



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; Sanzani 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)

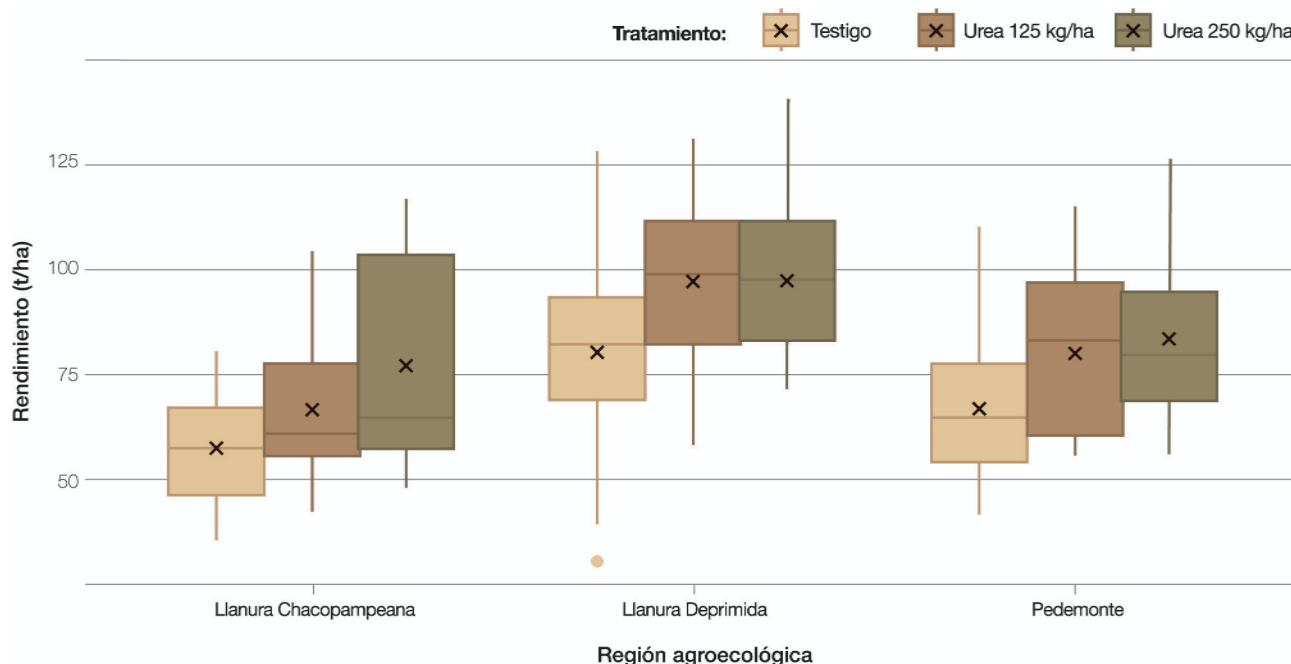


Figura 1. Rendimiento promedio bajo los diferentes niveles del factor fertilización en cada región agroecológica.

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.gob.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.