



Revista Industrial
y Agrícola de
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea
1851-3018

Tomo 99 (1):
53-60; 2022



ESTACION EXPERIMENTAL
AGROINDUSTRIAL
OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

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

Balance aparente de macronutrientes en caña de azúcar con riego por goteo y seco en Tucumán-Argentina

Juan I. Romero*, Fabián Madrid*, Jessica Navarro Di Marco*, Hugo Rojas Quinteros*, Gabriela Juárez**, Raquel Dellmans**, Agustín Sanzano* y Eduardo R. Romero***.

* Sección Suelos y Nutrición Vegetal; ** Sección Química de Productos Agroind.; *** Sección Caña de azúcar, EEAOC.
Email: jromero@eeaoc.org.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estimar el balance aparente de los macronutrientes N, P, K, Ca y Mg de un ciclo económico típico de cinco años de caña de azúcar, en condiciones de seco y con riego por goteo, en la localidad de Overo Pozo, departamento Cruz Alta, Tucumán, Argentina. La variedad utilizada fue LCP 85-384. Se estableció un ensayo de dos tratamientos (goteo y seco), con cinco repeticiones en un diseño totalmente aleatorizado. La fertilización durante el ciclo del cultivo consistió en una única aplicación de 97 kg/ha de P_2O_5 y cuatro aplicaciones de 90 kg N/ha (no se fertilizó la caña planta). Se realizó cosecha en verde, manteniendo el residuo agrícola de cosecha (RAC) en superficie. Se determinó la extracción de nutrientes ($kg \cdot t^{-1}$) por cosecha en las socas 1, 2, 3 y 4. A partir de estos datos se estimó el balance aparente de nutrientes de un ciclo de cinco años para riego y seco. Los balances estimados fueron negativos para ambos tratamientos. Las pérdidas fueron marcadamente superiores en el riego por goteo. Dichos balances resultaron en -90,-23,-1252,-49,-60 kg/ha y -14,-11,-889,-28,-41kg/ha de N, P, K, Ca y Mg para riego por goteo y seco, respectivamente. La eliminación del RAC de los lotes genera pérdidas de nutrientes mucho mayores.

Palabras clave: sustentabilidad, pérdida de fertilidad, reposición de nutrientes.

ABSTRACT

Apparent macronutrients balance in rainfed and drip irrigated sugarcane in Tucumán-Argentina

The objective of this work was to estimate the nutrient apparent balance of N, P, K, Ca and Mg of a typical sugarcane crop cycle (5 years) under rainfed and drip irrigated conditions located at Overo Pozo, Cruz Alta department, Tucumán, Argentina. The evaluated cultivar was LCP 85-384. A two treatments trial (rainfed and drip irrigated) was carried out in a completely randomized design with 5 replications. Fertilization during the whole cycle consisted in the addition of 97 kg/ha of P_2O_5 and 4 additions of 90 kg N/ha (as plant cane was not fertilized). Green cane harvest was performed maintaining trash blanket on site. Nutrient harvest removal ($kg \cdot t^{-1}$) was determined from 1st to 4th ratoon.

From these data, the apparent nutrient balance of the 5 year cycle was estimated for both conditions. Balances were negative for both treatments. Nutrient losses were higher at irrigated treatment. Balances resulted in: -90,-23,-1252,-49,-60 kg/ha y -14,-11,-889,-28,-41kg/ha of N, P, K, Ca and Mg for irrigated and rainfed respectively. Harvest residues removal results in much greater nutrient losses.

Key words: sustainability, fertility loss, nutrient reposition.

Fecha de
recepción:
28/08/2020

Fecha de
aceptación:
20/04/2021

■ INTRODUCCION

Los nuevos materiales genéticos y las tecnologías empleadas en la agricultura moderna incrementan continuamente los rendimientos de los cultivos y con ello la tasa de extracción de nutrientes del suelo. El uso agrícola continuado de la tierra sin una estrategia de fertilización de reposición de los nutrientes extraídos lleva al empobrecimiento y desbalance nutricional de los suelos, y a la paulatina pérdida de la capacidad productiva de estos. La calidad natural de nuestros suelos tiene límites, sobrepasados los cuales, la vulnerabilidad de los mismos se vuelve crítica (Cruzate y Casas, 2012).

El cultivo de la caña de azúcar y la industria sucro-alcoholera tienen un gran impacto económico, social y ambiental en todo el noroeste argentino. La provincia de Tucumán produce 60-65% del total nacional de azúcar, el Norte (Salta y Jujuy) 35% y el Litoral (Misiones y Santa Fe) 1%. En el área cañera de Tucumán se cultivan 276.880 ha (Fandos *et al.*, 2020), y la superficie potencial se calcula en 300.000 ha.

Tucumán cuenta con una larga historia en el cultivo de caña de azúcar, con crecientes producciones y extracciones de biomasa año tras año en cada lote y sin una estrategia de reposición de los nutrientes extraídos del suelo. El criterio de fertilización dominante fue, y sigue siendo, el de suficiencia, y así la gran mayoría de los cañaverales tucumanos se fertilizan únicamente con nitrógeno. En ciertos casos, cuando el análisis de suelo indica valores menores al umbral crítico establecido, también se fertiliza con fósforo (P). Sin embargo, estas dosis de P (de suficiencia) pueden y suelen ser insuficientes para compensar la extracción de los cultivos por cosecha, por lo que la disponibilidad de P en los suelos tenderá a disminuir con los años, aun fertilizando siguiendo este criterio (Barraco *et al.*, 2014). Los demás nutrientes esenciales, salvo el potasio (K) en algunos casos muy puntuales, no son tenidos en consideración para la fertilización del cultivo, ya que aún no se evidenciaron pérdidas de producción por deficiencias de estos en nuestros suelos (Pérez Zamora *et al.*, 1999; Alonso *et al.*, 2015). Por lo tanto, ante la no reposición, los niveles de disponibilidad en los suelos seguirán cayendo paulatinamente y podrían alcanzar en algún momento valores limitantes para el cultivo.

Para comenzar a avanzar en la búsqueda de estrategias que al menos limiten el empobrecimiento nutricional de los suelos cañeros, resulta necesario como primer paso cuantificar el balance de nutrientes del sistema. Dicho balance se estima como la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y los que salen de un sistema definido en el espacio y en el tiempo. En general, estos balances se consideran para la capa de suelo explorada por las raíces en períodos anuales. Los ingresos de nutrientes al suelo están constituidos por los aportados por fertilizantes, abonos orgánicos (incluyendo residuos de cultivos no generados en el mismo lote) y, en el caso del nitrógeno (N), por la fijación de N del aire. El aporte de los residuos del cultivo realizado en el mismo lote se considera reciclaje de nutrientes y por eso no se incluye entre los ingresos. Los egresos de nutrientes pueden ser estimados a partir de las concentraciones promedio de estos en los órganos cosechados o extraídos del sistema (García, 2003). Se llama balance "aparente" de nutrientes a aquel que no considera las transformaciones

de los nutrientes en el sistema suelo-planta, ni las pérdidas gaseosas, por lavado o erosión, ni los ingresos por deposiciones atmosféricas (Ernst *et al.*, 2012).

Los balances negativos reducen la cantidad y disponibilidad de nutrientes en los suelos, afectando la calidad (fertilidad) de los suelos, los rendimientos de los cultivos y la sustentabilidad de los sistemas productivos (García y González Sanjuan, 2009).

En los últimos años se produjo la adopción de la tecnología de riego por goteo en algunas explotaciones cañeras de la provincia de Tucumán. Las mayores biomásas producidas con el aporte de esta tecnología (Romero *et al.*, 2003; Sosa *et al.*, 2015) implican mayores requerimientos y extracciones de nutrientes, lo que podría acelerar la degradación o empobrecimiento de los suelos (Romero *et al.* 2020).

Romero *et al.* (2020) determinaron la extracción de macronutrientes de la variedad más plantada en la provincia de Tucumán, LCP 85-384. Dicha extracción fue de 76, 11, 178, 8, y 8 kg ha⁻¹ y de 98, 14, 271, 14 y 13 kg ha⁻¹ de N, P, K, calcio (Ca) y magnesio (Mg) para condición de secano y con riego por goteo, respectivamente.

A partir de estos datos de extracción y teniendo en cuenta los aportes realizados al sistema mediante la fertilización, el objetivo de este trabajo fue estimar los balances aparentes de nutrientes para este sistema cañero en ambas situaciones hídricas (riego por goteo y secano) para un ciclo económico típico (caña planta y cuatro socas) en la provincia de Tucumán - Argentina.

■ MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se ubicó en el campo experimental de Overo Pozo de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC), departamento Cruz Alta, provincia de Tucumán (Argentina) en un lote de la variedad LCP85-384 plantada en surcos de base ancha distanciados a 1,8 m (55,5 surcos ha⁻¹) y con riego por goteo. Durante el ciclo de caña planta (campaña 2012-2013), todas las parcelas de ambos tratamientos fueron regadas por goteo para asegurar un óptimo establecimiento. Una vez realizada la cosecha de la caña planta, en un sector de dicho lote se establecieron 10 parcelas de 6 surcos por 46 m de largo, sin callejones entre ellas. A cinco de ellas, seleccionadas al azar, se les clausuraron las mangueras de riego. Así, se establecieron dos tratamientos, riego por goteo y secano, cada uno con cinco repeticiones. Dentro de cada unidad experimental, se marcó una subparcela fija de 10 m de largo para la evaluación (en los 4 surcos centrales) de la población de tallos (media de tres conteos de 10 m por réplica) y el muestreo destructivo destinado a determinar, en cada campaña, el peso de los tallos móviles, la biomasa aérea total y su partición (una muestra de 20 tallos consecutivos completos por réplica), y posteriormente la concentración de nutrientes en los diferentes órganos. Con el número de tallos y el peso de los tallos se estimó el rendimiento cultural del cultivo.

El sitio del ensayo presenta un suelo Haplustol típico de textura franca y franco limosa en las profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm, respectivamente. El contenido de materia orgánica en los 0-30 cm es inferior al 2%. El pH del suelo es neutro, no es salino ni presenta contenido de carbonatos que puedan afectar el cultivo. En la Tabla 1

Tabla 1. Análisis de suelo del ensayo en Finca Overa Pozo, departamento Cruz Alta, provincia de Tucumán (Argentina).

Prof (cm)	pH actual agua 1:2,5	C.E. dS/m, 25°C en extracto de saturación	CaCO ₃ , % gasometría	Clase Textural estimada	Materia Orgánica % Walkley-Black	Fósforo Bray-Kurtz II (ppm)	Na Cmolc* kg ⁻¹	K Cmolc* kg ⁻¹	Ca Cmolc* kg ⁻¹	Mg Cmolc* kg ⁻¹	CIC Cmolc* kg ⁻¹
0-30	6,8	0,5	-	Franco	1,8	21,6	0,1	2,0	9,0	5,5	20,5
30-60	7,1	0,5	0,2	Franco Limoso	--	--	0,2	1,5	8,4	2,9	16,7

se detalla el análisis del suelo.

La caña planta no se fertilizó con N debido a la respuesta errática a este nutriente que presenta la caña de azúcar en esta edad de corte (Pérez Zamora *et al.*, 1999; Gava *et al.*, 2010). Durante las cuatro socas, tanto las parcelas regadas (fertilización) como en seco se fertilizaron con una dosis de 90 kg N*ha⁻¹*año⁻¹, sumando un aporte total de 360 kg N. En las parcelas en seco se realizó una sola aplicación, mientras que en las parcelas fertilizadas la dosis de N se dividió en tres momentos de aplicación, siempre dentro del período recomendado que corresponde a los meses de octubre y noviembre (Fogliata, 1967; Alonso *et al.*, 2015). Debido a que el contenido de P extractable en el suelo se encontraba dentro del rango de respuesta probable a la fertilización (21,6 ppm - BrayKurtz II, Tabla 1), se fertilizó todo el ensayo con superfosfato triple (0-46-0), aplicando 42 kg de P ha⁻¹ (97 kg ha⁻¹ de P₂O₅) para todo el ciclo económico/productivo del cañaveral (normalmente cinco años), según la tabla de recomendación vigente (Pérez Zamora *et al.*, 1999; Alonso *et al.*, 2015).

En el Laboratorio de Suelos de la EEAOC se determinaron los contenidos de nutrientes en los diferentes tejidos de la planta. La cantidad de nutrientes en los tallos molibles (extracción por cosecha) se cuantificó como el producto de la materia seca de dichos tallos por el tenor de nutrientes determinado en ese órgano.

Las extracciones de nutrientes por cosecha fueron significativamente superiores en el tratamiento con riego por goteo respecto al seco. Estos datos fueron reportados por Romero *et al.* (2020).

Para el cálculo del balance aparente de nutrientes del ciclo del cañaveral, se consideraron como entradas las fertilizaciones nitrogenadas y fosfatadas; y como salidas, la extracción de nutrientes por cosecha cada año. El resto de la biomasa aérea (hojas y despuntes) permaneció en el campo luego de la cosecha en verde, constituyendo un reciclaje de nutrientes y, por lo tanto, no se lo consideraron las salidas de nutrientes del sistema.

La salida de nutrientes de las cuatro socas para riego y seco se calculó a partir de la extracción media de cada nutriente por tonelada de rendimiento (en peso seco), multiplicado por el rendimiento promedio de las cuatro socas para cada tratamiento (en peso seco) y luego multiplicado por cuatro, por tratarse de la extracción acumulada de cuatro años o socas sucesivas. La extracción de nutrientes de la caña planta fue estimada como el producto entre el rendimiento cultural (expresado en peso seco) de dicha caña planta (rendimiento comercial del lote) y la extracción media de cada nutriente por tonelada de caña (en peso seco) determinado en el tratamiento regado (valor medio de extracción de las cuatro socas).

Se realizó un ANOVA del balance aparente de nutrientes de las cuatro socas evaluadas en situación de rie-

go y seco. Posteriormente, para estimar el balance de nutrientes del ciclo económico típico del cañaveral (caña planta + cuatro cañas socas) se sumó al valor calculado de las salidas generadas por las cuatro socas, la extracción por cosecha estimada para la caña planta, y se calculó nuevamente el balance aparente.

■ RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Balance aparente de nutrientes

El balance aparente de nutrientes calculado para el período que abarca desde la soca 1 hasta soca 4, en ambas condiciones hídricas (riego por goteo y seco) y con mantenimiento del RAC en el lote, se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Anova del Balance Aparente de Nutrientes (kg/ha) en caña de azúcar durante el período Soca 1 a Soca 4, con mantenimiento del RAC, en los tratamientos de riego por goteo y seco. Fisher ($\alpha:0,05$).

Tratamiento	Balance Aparente (kg/ha)= Entradas – Salidas				
	N	P	K	Ca	Mg
RIEGO	-29 a	-14 a	-1086 a	-40 a	-52 a
SECANO	+57 b	-2 b	-708 b	-19 b	-33 b
Valor p	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

El análisis presentado en la Tabla 2 muestra que hubo diferencias estadísticamente significativas en los balances aparentes de nutrientes del período soca 1 a soca 4, entre los tratamientos con riego por goteo y seco.

La estimación del balance aparente del ciclo económico típico de un cañaveral (caña planta y cuatro socas) se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Balance aparente de nutrientes estimado para un ciclo económico (caña planta y socas 1, 2, 3 y 4) de un ensayo implantado con LCP 85-384 con riego por goteo y en seco, con mantenimiento del RAC, en Finca Overa Pozo, Tucumán.

Caña planta + socas 1, 2, 3 y 4	Kg/ha				
	N	P	K	Ca	Mg
RIEGO					
Entradas	360	42	0	14	0
Salidas	450	65	1252	63	60
Balance Aparente	-90	-23	-1252	-49	-60
SECANO					
Entradas	360	42	0	14	0
Salidas	374	53	889	42	41
Balance Aparente	-14	-11	-889	-28	-41

Como puede observarse en la Tabla 3, los balances estimados son negativos para todos los nutrientes evaluados y en ambos tratamientos, aunque con riego por goteo las salidas de nutrientes del sistema resultaron mayores en 6,4; 2,1; 1,4; 1,7 y 1,5 veces que el secano para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

De acuerdo a este balance, las parcelas con riego perdieron 6,4 veces más N en el ciclo que los secanos. A pesar de que el tratamiento regado presentó menor extracción de N por tonelada de caña cosechada, asociado a una mayor eficiencia interna de utilización del N (Romero *et al.*, 2020), al generar rendimientos significativamente mayores, las extracciones por unidad de superficie fueron mayores. En los secanos, el balance de N resulta casi neutro considerando cinco cosechas y cuatro fertilizaciones (la caña planta no se fertilizó), por lo que podríamos inferir que si se hubiese fertilizado la caña planta con media dosis, el balance sería neutro o ligeramente positivo.

Sin embargo, resulta muy importante destacar ciertas características del N y de su dinámica en el sistema que es necesario tener en cuenta al momento de analizar el balance aparente de N.

El N es un nutriente móvil en el suelo y de muy escaso efecto residual, y está sometido a pérdidas por lixiviación, desnitrificación y volatilización de magnitudes significativas y variables según las características edafoclimáticas y la fuente, dosis, momento y localización del fertilizante utilizado.

La caña de azúcar en general presenta una baja eficiencia de uso del N del fertilizante. Vallis *et al.* (1996), trabajando con N¹⁵, determinaron que la urea, incorporada en la costilla del surco, proveyó solo el 20-40% del N absorbido por la caña en una campaña, por lo que se presume que la mitad o más del N absorbido por la caña de azúcar es provista por la mineralización de la materia orgánica del suelo (Vallis and Keating, 1996). Valores de eficiencia de utilización del N del fertilizante dentro de este rango fueron también reportados por otros investigadores, como Trivelin *et al.* (1995), que registraron valores de 40% y Gava *et al.* (2001), que verificaron valores de 14 a 22%. Esto significa que una gran parte del fertilizante aplicado (60-80%) no es absorbido por el cultivo por diferentes motivos y esa fracción, no absorbida, en buena medida se pierde del sistema aun cuando el balance aparente de N sea negativo. Por lo que en este balance aparente se estaría obviando una importante salida del N agregado, debida a los procesos de pérdida citados.

Existe además una fracción del N absorbido por el cultivo que se pierde a la atmósfera en forma de NH₃ (gas) durante el proceso de senescencia de las hojas (Trivelin *et al.*, 2002) y que podría hacer que se subestime la eficiencia aparente de recuperación (Dobermann, 2007) del N de fertilizante por el cultivo y el requerimiento de N cuando la determinación de lo absorbido se realiza al momento de cosecha. La extracción de N con la cosecha no estaría subestimada, ya que el declinamiento del contenido de N se observó solo en los despuntes verdes y no en los tallos (Ng Kee Kwongand Deville, 1994).

La fracción del N del fertilizante que es absorbida por el cultivo, y que se encuentra en las hojas y el despunte al momento de la cosecha, constituirá parte del residuo agronómico de cosecha (RAC), adquiriendo cierta residualidad en el sistema, así como el N del fertilizante

que sea incorporado por los microorganismos del suelo (sin ser absorbido por el cultivo).

El N del fertilizante juega un rol clave en los estadios fenológicos iniciales del cañaveral, constituyendo del 40-70% del N total acumulado previo al período de gran crecimiento en la biomasa aérea de la caña de azúcar. Luego, su concentración se diluye y a cosecha representa del 10 al 35% del N contenido en la parte aérea del cultivo (Franco *et al.*, 2010).

El uso de fertirriego (riego por goteo) permite un mayor aprovechamiento del N del fertilizante (Ng Kee Kwongand Deville, 1994). Estudios realizados en Tucumán por Sosa *et al.* (2015) demostraron que con la dosis de 90 kg N ha⁻¹, tradicionalmente recomendada para condiciones de secano, se lograron mejoras del rendimiento cultural de entre 13 y 17 % cuando el nutriente se aplicó vía fertirriego en la edad de soca 2 y 1, respectivamente. Aplicaciones de dosis de N más altas (115 y 144 kg N ha⁻¹) vía riego por goteo no se tradujeron en incrementos de producción de caña ni de azúcar. Con el riego por goteo se logró disminuir el índice de consumo de N del fertilizante por unidad de caña producida (Sosa *et al.*, 2015). Sin embargo, si bien genera un mayor aprovechamiento del N del fertilizante, también incrementa el requerimiento de N por la mayor biomasa producida, y por ende el aporte de N desde el suelo (mineralización de la materia orgánica, del RAC y aportes por FBN) seguiría cubriendo al menos el 50% de lo absorbido por el cultivo.

Respecto al aporte de N para el cultivo proveniente de la mineralización de los residuos de cosecha (RAC), Chapman *et al.* (1992) encontraron que el 5% del N en el RAC marcado con N¹⁵ fue asimilado por la caña de azúcar en una campaña, y Ng Kee Kwong *et al.* (1987) determinaron absorciones del 11-14% del N contenido en el RAC luego de permanecer 18 meses en condiciones de campo. Esta cantidad representaba menos del 10% del total absorbido por la planta. Numerosas investigaciones detectaron que solo del 3 al 15% de N contenido en el RAC es absorbido por la caña de azúcar en el ciclo siguiente (Gava *et al.*, 2003; Fortes *et al.*, 2013). Digonzelli *et al.* (2011), estudiando la dinámica de descomposición del RAC en Tucumán, determinaron que a lo largo de un ciclo el RAC liberó al sistema entre el 13 y el 56% del N contenido en él y destacaron en su estudio que la descomposición del RAC estuvo significativamente correlacionada con los días transcurridos desde la cosecha (tiempo acumulado) y el régimen térmico (Suma térmica). El N del RAC estaría disponible para la caña soca recién en la segunda mitad del ciclo de crecimiento (De Castro Gava *et al.*, 2005).

Lo antes descrito muestra la complejidad de la dinámica del N en el sistema y por ende se desprende que este tipo de balance de N (ingreso por fertilización - extracción por cosecha) presenta limitaciones como herramienta para la toma de decisiones en el manejo de la fertilización nitrogenada, ya que no tienen en cuenta el grado de aprovechamiento del fertilizante por el cultivo ni las pérdidas ni la baja residualidad en el suelo del producto no absorbido, subestimando las "salidas" al no considerar ni cuantificar las pérdidas citadas. Tampoco se tiene en cuenta el aporte de la fijación biológica de N que en algunas variedades o situaciones puede ser considerable para el cultivo de la caña de azúcar (Boddey *et al.*, 2003).

Desde el punto de vista técnico, deben realizarse

esfuerzos tendientes a incrementar la eficiencia en el uso del N del fertilizante en estas primeras etapas del cultivo y así disminuir las pérdidas al ambiente y las dosis requeridas.

Si bien la fertilización nitrogenada no presenta efectos residuales del tipo de los de P, debe enfatizarse el efecto indirecto que produce al permitir una mayor acumulación de biomasa y, por ende, de C que es incorporado al suelo en la fracción orgánica (García, 2003).

Con respecto al fósforo, nutriente poco móvil y de comportamiento residual en el suelo, un balance aparente positivo significaría un enriquecimiento o reconstrucción progresiva de la reserva del suelo. En el caso de estudio, el balance de P para los cinco años resultó negativo en ambos manejos hídricos. Aunque más evidente en el regado, la fertilización inicial de base resultó insuficiente para mantener un balance neutro luego de cinco cosechas en los dos tratamientos. Un estudio realizado por Sainz Rozas y Echeverría (2008) indica que los balances negativos de P han resultado en caídas en los niveles de P asimilable en numerosas zonas de la región pampeana.

La dosis de P aplicada es la sugerida por la tabla de recomendación vigente (Pérez Zamora *et al.*, 1999; Alonso *et al.*, 2015) para ese nivel de P disponible en el suelo (21,6 ppm - BrayKurtz II). Dichas dosis fueron establecidas siguiendo el criterio de suficiencia, razón por la cual tienen como objetivo mantener los niveles produc-

tivos y no los niveles de P en los suelos. Si en este caso quisiéramos mantener los niveles de P en el suelo (criterio de reposición), la dosis de fertilizante debería ser aproximadamente de 25 kg P_2O_5 /ha*año para el tratamiento en secano y de 30kg P_2O_5 /ha*año para el regado, en lugar de los 20 kg P_2O_5 /ha*año recomendados.

Los balances de K, Ca y Mg son negativos, ya que estos nutrientes no se agregan mediante fertilización, al no ser usualmente limitantes de los rendimientos de la caña en Tucumán. Las entradas de Ca registradas se deben a que el superfosfato triple, utilizado como fuente de P, contiene 14% de Ca.

El balance de K es el más negativo en ambos tratamientos y es el nutriente esencial normalmente absorbido en mayores cantidades por la caña de azúcar. Extracciones de K citadas en la bibliografía varían entre 53 y 343 kg K/ha (Miles, 2012). La predominancia de la arcilla "illita", rica en K, en los suelos de Tucumán hace que la fertilización potásica no sea una práctica habitual debido a los altos niveles de disponibilidad del nutriente. Sin embargo, en algunos suelos con texturas gruesas de la zona pedemontana y del oeste de la llanura deprimida, los contenidos de K intercambiables pueden resultar limitantes, habiéndose detectado numerosos casos de valores inferiores a 0,4 cmol/Kg, valores con probable respuesta a la fertilización potásica (Pérez Zamora, 2005; Sanzano *et al.*, 2016). En estos casos, repetidos balances negativos de K, luego de décadas de producción de caña de azúcar sin fertilización, podrían causar en algún momento una disminución progresiva de la capacidad productiva de dichos lotes.

Es importante remarcar que los valores de extracción por cosecha y los balances aquí calculados provienen de cañaverales donde se practica la cosecha en verde, donde permanece en el suelo todo el residuo agronómico de cosecha o RAC (hojas y fracción de tallos inmaduros). El RAC, que para las condiciones de Tucumán ha sido estimado entre 7 t y 16 t de materia seca/ha (Romero *et al.*, 2009), puede quedar esparcido sobre el campo como cobertura, ser incorporado en los primeros centímetros del perfil o retirarse total o parcialmente utilizando, por ejemplo, máquinas enfardadoras. Mantener los residuos de la cosecha sobre el suelo produce efectos benéficos como los siguientes: aumenta el contenido de materia orgánica y la estabilidad estructural del suelo; favorece la conservación de la humedad edáfica (Morandini *et al.*, 2005; Fernández de Ulivarri *et al.*, 2012; reduce la erosión (Sanzano *et al.*, 2009); disminuye la temperatura del suelo en los primeros centímetros de profundidad (Morandini *et al.*, 2009); aumenta la población de microorganismos benéficos (Tórtora *et al.*, 2013); disminuye la infestación de algunas malezas (Monquero *et al.*, 2008); permite reducir las labores culturales y permite el reciclado de una considerable cantidad de nutrientes (Romero *et al.*, 2020).

Información derivada de este mismo estudio señala que el RAC de la variedad LCP 85-384 representó, en promedio de las cuatro socas, 13,6 t/ha y 10,7 t/ha de materia seca para riego por goteo y secano, respectivamente; y que en él se encontraba el 47%, 34%, 36%, 72% y 50% del total del N, P, K, Ca y Mg cuantificados en la biomasa aérea (Romero *et al.*, 2020). Trivelin *et al.* (2013), analizando el aporte nutricional de los componentes del RAC, reportó valores de biomasa (t/ha) y macronutrien-

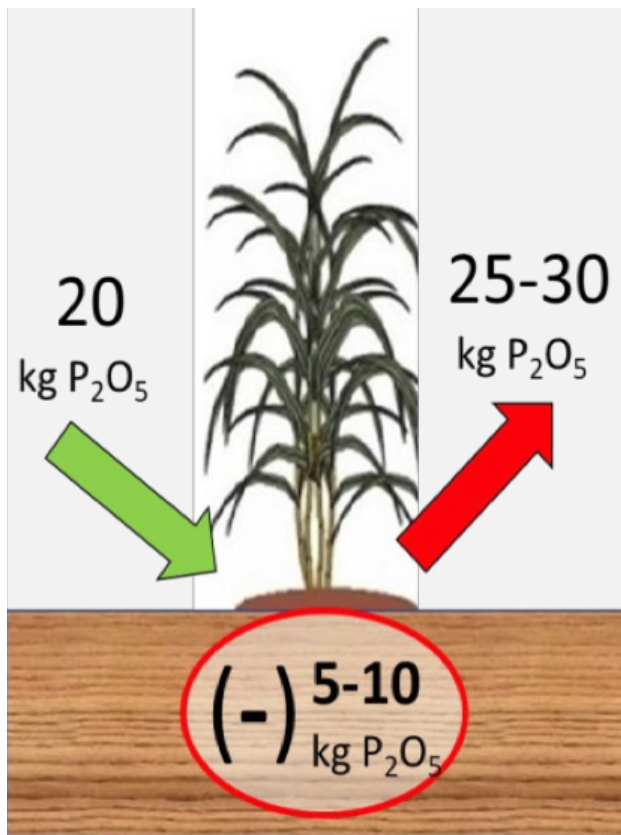


Figura 1. Balance de fósforo en el suelo del ensayo expresado en kg de P_2O_5 por Ha y por año. Las entradas ($20\text{kg } P_2O_5 \cdot \text{Ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) corresponden a la dosis de fertilización recomendada para esa situación, y las salidas ($25\text{-}30\text{ kg } P_2O_5 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) corresponden a la extracción de los tallos con la cosecha. Aclaración: 2,29 kg de P_2O_5 equivalen a 1 kg de P elemento.

tes (kg/ha) similares a los obtenidos en nuestro ensayo en Overa Pozo. Resaltó el significativo valor del RAC en el reciclaje de nutrientes en el sistema cañero y las consecuencias potencialmente negativas en el mediano plazo de la extracción del mismo con fines de generación de energía, a pesar de ser una práctica económicamente atractiva en el corto plazo

Por lo tanto, de efectuar la quema del cañaveral previo a la cosecha, o la de los rastrojos luego de esta, o la extracción total o parcial del RAC con fines de aprovechamiento energético, implica que las salidas de nutrientes del sistema sean significativamente mayores a las previamente enunciadas en este trabajo, generando balances mucho más negativos (Tabla 4) a los estimados, a lo que debería agregarse la pérdida de C orgánico y el no aprovechamiento de todas las ventajas agronómicas que brinda la cobertura del suelo.

Tabla 4. Balance de nutrientes estimado para un ciclo económico (C. planta y 4 socas) de un cañaveral de LCP 85-384 con riego por goteo y en secano con eliminación o extracción total del RAC, en Finca Overo Pozo, Tucumán.

Caña planta + socas 1, 2, 3 y 4	Kg/ha				
	N	P	K	Ca	Mg
RIEGO					
Entradas	360	42	0	14	0
Salidas	450+399	65+33	1252+704	63+162	60+60
Balance Aparente	-489	-56	-1956	-211	-120
SECANO					
Entradas	360	42	0	14	0
Salidas	374+332	53+27	889+500	42+108	41+41
Balance Aparente	-346	-38	-1389	-136	-82

Más del 70% de la materia orgánica y los nutrientes contenidos en la maloja de la caña (hojas y despuntes) son emitidos a la atmósfera por la quema asociada a la cosecha manual (Mitchell *et al.*, 2000).

Una agricultura sustentable debería considerar el balance de nutrientes de los lotes. En situaciones de alta disponibilidad de nutrientes en los suelos, estos balances podrán ser negativos por un determinado tiempo, pero debe monitorearse periódicamente dicha disponibilidad. En la medida en que nos acercamos a niveles de disponibilidad críticos para los cultivos, los balances deberán ser neutros o positivos (Ciampittiy García, 2008). Los nutrientes aplicados que no son absorbidos por el cultivo en una campaña (balance positivo) no son necesariamente perdidos del sistema, sino que podrán ser utilizados por los cultivos en la campaña siguiente (residualidad). Esto ocurre especialmente con el P y el K, pero en algunas situaciones también se han observado residualidades de N, inmovilizado en la materia orgánica y posteriormente liberado con el transcurso del tiempo. Los balances positivos de nutrientes con residualidad permitirán recuperar situaciones de baja disponibilidad de los mismos. La residualidad de los nutrientes depende fuertemente de la dinámica que tienen en el sistema suelo-planta y de las condiciones edafo-climáticas, por lo que estos factores

deben ser evaluados cuidadosamente al considerar posibles efectos residuales de las aplicaciones de fertilizantes (García y González Sanjuan, 2013).

Una posibilidad de reposición y enriquecimiento de nutrientes en los suelos cañeros es la aplicación de los residuos de la agroindustria sucro-alcoholera como son la cachaza, las cenizas y la vinaza y/o el compost obtenido a partir de ellos. Esta práctica contribuiría a cerrar el circuito y devolver al menos parte de los nutrientes removidos por la cosecha, además de aportar materia orgánica con todos los beneficios que esto genera en la salud del suelo. Las cenizas, originadas de la quema del bagazo, contienen principalmente materia orgánica y sales de silicio y calcio. La cachaza, residuo sólido de la clarificación de los jugos, contiene elevadas proporciones de fósforo, seguido por nitrógeno y potasio, pero también contiene calcio, magnesio y micronutrientes, además de altos contenidos de materia orgánica. La vinaza, residuo líquido proveniente de la elaboración de alcohol a partir de melazas o jugos, aplicada al suelo en ciertas cantidades podría utilizarse como fuente de potasio y nitrógeno. Sin embargo, debido al elevado costo de transporte, la aplicación de esta se limita a terrenos relativamente cercanos a la industria (Morandini *et al.*, 2015; Sanzano *et al.*, 2019).

Para incrementar la productividad y la producción agrícola global, como así también para evitar el agotamiento de los suelos, resulta imprescindible incrementar la tasa de reposición de nutrientes, apuntando a lograr un balance más equilibrado. En este sentido, las mejores prácticas de manejo de la fertilización deben integrarse a un programa de aplicación de buenas prácticas de manejo agronómico tales como rotación de cultivos, cultivos de cobertura, agricultura por ambientes y aplicación de enmiendas orgánicas, entre otras herramientas, contribuyendo significativamente a preservar y mejorar la calidad del recurso suelo (Cruzate y Casas, 2012).

CONCLUSIONES

- Los balances de nutrientes estimados para un ciclo completo de cinco años fueron negativos para ambos tratamientos –riego por goteo y secano–, pero la magnitud de las pérdidas fue marcadamente superior en el tratamiento con riego por goteo.
- Las dosis recomendadas de fertilización fosfata para la situación analizada no fueron suficientes para compensar la extracción de dicho nutriente por el cultivar LCP 85-384.
- La eliminación total o parcial del RAC significa una mayor pérdida de nutrientes del lote, la cual debe ser considerada.
- El conocimiento de la extracción de nutrientes que realiza el cultivo de caña de azúcar y los balances de nutrientes en nuestros suelos son un paso importante en el avance hacia una fertilización más balanceada, que permita mantener o incrementar la producción, manteniendo la fertilidad de los suelos.

AGRADECIMIENTO

A Andrea Peña Malavera (ITANOA, EEAOC-CO-NICET) por su colaboración en el análisis estadístico de los datos.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alonso, L.; E. R. Romero; F. Leggio, L. Tórtora; P. Fernández González; N. Grellet; L. Vera y J. López Guzmán. 2015.** En "Fertilización de la caña de azúcar". Digonzelli, P.; E. R. Romero y J. Scandaliaris (Eds.), Guía Técnica del Cañero, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Tucumán, Argentina, Volumen 1: 187-197.
- Barraco, M.; M. Díaz-Zorita; C. Justo y A. Lardone. 2014.** ¿Fertilización fosfatada por suficiencia o restitución en secuencias agrícolas de La Pampa arenosa? Memoria Técnica. INTA General Villegas. ISSN 1850-6038. 47-52.
- Boddey, R. M.; S. Urquiaga; B. J. R. Alves and V. Reis. 2003.** Endophytic nitrogen fixation in sugarcane: Present knowledge and future applications. *Plant and Soil* 252 (1): 139-149. doi: 10.1023/A:1024152126541.
- Chapman, L.S.; M.B.C. Haysom and P.G. Saffigna. 1992.** N cycling in cane fields from ¹⁵N labelled trash and residual fertiliser. *Aust. Soc. Sug. Cane Technol.* 14: 84-89.
- Ciampitti, I. y F. García. 2018.** Balance y eficiencia de uso de nutrientes en sistemas agrícolas. *Revista Horizonte A.* Año IV.(18): 22-28.
- Cruzate, G. A. y R. R. Casas. 2012.** 'Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina'. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 6: 7-14.
- De Castro Gava, G. J.; P. C. O. Trivelin; A. C. Vitti and M.W. de Oliveira. 2005.** 'Urea and sugarcane straw nitrogen balance in a soil-sugarcane crop system'. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 40(7): 689-695.
- Digonzelli, P.; E. R. Romero; J. Tonatto; J. Fernandez de Ullivarri; J. Giardina; L. Alonso y H. Rojas Quinteros. 2011.** Dinámica de la descomposición del residuo de la cosecha en verde de la caña de azúcar (RAC). *EEOC- Avance Agroindustrial* 32 (2):20-24.
- Dobermann, A. 2007.** Nutrient Use Efficiency – Measurement and management. IFA Internacional Workshop on Fertilizer best management practices. 7-9 Marzo, Bruselas, Bélgica.
- Ernst, O.; G. Siri; P. Ackermann y N. Gasparri. 2012.** Balance aparente de N, P y K en función de la intensidad de uso del suelo por la agricultura. *Revista Cangüé digital* 32: 9-15.
- Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés; F. J. Soria; J. Giardina; J. Fernández de Ullivarri y E. R. Romero. 2020.** Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2020 en Tucumán, Reporte Agroindustrial 190, EEOC.
- Fernández de Ullivarri, Juan; P. Digonzelli; M. Medina; F. Pérez Alabarce; F. Leggio Neme y A. Marto. 2012.** Efecto del residuo de la cosecha en verde de la caña de azúcar sobre la humedad del suelo en el este de Tucumán, R. Argentina. *Avance Agroindustrial* 33 (2): 17-22.
- Fortes, C.; A. C. Vitti; R. Otto; D. A. Ferreira; H. C. J. Franco and P. C. O. Trivelin. 2013.** Contribution of nitrogen from sugarcane harvest residues and urea for crop nutrition. *Scientia Agrícola* 70: 305-312.
- Franco, H. C. J.; P.C.O. Trivelin, R. Otto, C.E. Faroni; A.C. Vittiani E. C. A. Oliveira. 2010.** Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* Vol. 27.
- Fogliata, F.A. 1967.** Experiencias de Fertilización en caña de azúcar. Época y lugar de aplicación del fertilizante nitrogenado. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán* 45 (3): 31-48.
- García, F. 2003.** Balance de nutrientes en la rotación: impacto en rendimientos y calidad de suelo. 2003. Segundo Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa organizado por AAPRESID, Fertilizar e INPOFOS Cono Sur. Rosario, Santa Fe, Argentina, pp. 26-29.
- García, F. O. y M. F. González Sanjuan. 2009.** 'Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos?'. *Informaciones Agronómicas del cono sur* no 48.
- García, F. y M. Gonzalez Sanjuan. 2013.** La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes ¿cómo estamos? *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica IAH 9*, International PlantNutritionInstitute. www.ipni.net
- Gava, G.J.C.; P.C.O. Trivelin; M. W. Oliveira e C. P. Pennati. 2001.** Crescimento e acúmulo de nitrogenio em cana e acucar cultivada em solo coberto com palhada. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira, Brasilia* 36 (11): 1347-1354.
- Gava, G. J. C.; P.C.O. Trivelin; A. C. Vitti and M. W. Oliveira. 2003.** Recovery of nitrogen (15N) from urea and cane trash by sugar cane ratoon (*Saccharum* spp.) . *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 27: 621-630.
- Gava, G. J. C.; O. T. Kolln; R. A. Martinez Uribe; P. C. O. Trivelin e H. Cantarella. 2010.** Interação entre agua e nitrogenio na produtividade de cana-de-açucar (*sacharum* sp.) En *Tópicos em ecofisiología da cana-de-açucar*. FEPAP,pp. 49-65.
- KeeKwong, N. F.; J. Deville; P.C. Cavalot y V. Riviere. 1987.** Value of cane trash in nitrogen nutrition of sugarcane. *Plant and Soil.* Volumen 102: 79-83.
- Miles, N. 2012.** Potassium requirements and soil acidity management for sugarcane. *FSSA Journal*: 39-45.
- Mitchell, R.D.J.; P. J. Thorburn and P. Larsen. 2000.** Quantifying the loss of nutrients from the immediate area when sugarcane residues are burnt. *Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists.* v.22: 206-11.
- Monquero, P. A. ; L.R. Amaral; D.P. Binha; P. V. Silva; A. C. Silva; F. R. A. Martins. 2008.** Mapas de infestação de plantas daninhas em diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, v.26, n. 1: 47-55.
- Morandini, M.; R. Figueroa; F. Pérez Zamora and J. Scandaliaris. 2005.** The effects of green-cane trash blanket on soil temperature, soil moisture and sugarcane growth. 2005. En: *Proc. ISSCT Congress*, Guatemala. v.25: 231-236.
- Morandini, M.; C. F. Hernández; H. C. Rojas Quinteros y A. G. Sanzano. 2009.** Efecto de la conservación de residuos de cosecha de la caña de azúcar en la temperatura de un suelo Argiudol típico de la Llanura Chacopampeana sub húmeda - húmeda (Tu-

- cumán - Argentina). Revista industrial y agrícola de Tucumán. Versión On-line ISSN 1851-3018. Rev. ind. agric. Tucumán v.86 n.1
- Morandini, M.; C. Sotomayor; E. Quaia; D. Machado; C. Hernández; G. A. Sanzano y M. Ruiz. 2015.** Manejo de efluentes industriales en la provincia de Tucumán. Aportes de la EEAOC al dictado de las Resoluciones de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente de la Provincia de Tucumán. Revista Avance Agroindustrial 36 (1): 40-43.
- Ng KeeKwong, K.F. and J. Deville. 1994.** Application of ¹⁵N-labelled urea to sugar cane through a drip-irrigation system in Mauritius. 1994. *Fertilizer Research*. 39(3):223-228.
- Pérez Zamora, F.; J. Scandaliaris; R. Villegas; A. Mendez y M. Morandini. 1999.** Criterios modernos para la fertilización de la caña de azúcar. Pub. Esp. EEAOC 14.
- Pérez Zamora, F. 2005.** Caña de azúcar. En: Echeverría H. y García F. (Eds.) Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos, INTA, pp. 379-397. ISBN 987-521-192-3.
- Romero, E.R.; J. Scandaliaris; L. Sotomayor y L. Alonso. 2003.** Resultados de la primera experiencia de riego por goteo en caña de azúcar en Tucumán, Argentina. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 80 (1-2): 5-9.
- Romero, E.R.; L. Alonso; S. Casen; M. F. Leggio; J. Tonnato; J. Scandaliaris; P. Digonzelli; J. Giardina y J. Fernandez de Ulivarri. 2009.** En: Romero, E.R.; P. Digonzelli y J. Scandaliaris (Eds.): Fertilización de la caña de azúcar. Manual del Cañero, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, Tucumán, Argentina, pp. 87-99.
- 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).
- Sainz Rozas, H. y H. E. Echeverría. 2008.** Relevamiento de la concentración de fósforo asimilable en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana. Actas CD XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. AACs. Versión cd-rom.
- Sanzano, G.A.; F. A. Sosa; C. F. Hernandez; M. Morandini; H. Rojas Quinteros; J. I. Romero y P.A. Digonzelli. 2009.** Evaluación de la erosión hídrica en caña de azúcar con y sin cobertura de maloja. Revista Avance Agroindustrial 30 (3) pp.: 16-17.
- Sanzano, G.A.; E. A. Arroyo; N. D. Aranda; H. Rojas Quinteros; P. Sorol; S. Figueroa; F. Madrid y J. Navarro. 2016.** Estado actual de la fertilidad de los suelos del área cañera de la provincia de Tucumán. Libro de resúmenes de la XX Reunión Técnica Nacional de la Caña de Azúcar. 2016. Tucumán.
- Sanzano, A.; R. Correa; M. Morandini; G. Robledo; J. Romero; F. Sosa y C. Sotomayor. 2019.** Cap. Provincia de Tucumán. En: Casas, R. y F. Damiano (Eds.), Manual de Buenas Prácticas de Conservación del Suelo y el Agua en áreas de secano. Tomo II, pp.447-485.
- Sosa, F. A.; C. Hernández; M. Morandini; A. Sanzano; E. R. Romero; G. Robledo; R. Correa; J.I. Romero; C. Sotomayor y H. Rojas Quinteros. 2015.** Respuesta de la caña de azúcar a distintas dosis de nitrógeno aplicadas vía riego por goteo enterrado y en secano en Tucumán, Argentina. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 92 (2): 7-15.
- Tórtora, M.L.; N. Grellet Naval; L. Vera; J. Fernandez de Ulivarri; P. Digonzelli y E. Romero. 2013.** Efecto del residuo agrícola de la cosecha en verde de la caña de azúcar sobre el desarrollo de microorganismos de importancia agrícola y ambiental. 2013. En: Proc. Int. Soc. SugarCaneTechnol. 28.
- Trivelin, P.C.O.; R.L. Victoria e J. C. S. Rodriguez. 1995.** Aproveitamento por soqueira de cana de acucar de final de zafra do nitrogenio da aquamonia-N15 e ureia-N15 aplicado ao solo em complemento a vinhaza, Pesquisa Agropecuaria Brasileira, Brasília 30 (12): 1375-1385.
- Trivelin, P.C.O.; M. Wagner de Oliveira; A. C. Vitti; G. J. De Castro Gava e J. A. Bendassolli. 2002.** Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 37(2):193-201.
- Trivelin, P.C. O.; H. C. J. Franco; R. Otto; D. A. Ferreira; A. C. Vitti; C. Fortes; C.E. Faroni; E.C.A. Oliveira and H. Cantarela. 2013.** Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for Sao Paulo, Brazil. SciAgric. (Piracicaba, Braz.) 70: 345-352. Doi: 10.1590/S010390162013000500009.
- Vallis, I.; V. R. Catchpoole; R. M. Hughes; R. J. K. Myers; D. R. Ridge and K. L. Weier. 1996.** Recovery in plants and soils of ¹⁵N applies as subsurface bands of urea to sugarcane. Aust. J. Agric. Res. 47(3): 355-370.
- Vallis, I. and B.A. Keating. 1996.** Uptake and loss of fertilizer and soil nitrogen in sugarcane crops. Sugar cane 2: 12-16.