



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 100 (2):
3-11; 2023



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

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

Respuesta de cañas socas de edad avanzada a la refertilización con fósforo en Tucumán, Argentina

Juan Ignacio Romero*, Esteban Arroyo*, Agustín Sanchez Ducca**, Andrea Peña Malavera***, Agustín Sanzano*, Eduardo R. Romero**

*Sección Suelos y Nutrición Vegetal; ** Sección Caña de Azúcar, EEAOC; *** ITANOA

RESUMEN

En caña de azúcar, mantener niveles adecuados de fósforo (P) disponible en el suelo resulta esencial para obtener altos rendimientos. Un cañaveral deficiente en P presenta un retraso general en el crecimiento, con tallos y entrenudos delgados y cortos, y un pobre macollaje. En Tucumán, los valores críticos de P (Bray-Kurtz II) establecidos son 25 ppm (respuesta probable) y 13 ppm (respuesta segura). En estas situaciones de bajo P, tradicionalmente se fertiliza aplicando en el fondo del surco de plantación una dosis suficiente para cuatro a cinco cosechas. Esta práctica aprovecha el comportamiento residual del P en el suelo y permite simplificar la logística de fertilización. Aproximadamente un 20% del área cañera de la provincia presenta valores de entre 13 y 25 ppm. Los balances de P estimados localmente en cañaverales de buena producción fueron negativos luego de cinco cosechas a pesar de haber sido fertilizadas según la recomendación vigente. Por lo tanto, las últimas campañas o ciclos de un cañaveral (socas avanzadas) podrían verse limitadas en su crecimiento por falta de P. Ante esta situación, la refertilización con P podría ser una práctica favorable.

En Tucumán y en Argentina no se dispone de información sobre al efecto de la re aplicación de P en socas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de dicha práctica en los rendimientos de socas de edad avanzada, planteando en este caso una estrategia de fertilización bianual (usando una dosis de P suficiente para dos campañas) y con aplicación incorporada y superficial. La re fertilización con P generó respuestas significativas en los rendimientos culturales. El P manifestó efecto residual en las socas posteriores a la de su aplicación y permitió incrementar la vida útil del cañaveral. La aplicación superficial generó respuestas similares a la aplicación incorporada.

Palabras clave: nutrición, longevidad.

ABSTRACT

Phosphorus reapplication effect on sugarcane old ratoons at Tucumán, Argentina

Maintaining adequate soil phosphorus levels is essential to achieve high sugar cane yield. Phosphorus (P) deficiency results in general stunting, with short and thin stalks and internodes, and poor tillering.

Established critical P values in Tucumán (Bray-Kurtz II) are 25 ppm (probable response) and 13 ppm (certain response). P deficiency is traditionally fertilized with a dose calculated for a number of four or five harvests, locating it at the bottom of the plantation furrow. This practice takes advantage of the P residual behavior in soils to simplify fertilization logistics.

Approximately 20% of the province's sugarcane area has P values between 13 and 25 ppm. Locally estimated P balance in high-yielding sugarcane fields resulted negative after five harvests despite having been fertilized according to the current recommendation. Therefore, the oldest ratoons could be limited in their growth due to a lack of P. In this situation, P re-fertilization could be a good practice.

In Tucumán, and in Argentina, there is no information about the effect of P reapplication in ratoon sugarcane. The aim of this study was to evaluate the P re-fertilization effect on older ratoon yield. A biannual P fertilization strategy was assessed (adding a dose enough for two growth cycles) trying both incorporated and surface applications. P re-fertilization significantly increased sugar cane yield and ratoon longevity. P residual effect was observed. Similar effects were seen at both incorporated and surface applications.

Key words: nutrition, longevity.

Fecha de
recepción:
30/05/2022

Fecha de
aceptación:
30/06/2023

INTRODUCCIÓN

Para avanzar hacia una mejor integración entre producción agrícola y sustentabilidad se requiere, entre otras estrategias, un continuo ajuste en el manejo de la fertilización de los cultivos (Manschadi *et al.*, 2014).

El fósforo (P), después del nitrógeno (N), es el segundo nutriente limitante de la productividad agrícola a nivel mundial. Se trata de un recurso natural no renovable y además su eficiencia de uso por los cultivos es muy baja debido a la limitada solubilidad y movilidad en el suelo (Fixen and Bruulsema, 2014).

Su ciclo en los agrosistemas es relativamente cerrado, siendo las principales salidas la exportación por cosecha y la erosión, y la única vía importante de reposición es la fertilización o la aplicación de enmiendas orgánicas (Stauffer y Sulewski, 2003).

En el cultivo de caña de azúcar, mantener niveles adecuados de P disponible resulta esencial para obtener altos rendimientos (Rice *et al.*, 2006). Un cañaveral deficiente en P presenta un retraso general en el crecimiento, con tallos y entrenudos delgados y cortos, y un pobre macollaje (Romero *et al.*, 2009; Meyer, 2013; Vitti *et al.*, 2005; Kingston, 2013). El desarrollo del sistema radical es lento, y la expansión del área foliar es limitada, lo que genera un retraso en el cierre del cultivo (Kingston, 2013; Mollier and Pellerin, 1999).

La deficiencia suele observarse con mayor frecuencia en cañas socas, y los síntomas de deficiencia tienden a incrementar con la edad. Típicamente, al ser un nutriente móvil en la planta, los síntomas aparecen primero en los tejidos viejos. Al afectar la expansión foliar en mayor magnitud que al contenido de clorofila, las plantas deficientes en P muestran hojas más angostas y de color verde más oscuro (Ciampitti, 2009; Kingston, 2013).

Durante la década del 90, a partir de varios ensayos realizados en Tucumán (Pérez Zamora *et al.*, 1999; 2002; Pérez Zamora, 2015) se establecieron tres rangos o situaciones diferenciadas de disponibilidad de fósforo para el cultivo de caña de azúcar. Según los valores de P extractable (Bray-Kurtz II) determinados en los suelos, estos se clasifican en contenidos bajos, medios y altos. Contenidos menores a 13 ppm se asociaron con una respuesta "segura" a la fertilización fosfatada; contenidos medios (13-25 ppm) con una respuesta "probable"; y se observó "nula" respuesta en suelos con más de 25 ppm en el suelo.

En lotes con bajos niveles de P, tradicionalmente la fertilización fosfatada en Tucumán consiste en aplicar en el fondo del surco de plantación el P en una sola dosis, en una cantidad suficiente para cuatro a cinco cosechas, según la vida económica del cañaveral (Pérez Zamora *et al.*, 2002; Romero, 2009). Esta práctica aprovecha el comportamiento residual del fósforo en el suelo (García, 2003; Fontanetto *et al.*, 2003; Sucunza *et al.*, 2018) y permite simplificar la logística de fertilización en estos lotes, permitiendo que en las socas sucesivas solamente sea necesaria la aplicación de N. Las dosis de P recomendadas hoy para Tucumán varían entre 20 y 35 kg de P_2O_5 /ha*año⁻¹ en función del nivel de fósforo en suelo (Bray-Kurtz II) y del rendimiento esperado. Estas dosis fueron establecidas siguiendo el criterio de suficiencia (Pérez Zamora *et al.*, 2000; 2002; Romero *et al.*, 2009; García *et al.*, 2009).

El mapa de fósforo (Bray-Kurtz II) del área cañera de Tucumán señala aproximadamente 10.000 ha con niveles de P menores a 13 ppm y alrededor de 44.000 ha con valores de entre 13 y 25 ppm, principalmente en el área noreste de la provincia que representan, aproximadamente, un 20% del área cañera de la provincia (Sanzano *et al.*, 2017; Arroyo *et al.*, 2019).

En experiencias locales, en un cañaveral sobre un suelo con bajos niveles de P, Romero *et al.* (2022) estimaron balances negativos de P luego de cinco cosechas, a pesar de haber sido fertilizadas según la recomendación vigente. Las pérdidas incrementan considerablemente si se elimina el residuo agrícola de cosecha (RAC). De este modo, cañaverales de alta productividad en suelos con bajos niveles de P y en situaciones de quema del RAC pueden mostrar balances de P negativos, aun habiendo sido fertilizados con P en la plantación; así, las últimas socas podrían verse limitadas en su crecimiento por falta de este elemento. Zambrosi (2020) planteó el mismo cuestionamiento en Brasil.

Ante esta posibilidad, en cañaverales de edad avanzada ubicados en sitios con baja disponibilidad de P surge la duda sobre la conveniencia de refertilizar con P o hacerlo ya luego del descepe en la renovación del cañaveral.

Uno de los mayores desafíos para la producción de caña de azúcar es incrementar la longevidad del cañaveral, es decir, prolongar su vida económica. Esto permitiría amortizar la inversión de la plantación en un mayor número de cosechas, entre otros beneficios operativos, logísticos y ambientales.

En Tucumán es frecuente la renovación de los cañaverales aproximadamente a los cinco años de su implantación para mantener una producción económica (Acevedo, 1981). Considerando como umbral para determinar la renovación un rendimiento cultural de entre 55-60 t/ha (valor variable en función del potencial de cada lote), las características de la campaña culminada, el estado de la cepa (población) y la relación de precios, entre otros.

Entre las prácticas clave para lograr cañaverales más longevos (control de malezas, control de daños en cosecha, mantenimiento de la maloja en superficie, semilla de alta calidad, riego por goteo, etc.), una fertilización adecuada a las necesidades de cada lote y variedad, que combine productividad y sustentabilidad, resulta necesaria.

Un correcto manejo de la fertilización fosfatada en lotes con niveles deficitarios, adoptando estrategias que contribuyan a mejorar la eficiencia de absorción de P por el cultivo, mejoraría los niveles productivos de las socas posteriores y la longevidad de la cepa. Zambrosi (2020) destacó que la estrategia de una sola aplicación de altas dosis de P en el surco de plantación podría no ser suficiente para mantener un adecuado status nutricional y elevados niveles de producción en las socas viejas.

En Tucumán, y en Argentina no se encuentra información sobre al efecto de la reaplicación de P en socas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de dicha práctica en los rendimientos de socas de edad avanzada, planteando en este caso una estrategia de fertilización bianual (usando una dosis de P suficiente para dos campañas) y con aplicación incorporada y superficial.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se estableció en la campaña 2018-19, en un lote de edad soca 4 de la variedad LCP 85-384 ubicado en la localidad de Taco Palta, departamento Burruyacú -Tucumán (26°47'00" S; 65°02'00" O). La cosecha fue mecanizada en verde con mantenimiento del RAC en superficie. El suelo presentó textura franca, pH 6,2; 0,4 dS/m de conductividad eléctrica (CE), y no presentó concentraciones significativas de carbonato de calcio. El contenido de materia orgánica determinado fue de 1,8% y el contenido de P extractable (Bray-Kurtz II) de 10,8 ppm. Este valor se encuentra dentro del rango de "respuesta segura" (deficiencia) al agregado de P (Pérez Zamora *et al.*, 2002; 2015; Romero *et al.*, 2009).

Se realizó un ensayo en microparcels (cada una de cinco surcos por 10 m de largo), en un diseño en bloques completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Considerando el comportamiento residual del P como una ventaja operativa, los tratamientos fueron planteados para dos campañas consecutivas, aplicando una dosis de P suficiente para cubrir la necesidad de dos ciclos en un suelo de estas características (siguiendo la recomendación vigente). Se usaron dos fuentes de P: superfosfato triple (SFT) y un fertilizante compuesto que contiene principalmente N y P, pero además aporta potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S). La fuente nitrogenada en este fertilizante es nitrato de amonio cálcico (CAN). En el ciclo correspondiente a soca 5 sólo se fertilizó con nitrógeno (CAN o urea), sin aporte de P.

Los tratamientos aplicados en las dos campañas sucesivas se muestran en la Tabla 1.

En la campaña 2018-19 se registraron precipitaciones acumuladas de 1400 mm, valor superior a la media de dicha localidad (1045 mm). En la campaña 2019-20 las precipitaciones sumaron aproximadamente 1050 mm, pero con registros inferiores a las medias en la primavera y el verano (Fuente: agromet.eeaoc.gob.ar). Además, en enero 2020 (soca 5) se registró la ocurrencia de granizo en todo el ensayo, afectando el área foliar del cañaveral.

El súper fosfato triple (SFT) y la urea se aplicaron incorporados en la costilla del surco utilizando herramientas manuales (azada), mientras que el fertilizante compuesto y el CAN se aplicaron manualmente en la línea del surco sobre la maloja, de acuerdo con las recomendaciones comerciales.

En la campaña 2018-19 (soca 4), los tratamientos se aplicaron el 23 de noviembre de 2018 y la cosecha se realizó el 28 de mayo de 2019. En la edad de soca 5, los

tratamientos se aplicaron el 31 de octubre de 2019 y se cosechó el ensayo el 2 de junio del 2020.

En los meses de enero y febrero, en ambas campañas se realizaron mediciones de altura de tallos hasta la hoja +1 (15 tallos al azar por parcela), de intercepción de la radiación incidente, y se efectuó un análisis foliar del contenido de nutrientes en todas las parcelas.

Para la medición de la intercepción de radiación incidente se utilizó un ceptómetro cuya barra tiene 1 m de largo. Para la medición en caña de azúcar cultivada en surcos distanciados a 1,60 m se colocó la barra al nivel del suelo con un ángulo de 35° respecto a la línea perpendicular al surco, de manera que la barra abarcara desde el centro de la trocha hasta el centro del surco (80 cm). En cada parcela se realizaron cinco mediciones a cada lado del surco central. Además, en cada parcela se midió la radiación total incidente, colocando la barra por encima del dosel del cultivo. Luego, por diferencia entre la radiación total incidente y la radiación interceptada a nivel de suelo se calculó, para cada parcela, el porcentaje de intercepción de radiación incidente.

Para determinar los contenidos foliares de N y P fueron cortadas treinta hojas +1 por parcela y llevadas al Laboratorio de Suelos de la EEOC para su análisis.

A fines de mayo y principios de junio de ambas campañas se realizaron las mediciones del número de tallos por metro (conteo de 10m lineales en los tres surcos centrales de cada parcela) y del peso de tallos (tres submuestras de 15 tallos consecutivos por parcela) de los diferentes tratamientos para la estimación del rendimiento cultural (Figuras 5 a 10). Además, en dichas muestras de tallos se analizaron los parámetros de calidad de jugo (Tabla 4).

En la campaña 2020-21 se decidió continuar el ensayo un ciclo productivo más (soca 6), incluyendo modificaciones en algunos tratamientos, como se muestra en la Tabla 2.

Los tratamientos se aplicaron el 30 de noviembre de 2020 y fueron cosechados el 1 de junio del 2021.

Todos los tratamientos recibieron la misma fuente y dosis de N (CAN), excepto T2 que se mantuvo con urea y una dosis de 85 kgN/ha.

A T1, después de dos campañas sin ninguna fertilización se le agregó N y P. En T3, después de recibir 60 kg de P₂O₅ en soca 4 pero registrando dos cosechas de muy bajo rendimiento, se agregó solo N, esperando ver un efecto de P residual.

Por otra parte, T4 y T5 recibieron nuevamente N y P, como en edad de soca 4, pero esta vez con fuente y do-

Tabla 1. Tratamientos de fertilización evaluados en caña de azúcar en edad de soca 4 y soca 5. Taco Palta, departamento Burruyacú. Tucumán-Argentina.

	Soca 4 – Campaña 2018-19				Soca 5 – Campaña 2019-20		
	Tratamiento	Producto	Dosis Nutriente (kg/ha)		Tratamiento	Producto	Dosis Nutriente (kg/ha)
T1	0	----	0	→	0	----	0
T2	N	Urea (3 kg/surco)	85 N	→	N		85 N
T3	P	SFT (2,1 kg/surco)	60 P ₂ O ₅	→	P residual	----	0 P ₂ O ₅
T4	N+P	Urea + SFT (3+2,1 kg/surco)	85 N+60 P ₂ O ₅	→	N+P residual	Urea (3kg/surco)	85 N
T5	N+P (K+S+Mg)	fertilizante compuesto (5,7 kg/surco)	75 N + 60 P ₂ O ₅ (10K,14S,3Mg)	→	N+P residual	CAN (3kg/surco)	50 N

Tabla 2. Tratamientos aplicados en la soca 6 (2020-21). Taco Palta, departamento Burruyacú. Tucumán, Argentina.

Tratamiento	Producto	Dosis Nutriente (kg/ha)
T1 N+P	CAN + SFT (3 + 1,4 kg/surco)	50 N + 40 P ₂ O ₅
T2 N	Urea (3kg/surco)	85 N
T3 N (+Presidual)	CAN (3kg/surco)	50 N
T4 N+P	CAN + SFT (3 + 1,4 kg/surco)	50 N + 40 P ₂ O ₅
T5 N+P (K+S+Mg)	Fertilizante compuesto (3,8 kg/surco)	50 N +40 P ₂ O ₅ (7K,9S,2Mg)

sis idénticas de N, y una dosis de P menor, resultante de igualar dosis de N entre CAN y el fertilizante compuesto. Esta dosis de P aportada superaba ligeramente la dosis anual recomendada para ese suelo.

Análisis estadístico

Para las variables medidas se ajustaron modelos lineales, con efectos fijos de tratamiento y bloque. Las medias de los tratamientos se compararon mediante el test LSD de Fisher ($p < 0,05$). Se analizó cada año por separado (Figuras 1-10 y Tablas 3 y 4).

Para el rendimiento cultural se ajustó un modelo lineal mixto para los tres años de evaluación de manera conjunta, con efectos fijos de tratamiento y bloque, con un efecto aleatorio de parcela (medidas repetidas sobre la parcela). La comparación de medias se realizó mediante el test LSD de Fisher (Figura 11).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de tallos e intercepción de la radiación

En lo que respecta a la altura de tallos y la intercepción de la radiación (Figuras 1 a 4), se observa que en ambas campañas estas variables tuvieron una tendencia similar con algunas diferencias. En la soca 4, año en que se aplicó el fósforo, T4 y T5 superaban significativamente a los demás tratamientos, mostrando un efecto sinérgico entre ambos nutrientes (N y P). En la soca 5, con fósforo residual en T3, T4 y T5, y menor altura en general respecto al ciclo previo, solamente T5 (N+Presid) superaba significativamente en altura a T2 (N), el que a su vez igualaba a T4 (N+Presid) en esa etapa. Pero sí se marcó una superioridad clara respecto a los tratamientos sin N (T1 y T3), que mostraban claros síntomas de deficiencia de este nutriente.

Respecto a la intercepción de radiación (IR), se puede destacar, por un lado, los mayores valores medidos en los tratamientos con fertilización nitrogenada (T2, T4 y T5) respecto a los que no recibieron N (T1 y T3).

En cuanto al aporte del P, los mayores valores de IR observados en T4 y T5 (N+P) respecto a T2 (N) reflejan el desarrollo de una mayor área foliar en respuesta al agregado de P (Mollier and Pellerin, 1999; Plénet *et al.*, 2000).

Estas diferencias fueron estadísticamente significativas en la edad de soca 4 pero no en la edad de soca 5 (Figuras 3 y 4).

Análisis foliar

Los resultados de los análisis de tejido foliar (Tabla 3) mostraron una clara respuesta al agregado de fósforo en la soca 4 y al fósforo residual en la soca 5 en los tratamientos T4 y T5. El tratamiento T3 no mostró diferencias estadísticas significativas respecto a T1 y T2 en la soca 5.

El valor de P foliar reportado como crítico para caña de azúcar en Tucumán y otras zonas cañeras del mundo es 0,16%-0,17% (Pérez Zamora, 1997; Pérez Zamora *et al.*, 1999; 2001).

Por lo tanto, sólo los tratamientos que recibieron P pudieron alcanzar ese valor. Los tratamientos T1 y T2 presentaron valores de deficiencia de P. La mejora en el estatus nutricional de P en la planta con la aplicación de P respalda la existencia previa de un suministro insuficiente de este elemento para el cultivo (Zambrosi, 2012). Zambrosi (2020) observó que la fertilización con P incrementó la concentración de este elemento en hojas y su absorción por el cultivo, mostrando esta última una relación positiva con los rendimientos alcanzados.

Cabe destacar que no se observaron diferencias en el contenido de P foliar entre T4 y T5, lo que indicaría que no hubo diferencias en la disponibilidad del P aplicado tanto en superficie sobre el surco (fertilizante compuesto) como incorporado en la costilla del surco (SFT). Este es un dato interesante, ya que por la baja movilidad y fuerte interacción que presenta el P en el suelo podría esperarse que su aplicación en superficie limitara la eficiencia de uso del fertilizante fosfatado por la caña soca (Zambrosi *et al.*, 2017). Sin embargo, el buen régimen de lluvias de la campaña 2018-19, sumado al mantenimiento de la humedad superficial gracias al RAC y la superficialidad del sistema radicular de las socas (Singh, 2013), puede haber favorecido la incorporación y absorción del P en los centímetros superficiales del suelo.

En la soca 5 el P foliar (Tabla 3) reflejó el efecto residual de este elemento en T4 y T5. Sin embargo, los contenidos de P en estos tratamientos fueron menores que los determinados en la soca 4.

En esta Tabla se observa que la respuesta al P fue mayor en la soca 4 (campaña en que se agregó el nutriente). En la soca 5 se observó el efecto residual del P (T4 y T5) pero las diferencias respecto al tratamiento N (T2) fueron menores. La mejor condición ambiental y/o dispo-

Tabla 3. Análisis Foliares de soca 4 (2018-19) y soca 5 (2019-20). Taco Palta, departamento Burruyacú, Tucumán.

Tratamiento	SOCA 4		SOCA 5	
	N% foliar	P% foliar	N% foliar	P% foliar
T1 (0 / 0)	1,83	0,14 (A)	1,45 (A)	0,14 (A)
T2 (N / N)	1,88	0,14 (A)	1,58 (AB)	0,14 (A)
T3 (P / 0)	1,76	0,16 (B)	1,48 (A)	0,15 (A)
T4 (N+P / N)	2,01	0,19 (C)	1,75 (C)	0,16 (B)
T5 (N+P / N)	1,94	0,19 (C)	1,73 (BC)	0,16 (B)
	p=0,6	p<0,005	p<0,005	p<0,005

nibilidad de N en la campaña en que se aplicó el fertilizante fosfatado posiblemente contribuyó a una mayor eficiencia agronómica del P aplicado (Syers *et al.*, 2008). Además, en la soca 5 (según lo expuesto previamente) es probable que la cantidad de P disponible, remanente luego de la absorción y extracción de la soca 4 y la interacción con el suelo, haya sido menor e insuficiente para cubrir totalmente los requerimientos de P.

Componentes del rendimiento - cosecha

La mayor disponibilidad y absorción de P por el cultivo genera un incremento en el macollaje y en el crecimiento de los tallos, alcanzando mayores rendimientos culturales (Sundara *et al.*, 2002).

La mejora en el estatus nutricional de P del cultivo (Tabla 3) en los tratamientos que recibieron aporte de N y P (T4 y T5) generó incrementos significativos en población (n° de tallos/m) y peso de tallos en la soca 4 (Figuras 5 y 7), poniendo de manifiesto la deficiencia de P en el sitio (Zambrosi, 2012) al comparar dichos tratamientos con T2 (N). En soca 5, las diferencias observadas de T4 y T5 (N+P residual) sobre T2 (N) en dichos componentes del rendimiento no fueron estadísticamente significativas (Figuras 6 y 8).

En la campaña 2018-19 (soca 4), T4 y T5 mostraron aumentos de producción del 37% y 52% respecto a T2 (N), y de casi 100% respecto al testigo sin fertilizar (T1). Los rendimientos alcanzados en dicha campaña fueron 42, 54, 50; 74 y 82 t/ha para T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente (Figura 9).

La diferencia entre T4 y T2 se debe al agregado de P (SFT), ya que la fuente y dosis de N fue la misma. En el caso de T5, que no se diferenció estadísticamente de T4, existen algunas otras posibles contribuciones a la gran respuesta obtenida en soca 4, además de la sinergia entre N y P. Algunas de ellas pueden ser la combinación de fuente y dosis de N utilizada (Leggio Neme *et al.*, 2018), la fuente de P y el aporte de otros nutrientes como azufre (S), potasio (K) o magnesio (Mg) presentes en ese producto comercial, que en la dosis utilizada implicó un aporte de 14, 10 y 3 kg/ha, respectivamente.

La respuesta al N (T2 vs T1) fue un incremento de 29%, y la respuesta al agregado de P solo (T3 vs T1) fue de 19%. El agregado combinado de N+P (T4 y T5 vs T1) generó respuestas de 76% y 95%, evidenciando el efecto sinérgico del agregado de N y P en dicha campaña (soca 4).

En la campaña 2019-20 (soca 5), los componentes del rendimiento de todos los tratamientos presentaron menor magnitud respecto a la campaña previa (Figuras 6 y 8). La población de tallos fue el componente proporcionalmente más afectado. La caída de productividad fue especialmente marcada en los tratamientos sin N por segundo año consecutivo (T1:-45% y T3:-40%). Los tratamientos fertilizados con N (T2, T4 y T5) se diferenciaron estadísticamente de los tratamientos sin N (T1 y T3).

Además del posible efecto del envejecimiento de la cepa (edad), esta campaña contó con menor aporte de lluvias y de una peor distribución de las mismas respecto a 2018-19 (datos no mostrados). Por otro lado, en el mes

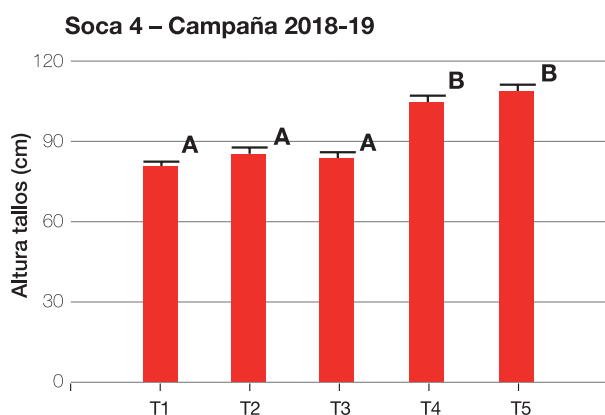


Figura 1. Altura de tallos. 29/01/2019. $p < 0,0001$.

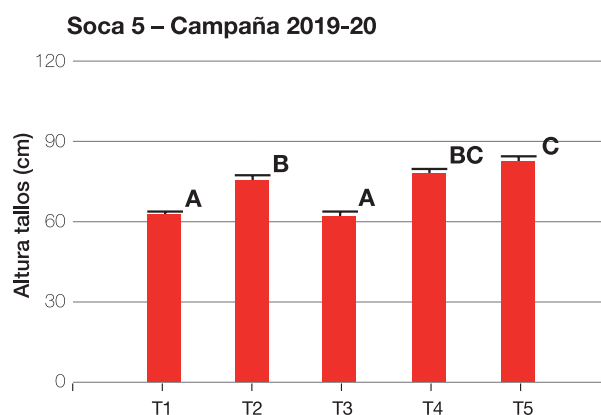


Figura 2. Altura de tallos. 15/01/2020. $p < 0,0001$.

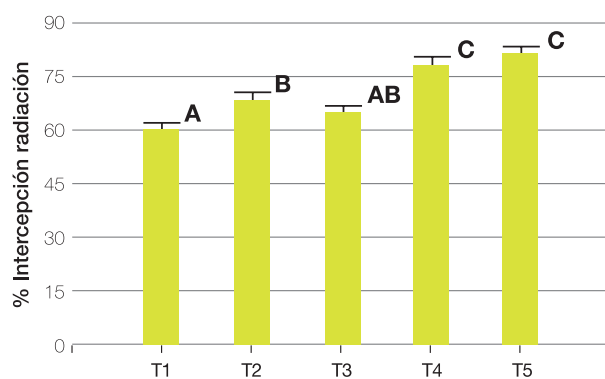


Figura 3. Porcentaje de intercepción de radiación. 29/01/2019. $p < 0,0001$.

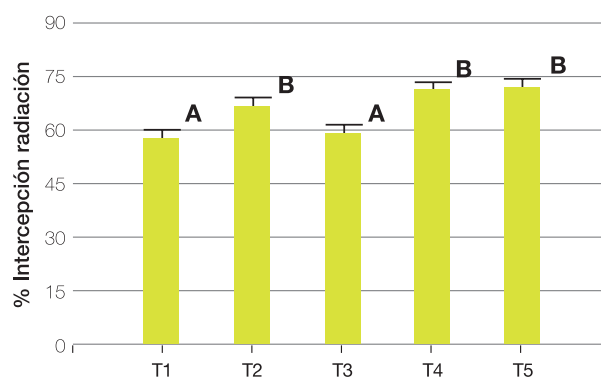


Figura 4. Porcentaje de intercepción de radiación. 03/02/2020. $p = 0,0014$.

Soca 4 – Campaña 2018-19

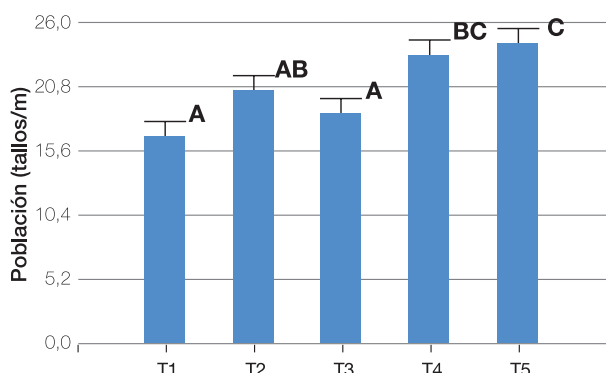


Figura 5. Número de tallos por metro lineal de surco ($p=0,0041$).

Soca 5 – Campaña 2019-20

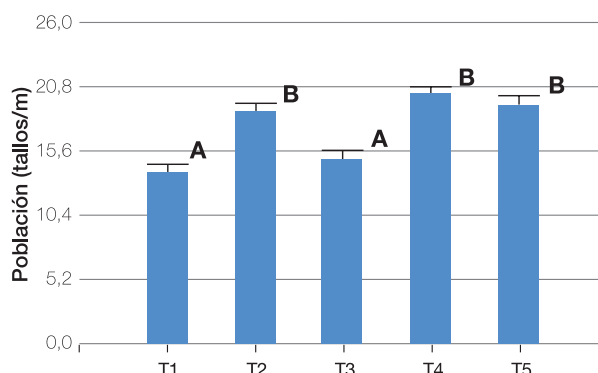


Figura 6. Número de tallos por metro lineal de surco ($p<0,0001$).

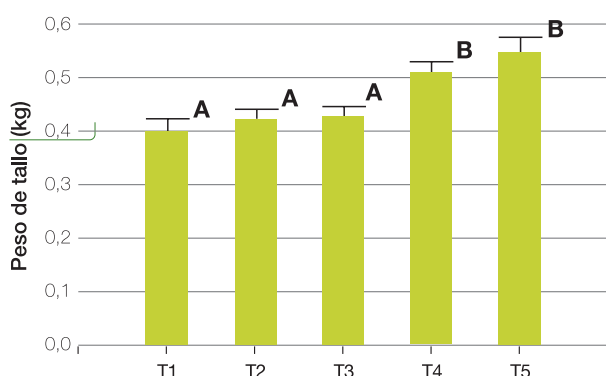


Figura 7. Peso de tallo promedio de cada tratamiento. Junio 2019 ($p=0,0028$).

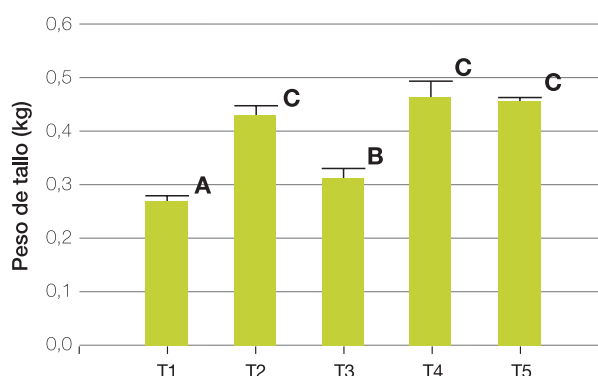


Figura 8. Peso de tallo promedio de cada tratamiento. Junio 2020 ($p<0,0001$).

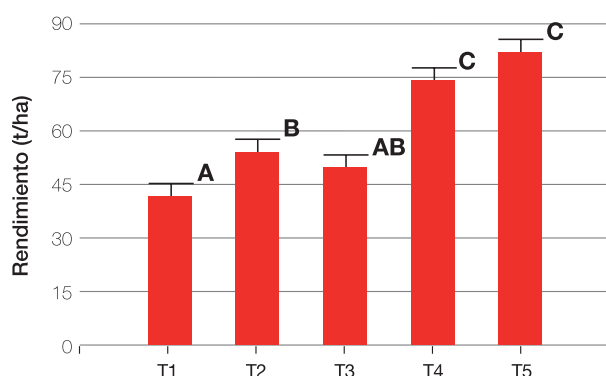


Figura 9. Rendimiento Cultural de caña (t/ha) de cada tratamiento ($p<0,0001$).

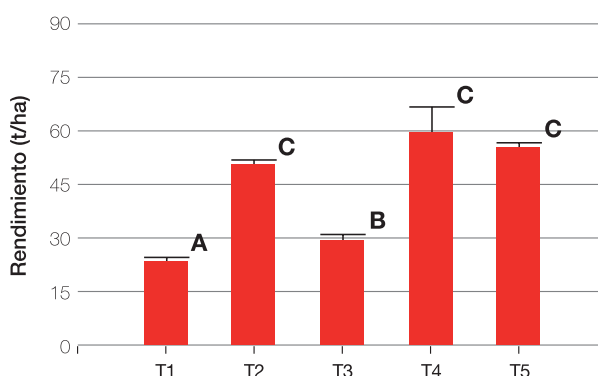


Figura 10. Rendimiento Cultural de caña (t/ha) de cada tratamiento ($p<0,0001$).

de enero cayó granizo en el lote del ensayo que afectó parcialmente el follaje de las parcelas y así retrasó el crecimiento del cultivo.

En esta segunda campaña, a pesar de las diferencias en P foliar (Tabla 3), los rendimientos culturales de T4 y T5 no se diferenciaron estadísticamente del de T2. Sin embargo, en la Figura 10 se observa que los rendimientos promedio de T4 y T5 (con P residual) resultaron 18% y 10% superiores al de T2 (N).

A la vez, llama la atención que la caída de producción de T2 (N) de soca 4 a soca 5 fue solo de un 5%, mientras que la caída de T4 (N+P) fue de 20%, habiendo recibido ambos tratamientos el mismo aporte de N en ambas campañas.

Según Blake *et al.* (2003), el efecto residual de la fertilización con P depende principalmente del balance de P y de la capacidad de adsorción del suelo.

Romero *et al.* (2020) determinaron en Tucumán que la extracción de P de la variedad LCP 85-384 es de 0,14 kg P/t de caña, lo que equivale a 0,32 kg P₂O₅/t. Según este valor, con un rendimiento cultural de 82 y 74 t/ha para T5 y T4, la extracción de P de la soca 4 fue de 26 y 24 kg de P₂O₅/ha, respectivamente. Además, según los autores, aproximadamente un 34% del P absorbido permanece en el RAC, sumando entonces otros 13 kg de P₂O₅/ha, que volverán al sistema cuando se mineralice dicho residuo (Romero *et al.*, 2020). Por lo tanto, alrededor de 40 kg de P₂O₅ (de los 60 kg aplicados) fueron absorbidos en

la soca 4, y si bien 13 de ellos se reciclarán en el sistema, no estarían disponibles para el cultivo inmediatamente.

Digonzelli *et al.* (2015), estudiando la descomposición del RAC durante cuatro campañas, observaron que en promedio la cantidad de RAC (materia seca) disminuyó 43-60% en un ciclo productivo, pero que la concentración de P en el residuo al final del ciclo se incrementó un 15% respecto al valor inicial, por lo que podríamos estimar que menos del 50% del P en el RAC se libera en un ciclo productivo. Por otro lado, Syers *et al.* (2008) establecieron que el P residual contribuye a la reserva fácilmente disponible para la planta, pero que su tasa de liberación puede no ser suficiente para mantener el valor crítico requerido para cumplir con los requisitos de P de los cultivares de alto rendimiento.

Podríamos entonces inferir que el P disponible para la edad de soca 5 (2019-20) haya sido menos que en soca 4, pudiendo haber resultado una cantidad limitante para los rendimientos alcanzables en un suelo con niveles de P extractable inferiores al crítico para el cultivo.

Debe tenerse en cuenta la baja eficiencia de recuperación que tiene el P de los fertilizantes, que varía entre 5% y 25% en una campaña productiva (Morel and Fardeau, 1989; Benbi and Biswas, 1999; Stewart, 2007; Syers *et al.*, 2008). Zambrosi (2020) determinó que la eficiencia de recuperación (ER) del P del fertilizante no depende ni de la dosis aplicada ni de la edad de la cepa, y obtuvo una ER promedio de 23%. El resto del fertilizante es retenido por la matriz del suelo, y eventualmente puede estar disponible para los cultivos posteriores (Blake *et al.*, 2003).

Si sólo una pequeña porción del P en el cultivo viene del P aplicado, entonces el resto proviene de las reservas de P del suelo (Roberts and Johnston, 2015). Syers *et al.* (2008) sugirieron que la absorción por el cultivo del P de la reserva del suelo, en lugar del recién aplicado como fertilizante, es una forma igualmente eficiente de uso del P del fertilizante que cuando el P es absorbido directamente del fertilizante.

En el caso de T5, la menor respuesta en soca 5 (10% en lugar de 52%) puede deberse, además de lo anteriormente citado para el P, a una menor disponibilidad de N para el cultivo, ya que al fertilizarse en esta segunda campaña con 3 kg CAN/surco (respetando una recomen-

dación local vigente de usar isodosis de producto comercial para CAN y urea), T5 recibió 50 kg N/ha en lugar de los 75 kg N/ha recibidos en la soca 4; y aparentemente, en las condiciones del ensayo, no alcanzaron a cubrir los requerimientos de N del tratamiento. T4 y T2 recibieron 83 kg N/ha (urea) en ambas campañas.

Los resultados de Zambrosi (2020) sobre reaplicación de P en socas 3 y 4 revelaron que los efectos del P no dependen de la edad del cañaveral. El autor destacó una respuesta al P de 21% promedio respecto al tratamiento control.

Los resultados de la soca 5 evidenciaron el efecto residual del P. Al mismo tiempo, cuestionaron las dosis recomendadas (según criterio de suficiencia) para cubrir la necesidad de varias campañas en situaciones de suelos muy pobres en P, habiéndose observado una menor disponibilidad de P y una limitación en los potenciales productivos en la segunda campaña. La condición ambiental más adversa durante la soca 5, que limitó el crecimiento del cultivo, impidió expresar más claramente algunos efectos, al sumar otro factor de variación.

Con respecto a la calidad fabril, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los parámetros de calidad fabril analizados (Tabla 4).

En la soca 6 (datos no mostrados en gráfico), los rendimientos culturales (toneladas de caña por ha) fueron 54, 50, 55, 60 y 59 t/ha para T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente. Se destaca que los tratamientos T1 y T3 mostraron una importante recuperación tras ser refertilizados. Por su parte, T2, T4 y T5 mantuvieron la tendencia obtenida en los años anteriores (Figura 11). Recordemos que T4 y T5 en ese ciclo productivo recibieron la misma fuente y dosis de N.

En el balance de las 3 campañas (Figura 11) puede verse cómo T4 y T5 (con N y P desde la soca 4) mantuvieron rendimientos muy cercanos o superiores a las 60 t/ha en las tres campañas, mientras que T2 (solo con N) siempre tuvo producciones inferiores y cada vez menores.

La prolongación de la vida útil del cañaveral genera un importante beneficio económico para el productor, al permitir amortizar la importante inversión realizada en la plantación del cañaveral en un mayor número de campañas.

Tabla 4. Análisis estadístico de las variables de calidad Fabril de los jugos de caña de azúcar. Variedad LCP 85-384, soca 4 y 5. Taco Palta, Burreyacu. Fisher $p < 0,05$.

Tratamiento	SOCA 4			SOCA 5		
	Brix %	Pol% jugo	Calidad Fabril	Brix %	Pol% jugo	Calidad Fabril
0	17,14 A	14,69 A	8,9 A	21,8 B	19,5 A	12,07 A
N	17,14 A	14,42 A	8,63 A	21,23 A	19,06 A	11,78 A
P	17,33 A	14,76 A	8,85 A	21,51 AB	19,5 A	12,12 A
N+P	16,72 A	13,93 A	8,28 A	21,14 A	19,1 A	11,84 A
N+P (K+S+Mg)	16,95 A	14,33 A	8,6 A	21,7 AB	19,8 A	12,34 A
CV%	3,28	4,64	5,39	1,75	2,69	2,85
DMS	0,84	1,01	0,70	0,57	0,8	0,52

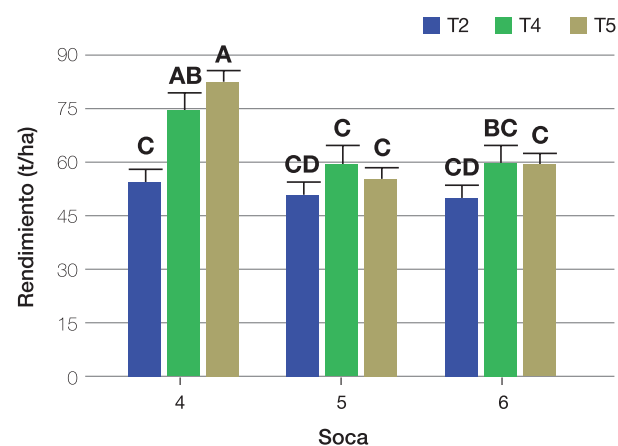


Figura 11. Rendimientos culturales medios (t/ha) por tratamiento y por edad de la cepa (soca). Letras diferentes hacen referencia a diferencias estadísticamente significativas. P-value Tratamiento = 0,0001

Si comparamos T2 con T4 y T5, vemos cómo el agregado de P incrementó los rendimientos, permitiendo prolongar la vida del cañaveral por tres cosechas más.

La recomendación de P para suelos con niveles deficitarios de este nutriente es aplicar dosis que al menos cubran la extracción por cosecha y que en lo posible la superen, buscando elevar poco a poco los niveles de P disponible en el lote para limitar al mínimo las pérdidas de productividad y longevidad del cañaveral por deficiencias de P.

La residualidad demostrada del P permite aplicar en un momento dado dosis elevadas para cubrir la necesidad de dos o más campañas, lo cual resulta una ventaja operativa importante. Sin embargo, debe seguir evaluándose la eficiencia de recuperación (kg P absorbido/kg P aplicado) y de uso (t caña/kg P) del P aplicado en campañas previas, así como el balance de P en el sistema para contar con más certezas en el armado de las estrategias de fertilización con P.

Esta información permitirá armar diferentes planes de fertilización fosfatada orientados a incrementar la longevidad del cañaveral de forma eficiente y sustentable, y a la vez adaptables a la situación económica del sector.

Los elevados niveles de respuesta al P observados en este ensayo, tanto en aplicación incorporada como en superficie, resultan muy interesantes dada la edad avanzada de este cañaveral e invitan a re analizar posibles estrategias de manejo de este nutriente.

Además, la posibilidad de hacer un aporte de P a las cañas socas sin la necesidad de incorporarlo al suelo, sino haciéndolo sobre el RAC, resulta en una importante herramienta técnica y operativa para el productor que puede facilitar la adopción de estas estrategias.

CONCLUSIONES

- La refertilización con P en socas de edad avanzada, fertilizadas con N, generó respuestas significativas en los contenidos foliares de este elemento y en los rendimientos culturales de caña de azúcar.

- El P manifestó efecto residual en las socas posteriores a la de su aplicación.

- El agregado de P al plan de fertilización de socas de edad avanzada, en suelos deficitarios de ese elemento, permitió incrementar la vida útil del cañaveral en dos a tres cortes adicionales.

- La aplicación superficial de P generó respuestas similares a la aplicación incorporada. La posibilidad de aplicar P en superficie implica una importante mejora operativa, pero debe evaluarse su eficiencia en las diferentes condiciones edafoclimáticas.

- Podrían plantearse mejoras en el manejo de la fertilización fosfatada orientadas a incrementar la productividad y longevidad del cañaveral de forma eficiente, operativa y sustentable.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Acevedo, A. 1981. Sepa plantar. Desarrollo Rural 1 (2): 11-19.

Arroyo, E.; A. Sanzano; H. C. Rojas Quinteros y J. P.

Navarro Di Marco. 2019. Distribución espacial de los contenidos de fósforo disponible en suelos del área cañera de Tucumán. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 96 (2): 01-06. ISSN 0370-5404.

Benbi, D. and C. Biswas. 1999. Nutrient budgeting for phosphorus and potassium in a long-term fertilizer trial. Nutrient Cycling in Agroecosystems 54: 125-132. [En línea] Disponible en <https://doi.org/10.1023/A:1009720103190>

Blake, L.; A. E. Johnston; P. R. Poulton and K. W. T. Goulding. 2003. Changes in soil phosphorus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods. Plant and Soil 254: 245-261.

Ciampitti, I. A. 2009. Dinámica del fósforo del suelo en rotaciones agrícolas en ensayos de nutrición a largo plazo. Tesis de Maestría en Ciencias del Suelo-FAUBA.

Digonzelli, P.; J. Fernández de Ullivarri; M. Medina; L. Tortora; E. R. Romero and H. Rojas Quinteros. 2015. Dynamics of Sugar Cane Harvest Residue Decomposition. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán 92 (1): 39-49.

Fixen, P. E. and T. W. Bruulsema. 2014. Potato Management Challenges Created by Phosphorus Chemistry and Plant Roots. American Journal of Potato Research, 91 (2): 121-131. [En línea] Disponible en <https://doi.org/10.1007/s12230-014-9374-z>

Fontanetto, H.; H. Vivas; R. Albrecht & J. L. Hotian. 2003. La fertilización con N, P y S y su residualidad en una secuencia agrícola de la región central de Santa Fe. I- efecto sobre el rendimiento de granos. INTA. [En línea] http://rafaela.inta.gov.ar/info/documentos/miscelaneas/100/misc100_8.pdf

García, F. O. 2003. Balance de nutrientes en la rotación: impacto en rendimientos y calidad de suelo. XI Congreso Nacional de AAPRESID, pp. 26-29.

García, F. O.; I. A. Ciampitti; G. Rubio y L. I. Picone. 2009. La Fertilización Fosfatada en la Argentina: Actualidad, Manejo y Perspectivas. Jornadas Nacionales Sistemas Productivos Sustentables: Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura. AACs Bahía Blanca.

Kingston, G. 2013. Mineral Nutrition of Sugarcane. Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology: 85-120. [En línea] Disponible en <https://doi.org/10.1002/9781118771280.ch5>

Leggio Neme, M. F.; L. G. Alonso; P. G. Fernández González; B. Luque; D. Quintana; V. Paredes y E. R. Romero. 2018. Evaluación del nitrato de amonio calcáreo como fertilizante nitrogenado en caña de azúcar en Tucumán, Argentina. Libro resúmenes de XI Congreso Atalac-Tecnicaña 2018.

Manschadi, A. M.; H. P. Kaul; J. Vollmann; J. Eitzinger and W. Wenzel. 2014. Developing Phosphorus-Efficient Crop Varieties-An Interdisciplinary Research Framework. Field Crops Research 162: 87-98.

Meyer, J. 2013. Sugarcane Nutrition and Fertilization. In: Meyer, J. H.; P. E. Turner; P. Rein and K. Mathias (Eds.), Good Management Practices for the Cane Industry.

- Mollier, A. and S. Pellerin. 1999.** Maize root system growth and development as influenced by P deficiency. *Journal Experimental of Botany* 50 (333): 487-497.
- Morel, C. and J. C. Fardeau. 1989.** Native soil and fresh fertilizer phosphorus uptake as affected by rate of application and P fertilizers. *PlantSoil* 115: 123-128. [En línea] Disponible en <https://doi.org/10.1007/BF02220702>
- Pérez Zamora, F. 1997.** Consideraciones sobre fertilizantes para la caña de azúcar. Guía práctica para su uso en Tucumán. Publicación Especial 13 – EEOC.
- Pérez Zamora, F.; J. Scandaliaris; R. Villegas; A. Menéndez y M. Morandini. 1999.** Criterios modernos para la fertilización de caña de azúcar en Tucumán. Publicación especial 14. EEOC.
- Pérez Zamora, F.; J. Scandaliaris; R. Villegas y G. Fadda. 2000.** Efecto de la fertilización fosfórica sobre los niveles productivos de caña de azúcar en Tucumán. XVII Congreso de Ciencia del Suelo, Mar del Plata 2000, Buenos Aires, Argentina.
- Pérez Zamora, F.; J. Scandaliaris; R. Villegas y G. Fadda. 2002.** Efecto de la fertilización fosfórica sobre los niveles productivos de caña de azúcar en Tucumán. *Informaciones Agronómicas* 46. IPNI, pp. 11-13. [En línea] Disponible en www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/90AC75D9F5709A29852579A300788FAA
- Pérez Zamora, F. 2015.** Caña de Azúcar. En: Echeverría, H. E. y F. García (Eds.), *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA.
- Rice, R.; A. Gilbert; and R. Lentini. 2006.** Nutritional requirements for Florida sugarcane. *Electronic Data Information Source (EDIS)*, Soil and Water Science Department, University of Florida (SS-AGR-228), pp. 1-8.
- Roberts, T. L. and A. E. Johnston. 2015.** Phosphorus Use Efficiency and Management in Agriculture. *Resources, Conservation and Recycling* 105: 275-81.
- Romero, E. R.; L. Alonso; S. Casen; F. Leggio Neme; J. Tonatto; J. Scandaliaris; P. Digonzelli; J. Giardina & J. Fernández de Ulivarri. 2009.** Fertilización de la caña de azúcar. Criterios y recomendaciones. En: Romero, E. R.; P. Digonzelli y J. Scandaliaris (Eds.), *Manual del Cañero*. EEOC. Tucumán. Argentina, pp. 87- 100.
- Romero, J. I.; F. Madrid; J. Navarro Di Marco; H. Rojas Quinteros; A. Sanzano y E. R. Romero. 2020.** Requerimiento y extracción de nutrientes de una variedad de caña de azúcar bajo riego por goteo y en secano en Tucumán-Argentina. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 97 (1).
- Romero, J. I.; F. Madrid; J. Navarro Di Marco; H. Rojas Quinteros; G. Juárez; R. Dellmans; A. Sanzano y E. R. Romero. 2022.** Balance aparente de macronutrientes en caña de azúcar con riego por goteo y secano en Tucumán-Argentina. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 99 (1): 53-60.
- Sanzano, G. A.; E. Arroyo; N. Aranda; H. Rojas Quinteros; F. Madrid & J. Di Marco. 2017.** Muestreo intensivo para determinar la fertilidad del área cañera de la provincia de Tucumán-Argentina. XIV Congreso Internacional sobre el azúcar y derivados. Cuba.
- Singh, P. 2013.** Ratooning Induced Rhizospheric Changes Impede Nutrient Acquisition and Growth in Sugarcane Ratoon Crop During Grand Growth Stage in Sub-tropics. *Sugar Tech* 15 (1): 52-64. [En línea] Disponible en doi: 10.1007/s12355-012-0189-2.
- Stauffer, M. y G. Sulewski. 2003.** Fósforo: Un nutriente esencial para la vida. Simposio: El Fósforo en la Agricultura Argentina. Buenos Aires, Argentina, pp. 4-7.
- Stewart, W. M. 2007.** Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas* 67 (7).
- Syers, J. K.; A. E. Johnston and D. Curtin. 2008.** *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 18. FAO-UN, pp. 107.
- Sucunza, A.; F. Gutiérrez Boem; F. O. García; M. Boxler y G. Rubio. 2018.** El balance de P del suelo determina los cambios en el nivel de fósforo extraíble. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 30, pp. 23-29.
- Sundara, B.; V. Natarajan and K. Hari. 2002.** Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. *Field Crops Research* 77 (1): 43-49.
- Vitti, G.; F. Campos; R. Otto & T. Quintino. 2005.** Nutricao e adubacao da cana-de-açucar, pp. 78. [En línea] Disponible en www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti_000fh3r3vzp02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf
- Zambrosi, F. C. B. 2012.** Adubação com Fósforo em Cana-Soca e sua Interação com Magnésio. *Bragantia* 71(3): 400-405.
- Zambrosi, F. C. B.; R. Vasconcelos Ribeiro; E. Caruso Machado and J. C. Garcia. 2017.** Phosphorus deficiency impairs shoot regrowth of sugarcane varieties. *Experimental Agriculture* 53 (1): 1-11. [En línea] Disponible en doi: 10.1017/S0014479715000290.
- Zambrosi, F. C. B. 2020.** 'Phosphorus Fertilizer Reapplication on Sugarcane Ratoon: Opportunities and Challenges for Improvements in Nutrient Efficiency., *Sugar Tech*. Springer India 23 (3): 704-708. [En línea] Disponible en doi: 10.1007/s12355-020-00925-9.