lo que permitiría superar la limitación de la presión natural del patógeno o la falta de condiciones favorables para su desarrollo.

Palabras clave: *Sporisorium scitamineum*, fitotecnia, interacción genotipo-ambiente, resistencia, alta prevalencia.

ABSTRACT

Impact of sugarcane smut in the EEAOC sugarcane breeding selection process during the last 10 years

The focus of the Sugarcane Breeding Program of the Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (SCBP-EEAOC) is to develop new TUC varieties with high cane yield and sucrose content, early maturity and good phytosanitary behavior, among other industrial and agronomic aspects. From 2020/2021 season, sugarcane smut (*Sporisorium scitamineum* Syd.) increased in prevalence in Tucumán, Argentina, becoming one of the main sugarcane diseases in the region. The aim of this work was to examine the impact of smut in the first and second clonal stages and infield variety trials of the selection process of the SCBP-EEAOC during the last decade. Natural infection is used to screen and select for smut resistance clones over five crossing series during the first (stage II) and

second (stage III) clonal stages and the infield variety trials stage (penultimate selection stage). In all crossing series, 0.26% of clones were discarded in the first and second clonal stages due to their susceptibility; these stages were conducted between the 2014 and 2019 seasons, with low smut pressure. During the infield variety trials stage, 17.50% of clones showed a susceptible reaction to smut; this stage was evaluated between the 2019 and 2024 seasons under high-smut pressure. The results show that the increase in smut prevalence observed in Tucumán during the last four seasons resulted in the discarding of a high number of clones in the infield variety trials that were not identified as susceptible in early stages. This highlights the need for artificial inoculation tools to assess smut resistance in early stages, overcoming the lack of fungal pressure or favorable conditions for the disease.

Key words: *Sporisorium scitamineum*, genetic improvement, genotype-environment interaction, resistance, high prevalence.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es el cultivo más importante en Tucumán, República Argentina, con una superficie cosechable estimada en 294.470 ha (Fandos *et al.*, 2024). El Programa de Mejoramiento Genético de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (PMGCA-EEAOC) tiene como objetivo central generar variedades TUC con alto potencial de rendimiento, calidad industrial, madurez temprana y buen comportamiento sanitario frente a enfermedades prevalentes.

Durante la primavera de 2020, la provincia atravesó un período de sequía y altas temperaturas asociado al fenómeno “La Niña”, lo que favoreció el desarrollo del “carbón de la caña de azúcar” (*Sporisorium scitamineum* Syd.) (Bertani *et al.*, 2023a). A partir de la campaña 2020/2021, la prevalencia de la enfermedad aumentó significativamente, alcanzando valores del 85,2%, 94,5%, 92,2% y 87,0% entre las campañas 2020/2021 y 2023/2024, respectivamente (Bertani *et al.*, 2023a,b; 2024a).

Esta situación guardó relación con el cambio en el comportamiento de LCP 85-384 frente al carbón, una variedad previamente clasificada como resistente y que en la campaña 2019/2020 ocupaba el 67,74% del área cultivada (Aybar Guchea *et al.*, 2020). La hegemonía varietal de LCP 85-384 podría haber favorecido la selección de razas más agresivas del patógeno, incrementando la presión de inóculo en la región.

El objetivo de este trabajo fue analizar el impacto del carbón en distintas etapas del proceso de selección del PMGCA-EEAOC durante los últimos diez años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó el impacto del carbón en clones correspondientes a cinco series de cruzamientos biparentales, generadas entre 2011 y 2015. Las evaluaciones a campo se realizaron en tres etapas del proceso de selección (II a IV) (Figura 1).

En la etapa II, los clones se plantaron en un único ambiente experimental, en parcelas conformadas por un surco de 3 m, sin repeticiones. Al final de esta etapa, los

SELECCIÓN A CAMPO DE CLONES SUPERIORES

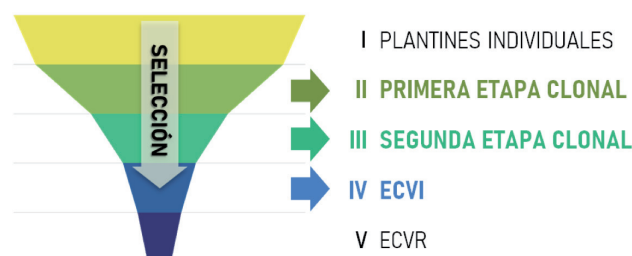


Figura 1. Etapas de selección a campo del Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (PMGCA-EEAOC). ECVI: Ensayos Comparativos de Variedades Internos; ECVR: Ensayos Comparativos de Variedades Regionales.

clones que fueron seleccionados avanzaron a la etapa III, donde se plantaron en parcelas de tres surcos de 3 m, con dos repeticiones en un solo ambiente. En ambas etapas, los clones se evaluaron en las edades de caña planta y primera soca.

Luego, los clones que avanzaron a la etapa IV fueron evaluados durante cuatro cortes (caña planta a tercera soca), en parcelas de tres surcos de 8 m, con tres repeticiones y en dos ambientes contrastantes.

La selección de clones se basó en sus características agronómicas y su resistencia a enfermedades, incluido el carbón. La resistencia a enfermedades se evaluó mediante infección natural. Se consideró susceptible el clon que presentó en su parcela al menos dos látigos en etapa II o tres en etapa III. En la etapa IV se aplicó la escala de la International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT) (Tabla 1). El umbral de descarte definido por el PMGCA-EEAOC se estableció en el valor 4 de la escala de evaluación, lo que corresponde a la detección, dentro de una parcela, de cuatro cepas de caña de azúcar con al menos un látigo cada una.

Las etapas clonales tempranas se evaluaron entre 2014 y 2019. Los ensayos comparativos de variedades se desarrollaron entre 2019 y 2024.

Tabla 1. Escala para la evaluación de la resistencia de genotipos de caña de azúcar al carbón, basada en la escala de la International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT).

Escala	Comportamiento del clon
1 - 2	Resistente
3 - 4	Moderadamente resistente
5 - 6	Moderadamente susceptible
7 - 9	Susceptible

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las cinco series de cruzamientos biparentales en estudio, un total de 17.944 clones fueron evaluados durante las etapas II y III. De ellos, 47 clones (0,26%) fueron descartados por susceptibilidad al carbón, en un contexto de baja presión de inóculo (Bertani *et al.*, 2023a) (Figura 2).

De los clones selectos, 200 fueron evaluados en ensayos comparativos de rendimiento (etapa IV) entre 2019 y 2024. En esta etapa, 35 clones (17,50%) fueron descartados por su susceptibilidad bajo la alta presión de la enfermedad (Bertani *et al.*, 2024b) (Figura 2).

Estos resultados muestran que el incremento en la prevalencia del carbón observado en Tucumán en las últimas cuatro campañas, a partir de la pérdida de resistencia de la principal variedad cultivada (LCP 85-384), condujo a un descarte significativo de clones en etapas avanzadas del proceso de selección, los cuales no habían manifestado síntomas en etapas tempranas.

CONCLUSIONES

El aumento de la prevalencia del carbón en Tucumán ha impactado significativamente en el proceso de

selección del PMGCA-EEAOC, generando un importante descarte de clones en etapas avanzadas. Este hallazgo impulsa la necesidad de contar con técnicas de inoculación artificial que permitan una detección más precisa y temprana de clones susceptibles. Esta estrategia permitirá optimizar el desarrollo de variedades resistentes, con alto rendimiento y calidad industrial, asegurando una mayor estabilidad productiva del cultivo en la región.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aybar Guchea, M.; S. Ostengo; M. A. Espinosa; L. P. Medina; J. V. Díaz; E. R. Chavanne; D. D. Costilla y M. I. Cuenya. 2020. Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2019/2020 (Parte I). Reporte Agroindustrial EEAOC 195.
- Bertani, R. P.; C. Funes; J. A. Lobo and S. Chaves. 2023a. Reaction of commercial sugarcane varieties against smut disease in Tucumán, Argentina during the 2020/2021 and 2021/2022 seasons. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists 31: 379-384.
- Bertani, R. P.; C. Funes; J. A. Lobo; C. M. Joya; M. A. Monachesi y V. González. 2023b. Principales enfermedades que afectaron al cultivo de la caña de azúcar en Tucumán durante la campaña 2022/2023. Reporte Agroindustrial EEAOC 280.
- Bertani, R. P.; J. A. Lobo; L. G. Huvierne; M. A. Monachesi; C. M. Joya y V. González. 2024a. Los desafíos sanitarios de la caña de azúcar en Tucumán durante la campaña 2023/2024. Reporte Agroindustrial EEAOC 314.
- Bertani, R. P.; J. A. Lobo; L. G. Huvierne; M. A. Monachesi; C. M. Joya and V. González. 2024b. Phytosanitary status of sugarcane in Tucumán, Argentina, over the past five years, in the context of

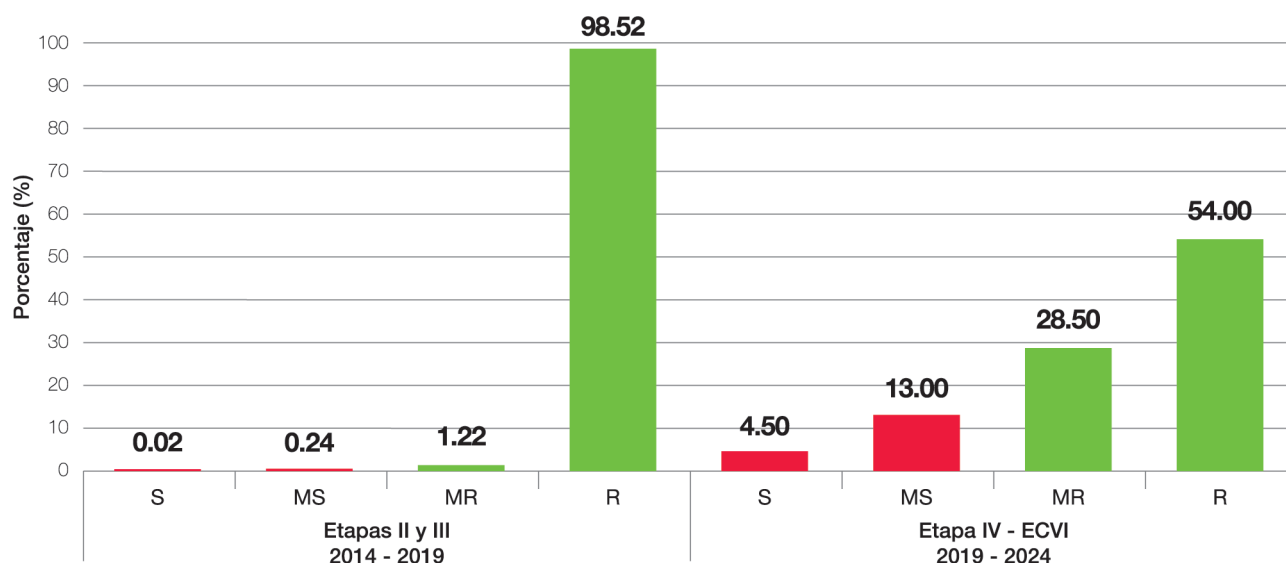


Figura 2. Porcentaje de distribución de clones de caña de azúcar según su resistencia al carbón en dos períodos de evaluación: primeras etapas clonales (II y III), y Ensayos Comparativos de Variedades Internas (ECVI, etapa IV). Las categorías fueron: susceptible (S), moderadamente susceptible (MS), moderadamente resistente (MR), y resistente (R).

climatic change. In: Abstract Book, XIII Pathology and XI Entomology Workshop 2024, pp. 8.

Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y F. J. Soria. 2024. Estimación del área cosechable y de la producción de caña de azúcar para la zafra 2024 en Tucumán. Reporte Agroindustrial EEAOC 306.





Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 102 (1):
24-30; 2025



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBARES
Tucumán | Argentina

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

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

Fecha de
recepción:
05/08/2025

Fecha de
aceptación:
06/08/2025

Relación entre la zonificación del área cañera según los niveles de producción y la fertilidad de los suelos en Tucumán, Argentina, utilizando geotecnologías

*Carmina Fandos, *Federico José Soria, *Pablo Scandaliaris, *Javier Ignacio Carreras Baldrés y **Gerardo Agustín Sanzano

* Sección Sensores Remotos y SIG - EEAOC; **Sección Suelos y Nutrición Vegetal - EEAOC.
Email: carminaf@eeaoc.org.ar

RESUMEN

Los mapas de fertilidad de los suelos facilitan la detección de zonas con diferentes niveles de nutrientes, y la identificación de ambientes con distintos niveles de producción contribuye a la zonificación y al diseño de estrategias que permiten el tratamiento diferencial de cada zona. Los objetivos de este trabajo fueron relacionar la zonificación del área de cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán, basada en los niveles de producción, con los mapas de fertilidad de los suelos cañeros. Se analizaron varias coberturas temáticas en un entorno de Sistema de Información Geográfica (SIG), tomando como base los mapas de materia orgánica del suelo (MOS) y pH de los suelos cañeros y de zonificación del área cañera tucumana, según niveles de producción. Si bien las zonas de producción baja se disponen en toda el área cañera, se constató un predominio en el sector central, mayormente en los departamentos de Simoca, Monteros y Chicligasta, en coincidencia con las subregiones 2-a y 2-b-1 (Llanura Deprimida no salina u occidental, y salina u oriental seca subhúmeda, respectivamente), donde prevalecen zonas con valores de MOS inferiores a 1,5%. En cuanto al pH, en general no hay limitaciones en la Llanura Deprimida, excepto en los departamentos de Simoca y Leales, donde algunas zonas muestran predominio de pH alcalino (subregión 2-b-1). Las zonas de baja producción en la región del Pedemonte coinciden con suelos con pH moderadamente ácido, particularmente en el sector occidental del departamento Monteros. Con respecto a las zonas de mayor producción, hay una notable prevalencia en la región de la Llanura Chacopampeana (subregiones subhúmeda húmeda y seca subhúmeda no salina, 3-a y 3-b-1, respectivamente) y el sector norte de la Llanura Deprimida. En estas áreas, los valores de MOS y pH coinciden con zonas sin limitaciones para ambas variables. Los mapas temáticos generados sirven como base para la zonificación según la productividad y la fertilidad, lo que contribuye a la implementación de prácticas agrícolas adaptadas a cada situación. También proporcionan un fundamento para futuros estudios que incluyan otras variables, como la frecuencia de quema, el momento de la cosecha, etc., lo que mejoraría la delimitación de ambientes con características homogéneas y, en consecuencia, su manejo agronómico.

Palabras clave: Teledetección y SIG, materia orgánica del suelo (MOS), pH.

ABSTRACT

Relationship between sugarcane area zoning by production levels and soil fertility in Tucumán province, Argentina, using geotechnologies

Soil fertility maps enable the detection of areas with different nutrient levels, and identifying environments with varying production levels contributes to zoning and the management of practices that allow for the differential treatment of each zone. Since soil fertility is a major factor influencing sugarcane productivity, this study aimed to relate the zoning of the sugarcane-growing area in the Tucumán province, based on production levels, to the fertility maps of sugarcane soils. Several thematic layers were analysed in a Geographic Information System (GIS) environment. The analysis was based on maps of Soil Organic Matter (SOM) and pH of sugarcane soils, and the zoning of the sugarcane-growing area in Tucumán according to production levels. Although low-production zones are

distributed throughout the sugarcane area, they predominated in the central sector, within the Depressed Plain, mainly in the departments of Simoca, Monteros, and Chicligasta. This coincides with subregions 2-a and 2-b-1 (the non-saline or western Depressed Plain and the saline or eastern dry sub-humid, respectively) where areas with SOM values below 1.5% prevail. Regarding pH, in general, there are no limitations in the Depressed Plain, except in the departments of Simoca and Leales, where some areas show a predominance of alkaline pH (subregion 2-b-1). Low-production zones in the piedmont region strongly coincide with soils with moderately acidic pH, particularly in the western sector of the Monteros department. As for the higher production areas, there is a notable prevalence in the Chaco-Pampean Plain region (humid sub-humid and dry sub-humid non-saline subregions, 3-a and 3-b-1, respectively) and the northern sector of the Depressed Plain. In these areas, SOM and pH values show a high correlation with areas without limitations for both variables. The generated thematic maps serve as a basis for zoning according to productivity and fertility, which contributes to the implementation of agricultural practices suited to each situation. They also provide a foundation for future studies that include other variables, such as burning frequency, harvest time, etc., which would improve the delimitation of environments with homogeneous characteristics and, consequently, their agronomic management.

Key words: Remote sensing and GIS, soil organic matter (SOM), pH.

■ INTRODUCCIÓN

El rendimiento de la caña de azúcar es el resultado de una combinación de diversos factores ambientales y de manejo. Una disminución en el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) no suele percibirse como un problema, ya que la mejora genética de las plantas y las tecnologías aumentan o mantienen los rendimientos. Sin embargo, aproximadamente el 50% del nitrógeno (N) requerido por la caña de azúcar proviene de la MOS. Además, el pH del suelo afecta sus propiedades químicas, biológicas y físicas (Arroyo *et al.*, 2022).

Los mapas de fertilidad del suelo proporcionan una forma práctica y completa de identificar áreas o regiones con diferentes niveles de nutrientes (Bertsch, 1987), lo que permite conocer, registrar y ubicar espacialmente las zonas que pueden requerir un manejo especial, así como aquellas que pueden requerir diferentes niveles de nutrientes (Calderon Puig *et al.*, 2012).

El mapa de almacenamiento de carbono del suelo de Argentina, generado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), utiliza un enfoque de cartografía digital de suelos. Dicho mapa se basó en mapas globales de carbono orgánico del suelo (COS), muestreo de campo e inteligencia artificial (Gaitán *et al.*, 2023). A nivel local, Arroyo *et al.* (2022) desarrollaron mapas que revelan la distribución espacial de los porcentajes de MOS, N total y pH en la capa superficial de los suelos cañeros de la provincia de Tucumán, lo que permite visualizar el estado de la fertilidad del suelo, evaluar la aptitud agrícola y planificar prácticas de manejo sostenible.

La identificación de diferentes ambientes de producción en las áreas agrícolas contribuye a la zonificación y al manejo de prácticas que permiten el tratamiento diferencial de cada zona, según las variables que limitan el potencial productivo. La zonificación requiere información de diferentes campañas de cultivo, que se puede obtener rápidamente mediante el uso de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). A nivel local, Fan-

dos *et al.* (2022a) desarrollaron un mapa de zonificación del área cañera tucumana, según los niveles de producción, y lo correlacionaron con las regiones agrológicas y el Índice de Productividad (IP) de esos suelos. Este trabajo destaca los altos porcentajes de zonas de baja producción en la región de la Llanura Deprimida, donde predominan las pequeñas fincas cañeras. Como continuación de esta investigación, Fandos *et al.* (2023a) constataron un proceso de expansión de los cañaverales, en los últimos años, hacia el norte, este y sur de la zona tradicional de cultivo de caña, cubriendo en su mayoría la región agrológica de la Llanura Chacopampeana y, en menor medida, la Llanura Deprimida y el Pedemonte. También encontraron mayores porcentajes de áreas de producción intermedia y alta en esta zona, en comparación con la región cañera tradicional.

Con el fin de relacionar la zonificación productiva de las plantaciones de caña de azúcar con la fertilidad del suelo, los objetivos del presente trabajo fueron actualizar la zonificación del área cañera en la provincia de Tucumán basada en los niveles de producción hasta el año 2023, y relacionarla con los mapas de fertilidad de los suelos cañeros generados a nivel local.

■ MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio es la región cultivada con caña de azúcar en la provincia de Tucumán, que se concentra principalmente en las regiones de Pedemonte, Llanura Deprimida y Llanura Chacopampeana (Figura 1). El clima es subtropical, con una estación seca bien definida, y se caracteriza por condiciones climáticas templadas y cálidas, veranos cálidos y húmedos e inviernos secos. El régimen de lluvias es monzónico, y entre diciembre y marzo se registra entre el 50% y el 60% del total de las precipitaciones.

Se realizó un análisis de diversas coberturas temáticas, aplicando técnicas de SIG. Como base se tomó la cobertura con la zonificación del área cañera según los

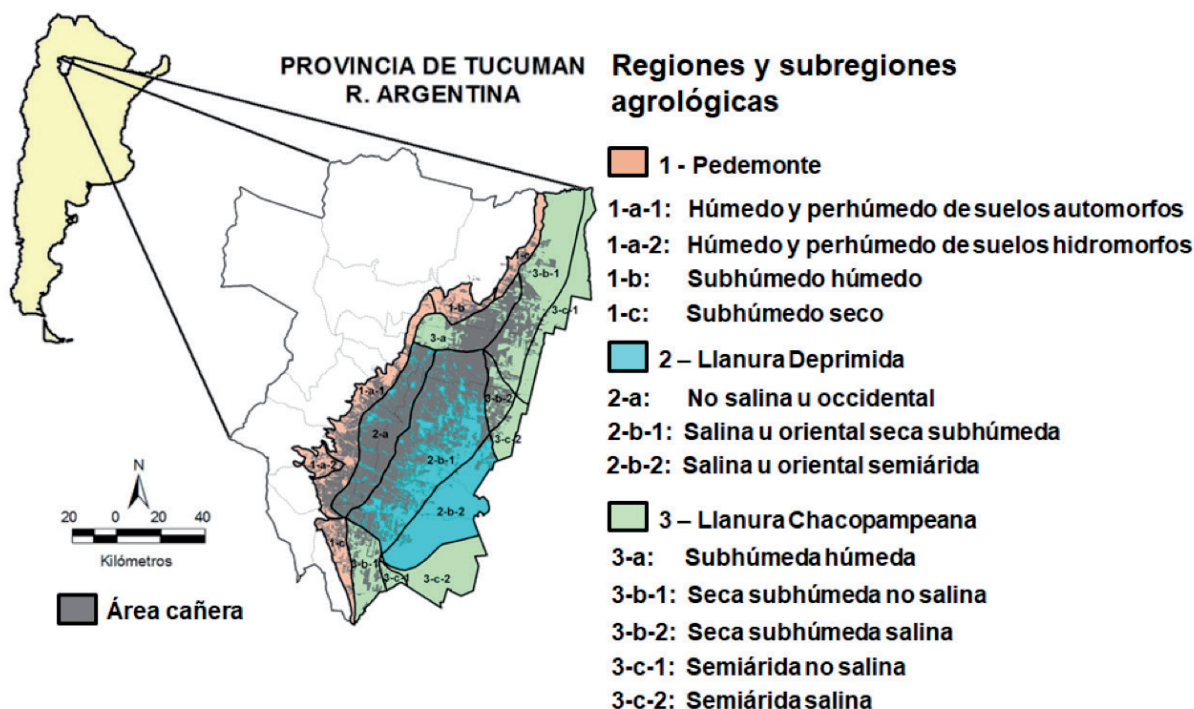


Figura 1. Regiones y subregiones agrológicas del área cañera tucumana. Adaptado de Zuccardi y Fadda (1985).

niveles de producción obtenida por Fandos *et al.* (2022a). Esta capa temática se generó a partir de clasificaciones multispectrales de imágenes satelitales Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI y Sentinel 2A y 2B MSI, obtenidas de los sitios web <https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/> y <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>, respectivamente.

Las clasificaciones se realizaron analizando las bandas espectrales situadas en el rojo, el infrarrojo cercano y el infrarrojo medio, donde la vegetación tiene su mayor respuesta espectral. Las bandas analizadas fueron las 3, 4 y 5 del satélite Landsat 5 TM; las 4, 5 y 6 del satélite Landsat 8 OLI; y las 4, 8 y 11 del Sentinel 2A y 2B MSI. Se estimó conveniente analizar varios ciclos agrícolas, de manera de contemplar diferentes condiciones climáticas y de manejo del cañaveral. La información utilizada correspondió a los años 2011, 2013, 2016, 2018, 2019 y 2020, periodos para los que se contó con datos de niveles de producción.

Las capas temáticas base de caña de azúcar contenían tres categorías de niveles de producción, según el rendimiento cultural: bajo (menor a 56 t/ha), medio (entre 56 y 75 t/ha) y alto (mayor a 76 t/ha). Para el análisis, a los píxeles correspondientes al nivel bajo se les asignó el valor 1; al nivel medio, el valor 10; y el valor 100 al nivel alto. Las clases sin predominio de valores se asignaron al nivel de producción más bajo. Posteriormente, se superpuso la cobertura de las zonas de producción sobre las regiones agroecológicas de Tucumán (Zuccardi y Fadda 1985).

Para el presente trabajo, utilizando la misma metodología, se actualizó la cobertura agregando la información de niveles de producción correspondientes a las zafas 2021 a 2023 (Fandos *et al.*, 2021; 2022b; 2023b).

En la Figura 2 se exhibe un esquema de la metodología utilizada para llevar a cabo la zonificación del área cañera.

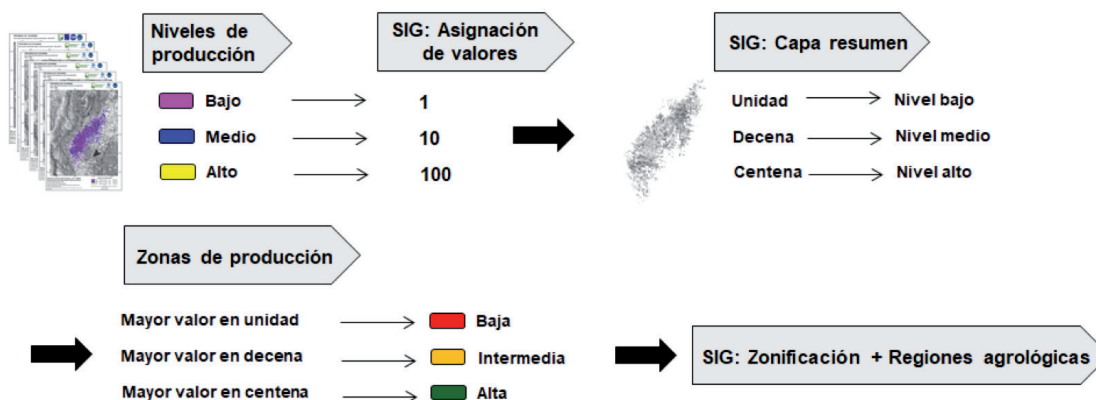


Figura 2. Flujo metodológico utilizado para la zonificación del área cañera según los niveles de producción.

Con respecto a la información de fertilidad de suelos, se tomaron como base los mapas de MOS y pH generados por Arroyo *et al.* (2022) (Figura 3). Estos mapas se elaboraron a partir de la información de muestras extraídas a 0-30 cm de profundidad en 2900 sitios distribuidos en toda el área cañera, utilizando el método de interpolación Kriging Ordinario (KO). Primero, se reclasificaron los mapas, simplificando la información en dos categorías. El mapa de MOS se categorizó para mostrar suelos con un contenido de MOS por debajo o por encima del 1,5%. Para el mapa de pH, los suelos con pH moderadamente ácido a ligeramente o moderadamente alcalino se agruparon en una categoría denominada “pH con limitaciones”, mientras que aquellos con pH ligeramente ácido a neutro, que no presentaban limitaciones, se ubicaron en una categoría de “pH sin limitaciones”. Cabe señalar que los niveles de pH detectados generalmente no representan limitaciones severas para el cultivo de caña de azúcar (Arroyo *et al.*, 2022).

A continuación, se integraron las capas temáticas de MOS y pH reclasificadas, creando una categorización de los suelos cañeros basada en la combinación de ambas variables. Se utilizaron los softwares ERDAS Imagine, versión 8.4.; y QGIS, versión 3.16.9.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 4 se presenta la distribución espacial de las zonas de producción de caña de azúcar, mientras que la Figura 5 expone la categorización de los suelos cañeros según contenidos de MOS y pH. En ambas figuras se incluye información de regiones y subregiones agrológicas (Zuccardi y Fadda, 1985), cuyo detalle se aprecia en la Figura 1.

El análisis de la Figura 4 revela que la mayor concentración del área cañera se localiza en la región de la Llanura Deprimida, principalmente en las subregiones de la Llanura Deprimida salina seca subhúmeda (2-b-1), y Llanura Deprimida no salina u occidental (2-a). Le siguen las subregiones de la Llanura Chacopampeana seca subhúmeda no salina (3-b-1), el Pedemonte húmedo y perhúmedo de suelos automorfos (1-a-1) y la Llanura Chacopampeana subhúmeda húmeda (3-a).

En cuanto a la distribución de las zonas de producción, se constata que las regiones de la Llanura Deprimida y del Pedemonte concentran las mayores proporciones de zonas de baja producción, mientras que la Llanura Chacopampeana presenta los mayores sectores con zonas de mayor producción.

Si bien las zonas de producción baja se disponen en toda el área cañera, se constata un predominio en el sector central, mayormente en los departamentos Simoca, Monteros y Chicligasta, en coincidencia con las subregiones 2-a y 2-b-1. Al contrastar con la Figura 5, se aprecia que en dicha zona predominan contenidos de MOS menores a 1,5%. Es importante mencionar que dichos suelos cañeros presentan un historial de más de 100 años de monocultivo con caña de azúcar, lo que podría estar contribuyendo a la baja productividad, puesto que el cultivo de caña de azúcar extrae grandes cantidades de nutrientes. En este sentido cabe destacar que Romero *et al.* (2018) indicaron balances negativos de nutrientes para un ciclo completo de cinco años de cultivo, marcándose esta diferencia en los tratamientos con mayor rendimiento cultural (t/ha), situación que se agrava si se elimina total o parcialmente el residuo de cosecha. Además, este sector se corresponde con la zona del minifundio cañero caracterizado en general por una baja tecnología, mano de obra familiar y rendimientos que no superan las 40 t/ha (Santi-

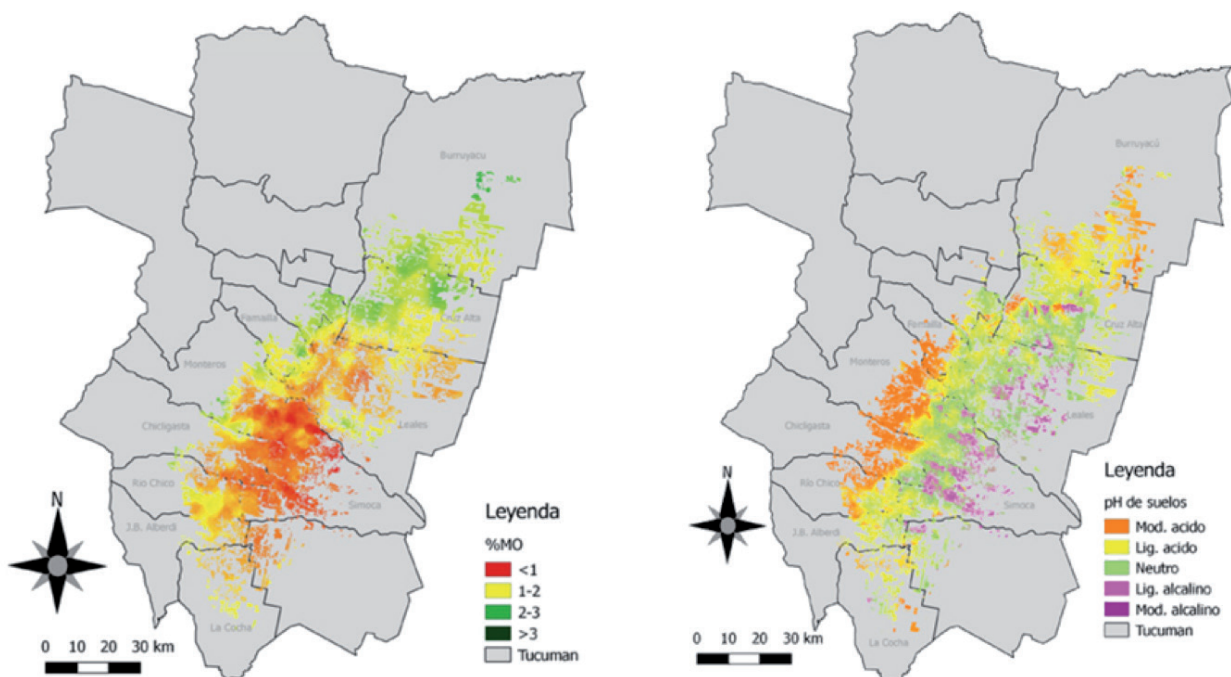


Figura 3. Izquierda: Mapa de distribución del contenido de materia orgánica oxidable % (MOS) (Walkley-Black) en el área cañera de Tucumán. Derecha: mapa de distribución del contenido de pH del suelo (0-30 cm) en el área cañera de Tucumán.

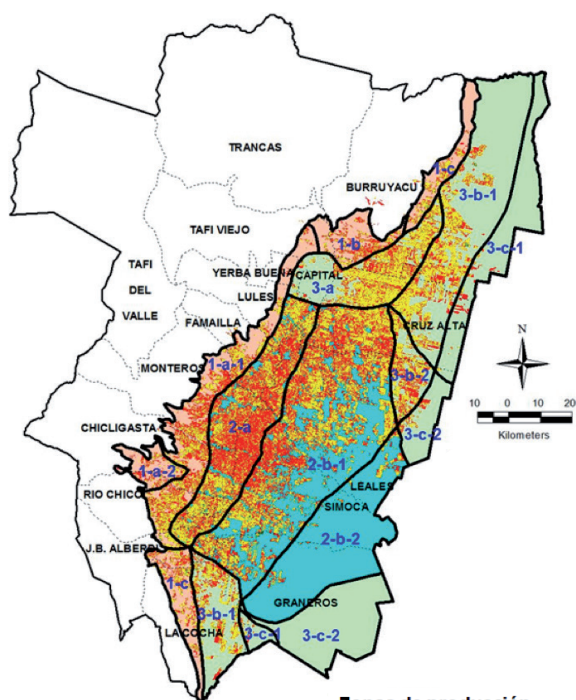


Figura 4. Distribución espacial de las zonas de producción de caña de azúcar según regiones y subregiones agroclimáticas en Tucumán. 1: Pedemonte. 1-a-1: Húmedo y perhúmedo de suelos automorfos. 1-a-2: Húmedo y perhúmedo de suelos hidromorfos. 1-b: Subhúmedo húmedo. 1-c: Subhúmedo seco. 2: Llanura Deprimida. 2-a: No salina u occidental. 2-b-1: Salina u oriental seca subhúmeda. 2-b-2: Salina u oriental semiárida. 3: Llanura Chacopampeana. 3-a: Subhúmeda húmeda. 3-b-1: Seca subhúmeda no salina. 3-b-2: Seca subhúmeda salina. 3-c-1: Semiárida no salina. 3-c-2: Semiárida salina.

Ilán *et al.*, 2012). Con respecto al pH, se observa que prevalecen zonas sin limitaciones en la subregión 2-a y con limitaciones en la subregión 2-b-1, especialmente en los departamentos Simoca y Leales, donde la limitación está dada especialmente por la alcalinidad del suelo (Arroyo *et al.*, 2022). En Simoca, es importante destacar la presencia de una capa freática relativamente cercana a la superficie del suelo que adolece, en el sector oriental, de la falta de una red de drenaje definida. Dicha combinación lleva a la acumulación de excesos hídricos que perjudican la calidad productiva del suelo (Sanzano, 2019).

En la región pedemontana, las bajas producciones podrían estar relacionadas con la falta de un manejo adecuado que permita atenuar los efectos negativos derivados de la torrencialidad de las lluvias, que al sumarse a las fuertes pendientes y suelos con baja capacidad de retención de agua, generan pérdidas de suelo por erosión hídrica (Sanzano, 2019). El análisis de los valores de MOS y pH en la región pedemontana muestra zonas con problemas de fertilidad, especialmente en la subregión 1-a-1, donde predominan los suelos con pH moderadamente

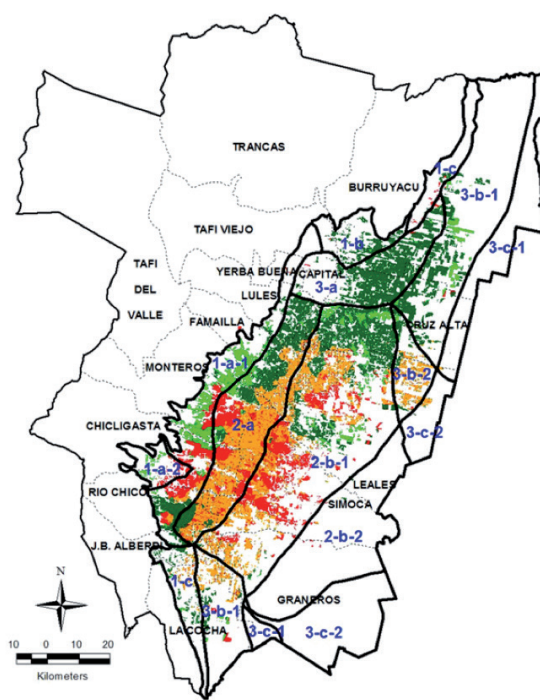


Figura 5. Integración de los mapas de MOS y pH en el área cañera de Tucumán. 1: Pedemonte. 1-a-1: Húmedo y perhúmedo de suelos automorfos. 1-a-2: Húmedo y perhúmedo de suelos hidromorfos. 1-b: Subhúmedo húmedo. 1-c: Subhúmedo seco. 2: Llanura Deprimida. 2-a: No salina u occidental. 2-b-1: Salina u oriental seca subhúmeda. 2-b-2: Salina u oriental semiárida. 3: Llanura Chacopampeana. 3-a: Subhúmeda húmeda. 3-b-1: Seca subhúmeda no salina. 3-b-2: Seca subhúmeda salina. 3-c-1: Semiárida no salina. 3-c-2: Semiárida salina.

ácido. Sin embargo, se destaca en el sector sur, en el departamento Río Chico, la prevalencia de zonas de mayor producción en coincidencia con valores de MOS mayores a 1,5 y pH, sin limitaciones para el crecimiento del cañaveral.

En las subregiones correspondientes a la Llanura Chacopampeana, las bajas producciones podrían estar asociadas al déficit hídrico creciente hacia el este y a la baja estabilidad estructural de los suelos por el bajo contenido de limo, que genera condiciones propicias para escurrimientos superficiales de magnitud, que ocasionan procesos de erosión hídrica desde moderada a severa (Sanzano, 2019).

Finalmente, se destaca el predominio de zonas de mayor producción en las subregiones 3-a y 3-b-1 y sectores norte y sur de las subregiones 2-a y 2-b-1. Al analizar los valores de MOS y pH, se aprecia alta coincidencia con zonas sin limitaciones para ambas variables. Cabe destacar que las zonas mencionadas coinciden mayormente con la zona de expansión de los cañaverales hacia el norte, este y sur del área cañera tradicional, con

mayores probabilidades de ocurrencia de heladas y menores precipitaciones (Fandos *et al.*, 2023). También coinciden con departamentos que incluyen a productores o empresas cañeras de mayor escala económica y de base productiva diversificada (Benedetti *et al.*, 2019), con poder negociador en el mercado, situación que facilita la adopción de prácticas de manejo de cultivo que por su costo pueden resultar de difícil incorporación para explotaciones de menor escala.

CONCLUSIONES

La región agrológica con mayor concentración de superficie cañera es la Llanura deprimida, seguida por la Llanura Chacopampeana y por último, el Pedemonte.

Si bien las zonas de producción baja se disponen en toda el área cañera, se constata un predominio en el sector central, mayormente en los departamentos Simoca, Monteros y Chicligasta, en coincidencia con las subregiones 2-a y 2-b-1, donde prevalecen zonas con valores de MOS inferiores a 1,5%. Con respecto al pH, en la subregión 2-b-1 se constata predominio de pH de tipo alcalinos.

Las zonas de baja producción en el Pedemonte están fuertemente relacionadas con suelos que presentan un pH moderadamente ácido, especialmente en la subregión 1-a-1, en el departamento de Monteros.

Entre las prácticas recomendadas para los productores con suelos de baja productividad, se encuentran: conservar los residuos de la cosecha en la superficie del suelo en zonas con buen drenaje natural; agregar residuos orgánicos de la industria azucarera en forma de compost; implementar sistemas de drenaje en zonas con mal drenaje; evitar la quema de los cañaverales y fertilizar basándose en un balance de nutrientes.

Con respecto a las zonas de mayor producción, se destaca su prevalencia en las subregiones 3-a y 3-b-1, y sectores norte y sur de las subregiones 2-a y 2-b-1. En estas zonas los valores de MOS y pH indican alta coincidencia con zonas sin limitaciones para ambas variables. La metodología empleada puede contribuir a la identificación de zonas de diferente productividad y fertilidad en las distintas regiones agrológicas, lo que constituye una herramienta de gran utilidad para la elección de las prácticas agrícolas más adecuadas que aporten al mantenimiento de la sustentabilidad del sistema productivo cañero. Además, sirven como base para futuros estudios que incluyan otras variables agronómicas (como la frecuencia de quema o la época de cosecha), ambientales o económicas.

AGRADECIMIENTOS

Los resultados de este trabajo han sido presentados como ponencia oral en el XXXII ISSCT Congress, Cali, Colombia (23 al 28 de agosto de 2025).

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Arroyo, E.; A. Sanzano; H. Rojas Quinteros y Y. Navarro Di Marco. 2022. Estado de fertilidad de los suelos

cañeros de Tucumán, Argentina: materia orgánica, nitrógeno y pH del suelo. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 99 (1): 37-42.

Benedetti, P. E.; C. Morales y R. A. Moreno. 2019. Dinámica de plantación de caña de azúcar y rotación de cultivos a partir de sensores remotos, campaña 2018-2019. Ediciones INTA. Tucumán (consultado 26 octubre 2020). <https://inta.gob.ar/documentos/dinamica-de-plantacion-de-cana-de-azucar-y-rotacion-de-cultivos-a-partir-de-sensores-remotos-campana-2018-2019>.

Bertsch, F. 1987. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Oficina de publicaciones de la Universidad de Costa Rica: 7-15.

Calderón Puig, A.; D. Lara Franquíz y A. Cabrera Rodríguez. 2012. Confección de mapas temáticos para evaluar fertilidad del suelo en las áreas agrícolas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. *Cultivos Tropicales* 33: 11-18.

Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris *et al.* 2021. Reporte Agroindustrial 250 EEAOC. Relevamiento satelital de cultivos de la provincia de Tucumán (consultado 30 mayo 2022). <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=relevamiento-satelital-de-cultivos-en-la-provincia-de-tucuman>.

Fandos, C.; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y F. Soria. 2022a. Zonificación del área cañera tucumana según niveles de producción y relación con las regiones agrológicas y el índice de productividad de los suelos. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 99: 21-27.

Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y F. Soria. 2022b. Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2022 en Tucumán. Reporte Agroindustrial 250 EEAOC. Relevamiento satelital de cultivos de la provincia de Tucumán (consultado 20 junio 2022). <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=area-cosechable-y-produccion-de-cana-de-azucar-para-la-zafra-2022-en-tucuman>.

Fandos, C.; F. Soria; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y E. R. Romero. 2023a. Comparative analysis of the production levels in the traditional and expanding sugarcane in Tucumán province, Argentina. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists* 31: 111-117.

Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés y F. Soria. 2023b. Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2023 en Tucumán. Reporte Agroindustrial 278 EEAOC. Relevamiento satelital de cultivos de la provincia de Tucumán (consultado 30 junio 2023). <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=area-cosechable-y-produccion-de-cana-de-azucar-para-la-zafra-2023-en-tucuman>.

Gaitán, J.; A. Wingeyer y P. L. Peri. 2023. Mapa de almacenamiento de C en los suelos de la R. Argentina (consultado 12 julio 2023). https://www.researchgate.net/publication/370124999_Mapa_de_almacenamiento_de_C_en_los_suelos_de_la_Republica_Argentina.

Romero, J. I.; A. Sanzano; E. R. Romero *et al.* 2018. Extracción y balance de macronutrientes en caña

de azúcar con riego por goteo y en secano. Informaciones Agronómicas de Hispanoamerica I. A. 30: 8-13.

Santillán, J.; E. Scala; B. Nestasio; J. Valdez I' Perea y S. Bas Nahas. 2012. Plan de Desarrollo Territorial de Tucumán (consultado 10 febrero 2014). <https://>

www.rides.producciontucuman.gov.ar.

Sanzano, A. 2019. Suelos productivos de Tucumán, buenas prácticas. Avance Agroindustrial 40: 30-40.

Zuccardi, R. B. y G. S. Fadda. 1985. Bosquejo Agrológico de la Provincia de Tucumán. Miscelánea 86, pp. 63. Facultad de Agronomía y Zootecnia de la UNT.





**ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES**

Tucumán | Argentina