

Requerimiento y extracción de nutrientes de una variedad de caña de azúcar bajo riego por goteo y en seco en Tucumán-Argentina

Juan I. Romero, Fabián Madrid, Yesica Navarro Di Marco, Hugo Rojas Quinteros, Agustín Sanzano, Eduardo R. Romero

RESUMEN

El uso agrícola continuado de la tierra sin una estrategia de fertilización de reposición de los nutrientes extraídos conduce al empobrecimiento y desbalance nutricional de los suelos y a la paulatina pérdida de su capacidad productiva. El objetivo de este estudio fue determinar el requerimiento y la extracción de nutrientes bajo condiciones de seco y riego por goteo del cultivar LCP 85-384, el más plantado en Tucumán, con el fin de contribuir a un manejo más sustentable de la nutrición del cultivo. Los tratamientos fueron: seco y riego por goteo en un diseño completamente aleatorizado con cinco repeticiones, desde soca 1 hasta soca 4. Se fertilizó de acuerdo a las recomendaciones locales ($90 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}$ y $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, en función del análisis de suelo). En cada cosecha se determinaron los componentes de rendimiento y se tomaron muestras de biomasa aérea para cuantificar los contenidos de N, P, K, Ca y Mg presentes en cada órgano. Con esta información se determinó el requerimiento y la extracción de nutrientes. Los rendimientos promedio para riego y seco fueron 109.9 y 78.3 t ha^{-1} y sus biomásas aéreas fueron 43.6 y 31.7 t ha^{-1} , respectivamente. El tratamiento bajo riego presentó mayores requerimientos y extracción de nutrientes por unidad de área. El requerimiento (kg ha^{-1}) se incrementó entre 23% y 44%, mientras que el incremento de extracción (kg ha^{-1}) fue de 26% a 72%, dependiendo del nutriente. En el despunte y las hojas, órganos que constituyeron los residuos de cosecha, se cuantificó del 32% al 73% del total de N, P, K, Ca y Mg determinados en la biomasa aérea (promedio entre riego y seco). Este estudio cuantifica la salida de nutrientes del sistema y su incremento asociado al incremento de los rendimientos en cañaverales regados por goteo. También se destaca la importancia de los residuos de cosecha (cosecha en verde) en el ciclaje de los nutrientes y la sustentabilidad del agroecosistema cañero.

Palabras clave: sustentabilidad, balance de nutrientes, riego por goteo.

ABSTRACT

Nutrient requirement and removal of a sugar cane cultivar under drip irrigated and rainfed conditions in Tucumán-Argentina

Continuous agricultural use without a fertilization strategy to replace nutrient removal, leads to soils impoverishment and nutritional imbalance and the loss of their productive capacity. The objective of this study was to determine nutrient requirement and removal under rainfed and irrigated conditions for the most planted sugarcane cultivar in Tucumán, in order to contribute to a more sustainable crop nutrition management. The treatments were: rainfed and drip irrigated, in a completely randomized design with five replications, during 1st to 4th ratoon. Crops were fertilized according to local recommendations ($90 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ and $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}\text{year}^{-1}$, according to soil analysis). At each harvest, yield components were determined and aerial biomass samples were used to determine the amounts of N, P, K, Ca and Mg present in each organ. From these data, nutrient requirement and removal were determined. Irrigated and rainfed average yields were 109.9 and 78.3 t ha^{-1} and its aerial biomass 43.6 and 31.7 t ha^{-1} , respectively. Drip irrigated treatment presented greater nutrient requirement and removal per unit area. Requirement (kg ha^{-1}) increased by 23% to 44%, and removal (kg ha^{-1}) increased from 26% to 72%, varying by nutrient. In tops and leaves, harvest residues, 32% to 73% of total N, P, K, Ca and Mg were determined (average from irrigated and rainfed). This study quantifies system nutrient output, and its increase associated to greater yields in irrigated sugarcane crops. It also highlights the importance of harvest residues (green harvest) on nutrient cycling and sugarcane agroecosystem sustainability.

Key words: sustainability, nutrient balance, drip irrigation.

Fecha de recepción: 08/04/2019 - Fecha de aceptación: 20/12/2019

INTRODUCCIÓN

La producción de caña de azúcar en Argentina se concentra en tres zonas: Tucumán, el Norte (Salta y Jujuy) y el Litoral (Santa Fe y Misiones). Tucumán produce entre el 60-65% del total nacional de azúcar, el Norte 35% y el Litoral 1%. En el área cañera de Tucumán, la superficie neta cosechable en la zafra 2018 fue estimada en 273.460 ha (Fandos *et al.*, 2018). La actividad sucro-alcoholera tiene un alto impacto económico, social y ambiental en el noroeste argentino, y su importancia en la región podría incluso incrementarse en los próximos años, con el desarrollo energético sustentado en el aprovechamiento integral del cultivo para la producción de alimentos, biocombustibles, bioenergía eléctrica y bioproductos.

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 la paulatina pérdida de su capacidad productiva. Conocer los desbalances nutricionales en la agricultura contemporánea es una prioridad a investigar para mejorar los rendimientos y la eficiencia en el uso de nutrientes en los sistemas productivos de caña de azúcar, al mismo tiempo que minimiza los costos de cultivo (ej.: uso de fertilizantes) y los impactos en el medio ambiente (Leite *et al.*, 2016). En este sentido, un primer paso de fundamental importancia es cuantificar la extracción de nutrientes del suelo que realizan los cultivos, para así poder establecer las dosis de reposición y/o estimar el balance de nutrientes en el sistema.

El término extracción se refiere a la cantidad total de nutrientes presentes en los órganos cosechados y que son removidos del sistema. Éste debe diferenciarse del término absorción o requerimiento, que es la cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo, presente en todos sus tejidos y órganos, cosechables y no cosechables, para alcanzar un rendimiento dado. Generalmente se consideran sólo los órganos de la parte aérea del cultivo.

La práctica de fertilización con criterio de reposición busca reponer los nutrientes que son extraídos en la cosecha y que, por lo tanto, no son reciclados debido a que no vuelven a ingresar al sistema suelo (Ciampitti y García, 2007).

Los requerimientos nutricionales de los cultivos varían con el nivel de producción (fertilización y tecnología de manejo de cultivos), suelo, clima, ambiente y genotipo, por lo que si bien la bibliografía puede darnos valores orientativos, es conveniente la determinación de los mismos en cada zona productora.

La adopción del sistema de cosecha en verde en caña de azúcar, asociado con otras prácticas de manejo (riego presurizado, fertilizantes biológicos, herramientas

de agricultura de precisión, etc.), podría modificar los requerimientos nutricionales de las nuevas variedades de caña y de los cañaverales modernos (Leite *et al.*, 2016). Para caña de azúcar, la información local sobre el requerimiento y la extracción de nutrientes es escasa.

En los últimos años se incrementó la incorporación de la tecnología de riego por goteo en explotaciones cañeras en Tucumán. Las mayores biomásas y rendimientos producidos con el aporte de esta tecnología (Romero *et al.*, 2003; Sosa *et al.*, 2015) implicarían mayores requerimientos y extracciones de nutrientes por unidad de superficie, lo que podría acelerar la degradación o empobrecimiento de los suelos si no son tenidos en cuenta al planificar la fertilización.

Desde la perspectiva de la sustentabilidad del sistema de producción de caña, la cantidad de nutrientes y carbono (C) orgánico presentes en el residuo agronómico de la cosecha (RAC) deben ser tenidos en cuenta a la hora de evaluar los efectos de ciertas prácticas agronómicas, como la eliminación total o parcial del RAC (Trivelin *et al.*, 2013), y obviamente la quema del mismo. La descomposición del RAC en el lote significa un aporte efectivo de C, N y otros nutrientes al agroecosistema. Puede esperarse que en el mediano y largo plazo, el manejo con cobertura (RAC en superficie) mejore las condiciones de fertilidad física y química del suelo, lo cual redundará en el incremento de la capacidad productiva del cañaveral (Digonzelli *et al.*, 2011).

El objetivo de este estudio fue determinar el requerimiento y la extracción de nutrientes de la variedad de caña de azúcar LCP 85-384, bajo condiciones de riego por goteo y secano, para contribuir a un manejo más sustentable de la nutrición del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo estuvo ubicado en el campo experimental de Overo Pozo de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), departamento Cruz Alta, provincia de Tucumán (Argentina), en un lote de la variedad LCP85-384, cultivar que ocupa alrededor del 80% del área cañera tucumana (Ostengo *et al.*, 2018), plantada en surcos anchos, distanciados a 1,8 m (55,5 surcos*ha⁻¹). Se evaluaron dos tratamientos, riego por goteo y secano, con cinco repeticiones en un diseño totalmente aleatorizado. Durante el ciclo de caña planta, todas las parcelas fueron regadas para asegurar un óptimo establecimiento, y luego del primer corte se establecieron los tratamientos (riego y secano). Cada unidad experimental contó con seis surcos de 46 m de largo. En ella se marcó una subparcela de cuatro surcos de 10 m de largo para la evaluación de la población de tallos y el muestreo destructivo a cosecha. A través de este último, se determinó la producción anual, la biomasa aérea y su

partición, y la concentración de nutrientes en los diferentes órganos.

El rendimiento cultural (toneladas de tallo molible* ha⁻¹) fue determinado en la caña planta y en las cuatro socas siguientes. La estimación del rendimiento cultural se realizó a partir del n° de tallos molibles por metro lineal de surco (media de tres conteos de 10 m por réplica) y del peso fresco medio de los tallos a cosecha. Este se obtuvo de una muestra de 20 vástagos consecutivos por réplica, la cual se separó en hojas verdes, hojas secas, tallo molible y despunte cuyos pesos frescos se determinaron separadamente. Una submuestra de cada fracción fue secada en estufa (65°C) para la determinación de materia seca y del contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el Laboratorio de Suelos, y de calcio (Ca) y magnesio (Mg) en el Laboratorio de Química, ambos de la EEAOC.

El N se extrajo por digestión sulfúrica y se determinó por digestión-destilación (Kjeldahl). Los demás nutrientes se extrajeron por calcinación y se determinaron los contenidos de P por colorimetría en cenizas totales, de K por fotometría en cenizas totales, y de Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica.

La cantidad de nutrientes absorbidos por la planta se cuantificó sumando el producto de la materia seca por el tenor de nutrientes de cada fracción de la biomasa aérea. Los valores de extracción de N, P, K, Ca y Mg presentados en este trabajo corresponden al promedio de las determinaciones efectuadas en las socas 1, 2, 3 y 4.

El índice de cosecha se calculó como la relación entre el peso de los tallos molibles (órgano cosechable) y el peso de la parte aérea completa de la planta, tanto en peso húmedo como en peso seco.

El suelo del sitio del ensayo es un Haplustol típico de textura franca y franco limosa en las profundidades de 0-30 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.

Debido a que el contenido de P extractable se encontraba dentro del rango de respuesta probable a la fertilización (21,6 ppm - Bray Kurtz II), se fertilizó todo el ensayo con superfosfato triple (0-46-0) aplicando 42 kg de P*ha⁻¹ para todo el ciclo productivo del cañaveral (normalmente cinco años), según la tabla de recomendación vigente (Alonso *et al.*, 2015).

La caña planta fue regada y no se fertilizó con N, considerando la falta de respuesta característica de esa edad del cañaveral (Alonso *et al.*, 2015). Su rendimiento cultural fue 71,3 t*ha⁻¹. Las cuatro socas siguientes se fertilizaron con una dosis de 90 kg N*ha⁻¹*año⁻¹, tanto las parcelas regadas (fertirriego) como en secano. En las parcelas fertirrigadas, la dosis de N se dividió en tres momentos de aplicación dentro del período recomendado

(octubre-noviembre). En las parcelas en secano se hizo una sola aplicación.

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un ANOVA, utilizando el contraste de medias de Fisher LSD (p<0,05) en el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimientos

El rendimiento de la caña planta fue 71,3 t ha⁻¹ (19,6 t M. Seca ha⁻¹) y la producción media de las cuatro socas fue 109,9 t ha⁻¹ (30,2 t M. Seca ha⁻¹) y 78,3 t ha⁻¹ (21,5 t M. Seca ha⁻¹) para riego y secano, respectivamente (Figura 1). El riego por goteo produjo un incremento medio de 31,6 t ha⁻¹ año⁻¹ (8,7 t de M. Seca ha⁻¹) con respecto al secano. La producción acumulada en el ciclo económico del cañaveral (c. planta y cuatro socas) fue de 511,0 t ha⁻¹ y 384,5 t ha⁻¹ para riego y secano, respectivamente. El índice de cosecha para el tratamiento regado fue de 78,4% (69,5% en Peso Seco) y en el secano de 76,6% (67,3% en peso seco).

Requerimiento y Extracción de nutrientes

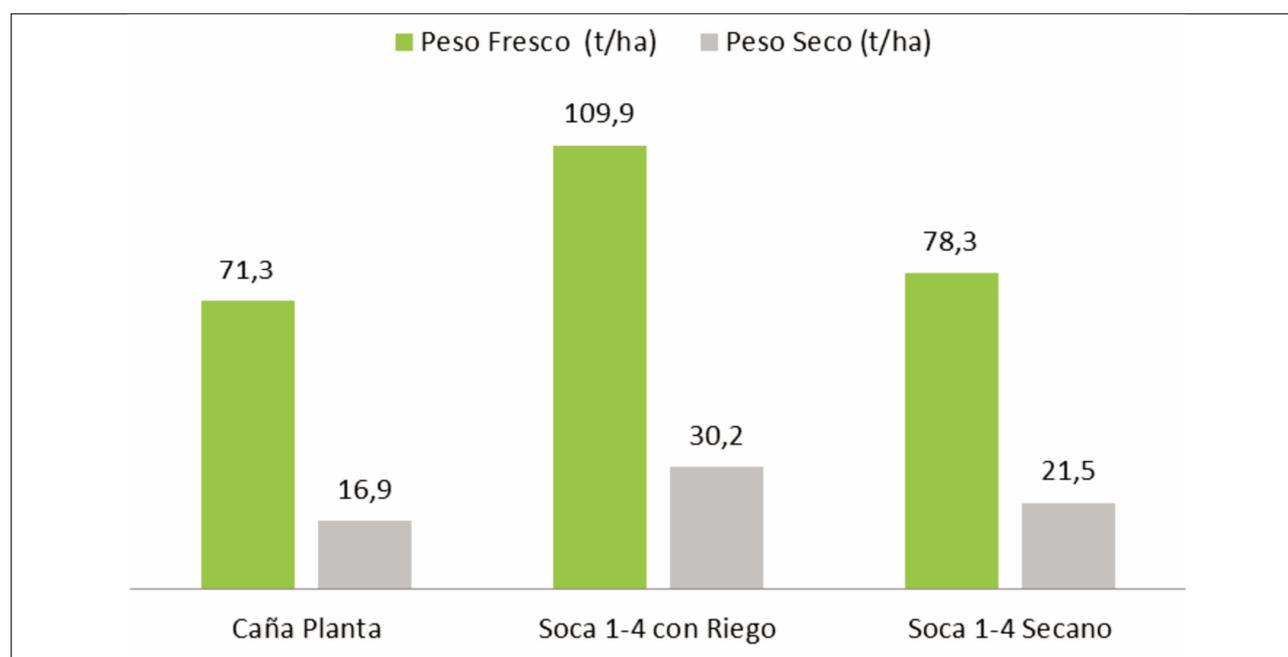
Los datos medios de requerimiento y extracción de nutrientes por hectárea y por tonelada producida se encuentran resumidos en las Tablas 1, 2 y 3.

Las cantidades de nutrientes determinados en la parte aérea del cultivo al momento de la cosecha (requerimiento) presentaron, para ambos tratamientos, el siguiente orden: K>N>Ca>Mg>P.

El requerimiento de N, P y Mg por tonelada de materia seca producida fue significativamente menor en el tratamiento regado (p<0.05). Es decir que el tratamiento regado presentó mayor eficiencia interna de utilización o "EI" (Stewart, 2007) de N, P y Mg, alcanzando mayores producciones que el secano por cada unidad absorbida (kg) de estos nutrientes.

Las cantidades extraídas del sistema por unidad de superficie (Tabla 1) en ambos tratamientos se ordenaron de la siguiente manera: K>N>P>Ca≈Mg. La extracción por tonelada de caña (Tablas 2 y 3) mostró diferencias significativas entre riego y secano para todos los nutrientes evaluados excepto para K. De acuerdo a los datos que se observan en la Tabla 3, la salida de nutrientes del sistema por tonelada de tallos cosechada (cosecha en verde) fue menor en las parcelas regadas para N y P, y en las parcelas a secano para Ca y Mg. En el caso del K, no hubo diferencias entre los tratamientos.

Los valores medios de requerimiento y extracción de N, P y K resultaron similares a los determinados por Leite *et al.* (2016) en tres sitios del estado de San Pablo en Brasil, con tres variedades diferentes en la edad de soca 1. Los requerimientos observados por estos autores resultaron de



Letras diferentes indican diferencias significativas (Fisher < 0,05) entre tratamientos.

Figura 1. Rendimiento cultural en t ha⁻¹ año⁻¹ (expresado en peso fresco y en peso seco) de la caña planta y de las cañas socas (promedio desde la soca 1 hasta la 4 incluida) con riego por goteo y en secano.

Tabla 1. Requerimiento y Extracción promedio de nutrientes de la variedad LCP 85-384 en condición de riego por goteo y de secano en Overo Pozo, Tucumán. Expresado en kg de nutriente absorbido/extraído por hectárea. Valores promedio de determinaciones en tallos molibles de las socas 1, 2, 3 y 4.

Tratamiento	REQUERIMIENTO (kg ha ⁻¹)					EXTRACCIÓN (kg ha ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Riego	188 A	21 A	402 A	46 A	24 A	98 A	14 A	271 A	14 A	13 A
Secano	143 B	17 B	294 B	32 B	18 B	76 B	11 B	180 B	8 B	8 B

Letras diferentes indican diferencias significativas (Fisher < 0,05) entre tratamientos.

Tabla 2. Requerimiento y Extracción promedio de nutrientes de la variedad LCP 85-384 en condición de riego por goteo y de secano en Overo Pozo, Tucumán. Expresado en kg de nutriente absorbido/extraído por tonelada de tallos (peso seco). Valores promedio de determinaciones en tallos molibles de las socas 1, 2, 3 y 4.

Tratamiento	REQUERIMIENTO (kg t ⁻¹ ; Peso Seco)					EXTRACCIÓN (kg t ⁻¹ ; Peso Seco)				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Riego	6,26 A	0,69 A	13,32 A	1,49 A	0,79 A	3,21 A	0,46 A	8,91 A	0,45 A	0,43 A
Secano	6,80 B	0,79 B	13,69 A	1,48 A	0,84 B	3,61 B	0,51 B	8,29 A	0,38 B	0,38 B

Letras diferentes indican diferencias significativas (Fisher < 0,05) entre tratamientos.

Tabla 3. Requerimiento y Extracción promedio de nutrientes de la variedad LCP 85-384 en condición de riego por goteo y de secano en O. Pozo, Tucumán. Expresado en kg de nutriente absorbido/extraído por tonelada de tallos (peso fresco). Valores promedio de determinaciones en tallos molibles de las socas 1, 2, 3 y 4.

Tratamiento	REQUERIMIENTO (kg t ⁻¹ ; Peso Fresco)					EXTRACCIÓN (kg t ⁻¹ ; Peso Fresco)				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Riego	1,71 A	0,19 A	3,67 A	0,40 A	0,22 A	0,88 A	0,13 A	2,46 A	0,12 A	0,12 A
Secano	1,84 B	0,22 B	3,74 A	0,40 A	0,23 A	0,97 B	0,14 B	2,27 A	0,10 B	0,10 B

Letras diferentes indican diferencias significativas (Fisher < 0,05) entre tratamientos.

197, 32, 469 kg ha⁻¹; y las extracciones de 90, 19, 266 kg ha⁻¹ para N, P y K, respectivamente. Por otro lado, Almeida de Oliveira *et al.* (2011), trabajando con 11 variedades diferentes, encontraron valores de requerimiento y extracción medios de N, P y K también similares a los de este trabajo. Mariano *et al.* (2016), en dos suelos del estado de San Pablo-Brasil, determinaron los siguientes contenidos de nutrientes en la biomasa aérea (requerimiento) a la edad de soca 1: 142-150 kgN ha⁻¹, 13-26 kg P ha⁻¹, 186-694 kg K ha⁻¹, 36-57 kg Ca ha⁻¹ y 21-25 kg Mg ha⁻¹. También en caña soca, Coleti *et al.* (2006) determinaron extracciones medias por tonelada de tallo molible (peso fresco) de 0,83 kg N t⁻¹, 0,1 kg P t⁻¹, 1,17 kg K t⁻¹, 0,09 kg Ca t⁻¹ y 0,14 kg Mg t⁻¹, siendo estos valores de similares magnitudes a los obtenidos en este estudio, con excepción del K que en nuestras condiciones duplicó dichos valores medios de extracción. Extracciones de K citadas en la bibliografía varían entre 53 y 343 kg ha⁻¹ (Miles, 2012).

A modo de evaluación de la eficiencia de la fertilización nitrogenada, si calculamos la relación entre los kg de N aplicados y la producción obtenida obtendremos el Índice de Consumo de Nitrógeno o ICN. Considerando la dosis de 90 kg N ha⁻¹ y las producciones obtenidas a lo largo de las cuatro socas para riego y secano ya citadas, el ICN fue de 0,80 y 1,11 kg N t⁻¹ de caña (peso fresco) producida para riego y secano, respectivamente (Figura 2). Estos valores son similares a los reportados por Sosa *et al.* (2015), quienes, considerando la dosis de 86 kg N ha⁻¹, determinaron un ICN de 0,7-0,96 kg N t⁻¹ de caña y de 0,82-1,2 kg N t⁻¹ de caña para riego por goteo y secano, respectivamente, en ensayos realizados en las localidades de Los Ralos y La Cruz en la provincia de Tucumán.

En el tratamiento regado, el fertilizante nitrogenado

se aplicó mediante fertirriego y la dosis se dividió en tres aplicaciones, mientras que en el secano se aplicó en un solo momento. El fraccionamiento de la dosis de N vía fertirriego durante los primeros meses luego de la brotación para una cosecha invernal disminuye el riesgo de pérdidas y aumenta la recuperación de N (Sosa *et al.* 2015; Butler *et al.* 2002; Wiedenfeld and Enciso, 2008). Esto podría explicar en parte la mayor eficiencia de uso del nitrógeno aplicado determinado en el tratamiento con riego por goteo.

Como puede observarse en la Tabla 1, las cantidades absorbidas (requerimiento) de P son algo menores a las de Mg y mucho menores a las de Ca, N y K. Sin embargo, al observar las cantidades contenidas en los tallos molibles (extracción), vemos que los valores son muy similares para P, Mg y Ca, y muy inferiores a las de N y K. Estas diferencias sugerirían una partición diferencial de los distintos nutrientes en los distintos órganos de la planta (Rubio *et al.*, 2007).

El riego por goteo incrementó la cantidad de nutrientes absorbidos (determinados en la parte aérea) por unidad de superficie (Tabla 1). Asociado a este incremento, también aumentó la cantidad de nutrientes en los tallos molibles al momento de la cosecha (extracción en kg ha⁻¹). Sin embargo, el riego parece haber incrementado proporcionalmente más la partición de los nutrientes K, Ca y Mg hacia el tallo, ya que el incremento en extracción de estos nutrientes debido al riego fue notablemente mayor que el aumento de su requerimiento (Tabla 4).

Considerando que el riego por goteo incrementó los rendimientos en un 40% en promedio, y observando (Tabla 4) que la cantidad de nutrientes absorbida (requerimiento) incrementó con el riego en menores proporciones (excepto

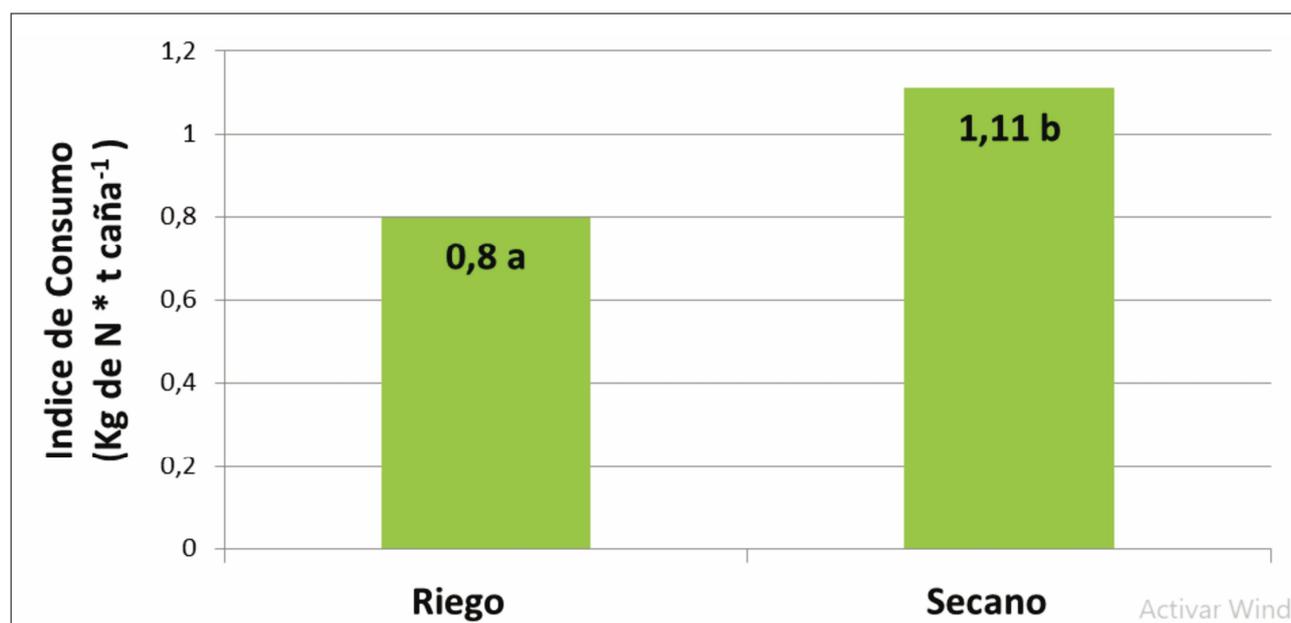


Figura 2: Índice de Consumo de Nitrógeno (kg N aplicado por t caña producida) para 90 kg N*ha⁻¹, aplicados mediante riego por goteo y en secano durante cuatro socas. LSD Fisher 0,05; DMS:0,10; p value: <0,0001. Overo Pozo 2013-2017.Tucumán-Argentina.

Tabla 4. Incremento relativo del requerimiento y la extracción de nutrientes en las parcelas con riego por goteo respecto a las parcelas a secano.

% Incremento	REQUERIMIENTO (Kg ha ⁻¹)					EXTRACCIÓN (Kg ha ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Riego / Secano	0,32	0,23	0,36	0,44	0,34	0,29	0,26	0,51	0,72	0,59

para el Ca), se destaca una mayor eficiencia interna de utilización de los nutrientes en el tratamiento regado. Sin embargo, si observamos los valores de extracción con los tallos cosechados, vemos que para K (no significativamente), Ca y Mg la extracción se incrementó en mayor medida que los rendimientos, ya que aparentemente el riego habría generado la partición hacia el tallo de una mayor proporción de estos nutrientes (Ca, Mg y K).

Este incremento del requerimiento y extracción de nutrientes por hectárea, asociado al uso del riego por goteo, a iguales dosis de fertilización del cultivo, impactará negativamente en el balance de nutrientes.

En la Tabla 5 puede observarse la fracción de la cantidad total de nutrientes presentes en la parte aérea de la planta que se partitionaron a los tallos molibles y, por lo tanto, se extrajeron del sistema, y la fracción que permaneció en el lote en los residuos agrícolas de cosecha (RAC).

La relación entre el contenido de un nutriente dado en el órgano de cosecha y su contenido total en la biomasa aérea se denomina Índice de Cosecha del Nutriente (IC). Por lo tanto, los valores de la primera fila de la Tabla 5 expresan (en porcentaje) el IC de los nutrientes. Leite et al. (2016), trabajando con tres variedades en tres sitios diferentes en Brasil, a la edad de soca 1, determinaron valores de IC de N, P y K de 46%, 57% y 52%, respectivamente.

Podemos observar en la Tabla 5 que los nutrientes que se partitionaron al tallo en mayor proporción fueron el P y el K, seguidos por el N y el Mg, y por último el Ca, del cual solamente el 28% del total contenido en la parte aérea se ubicó en el tallo.

Es importante destacar que la gran proporción de nutrientes que se encuentra en el RAC volverá al suelo si se practica cosecha en verde y no se queman estos residuos. El RAC, que para las condiciones de Tucumán ha sido estimado entre 7 t y 16 t de materia seca ha⁻¹ (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. Información derivada de este mismo estudio señala que el RAC de la variedad LCP 85-384 representó 13,6 t ha⁻¹ y 10,7 t ha⁻¹ de materia seca para riego por goteo y secano, respectivamente.

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 (Mitchell et al., 2000). Por lo tanto, dejar la maloja sobre la superficie del suelo luego de la cosecha, sin quemar, representa una entrada de carbono orgánico y nutrientes al sistema suelo-planta, lo cual puede resultar en beneficios a largo plazo en la sustentabilidad (secuestro de carbono) y el manejo nutricional (disminuyendo la necesidad de fertilizantes) de los sistemas cañeros (Trivelin et al., 2013).

A estas pérdidas debería agregarse el no aprovechamiento de todas las ventajas agronómicas que brinda la cobertura del suelo: estabilidad estructural del suelo, conservación de la humedad edáfica, reducción de la erosión, disminución de la temperatura en los primeros centímetros de profundidad, mayor población de microorganismos benéficos, menor infestación de malezas, etc. (Medina et al., 2016).

El requerimiento de nutrientes de un cultivo permite conocer las cantidades mínimas de dichos elementos con que el cultivo debe contar o disponer durante su ciclo para poder alcanzar un determinado rendimiento. Este dato, junto a un análisis de suelo, permite diagnosticar la necesidad de agregar algún/os fertilizante/s.

Respecto a los valores de requerimiento de N aquí determinados, cabe destacar que puede estar algo subestimados, ya que algunos autores citaron pérdidas de N en forma gaseosa (NH₃) a partir del follaje verde del cultivo en etapas previas a la cosecha, así también como translocación de N de la parte aérea hacia el sistema radicular, aspectos no tenidos en cuenta en esta determinación. Esta situación podría implicar un requerimiento de N durante el ciclo algo mayor a los determinados en este trabajo (Ng Kee Kwong et al. 1994; Trivelin et al. 2002).

Tabla 5. Porcentajes del total de nutrientes contenidos en la parte aérea del cañaveral que se ubicaron en los tallos molibles y en el RAC en la variedad LCP 85-384 (valores promedio de la condición de riego por goteo y de secano) en O. Pozo, Tucumán.

	N	P	K	Ca	Mg
%Nutriente en Tallos	53	66	64	28	50
%Nutriente en RAC	47	34	36	72	50

La extracción de nutrientes con los tallos molibles es un dato fundamental para poder cuantificar el balance de nutrientes del suelo, ajustar dosis de reposición y planificar estrategias de fertilización balanceada.

Los valores de extracción de N por cosecha determinados en este trabajo, no estarían subestimados ya que el declinamiento del contenido de N en la parte aérea citado por los autores se registró en los despuntes y follaje verdes y no en los tallos molibles (Ng Kee Kwong *et al.* 1994).

El hecho de que el riego incrementa el requerimiento y la extracción de nutrientes no necesariamente significa que haya que aumentar las dosis de fertilización. Por ej., en el caso del N, cuya aplicación presenta muy baja eficiencia de absorción en caña de azúcar (Vallis *et al.*, 1996), al suministrarse mediante fertirriego incrementa dicha eficiencia, y con las mismas dosis que las aplicadas en secano se logran mayores rendimientos (Sosa *et al.*, 2015). En el caso del P, un incremento en su requerimiento y extracción, en suelos con niveles medios a bajos de P disponible, sí puede generar la necesidad de incrementar las dosis de aplicación o bien incrementar la frecuencia de dicha práctica, para evitar pérdidas de producción por deficiencias de este elemento esencial.

CONCLUSIONES

El riego por goteo incrementó el requerimiento (kg ha^{-1}) y la extracción por cosecha (kg ha^{-1}) de N, P, K, Ca y Mg respecto al secano.

El requerimiento de nutrientes de la variedad LCP 85-384 con riego por goteo fue de 188, 21, 401, 46, 24 kg ha^{-1} ; y en secano de 143, 17, 294, 32, 18 kg ha^{-1} de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

La extracción de nutrientes de la variedad LCP 85-384 con riego por goteo fue de 98, 14, 271, 14 y 13 kg ha^{-1} ; y en secano de 76, 11, 178, 8, y 8 kg ha^{-1} de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

El riego mejoró la eficiencia interna de utilización de los nutrientes.

El riego, con aplicación dividida del N, mejoró el ICN, logrando mayor producción por unidad de N aplicado.

La eliminación total o parcial del RAC significaría una importante pérdida de nutrientes del lote, la cual debe ser considerada.

El conocimiento de los requerimientos y las extracciones de las diferentes variedades de caña de azúcar utilizadas en la región y los balances de nutrientes son un paso importante en el avance hacia una nutrición balanceada y una producción de caña más sustentable, que permita mantener o incrementar la producción, con una mayor eficiencia en el uso de los recursos y manteniendo la fertilidad de los suelos.

AGRADECIMIENTO

Los autores del presente trabajo agradecen a Gabriela Juarez y Raquel Dellmans de la Sección Química de la eeaoc por realizar algunas de las determinaciones necesarias para la elaboración de este trabajo

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Almeida de Oliveira, E. C.; F. Freire; RI de Oliveira; A. Campelo de Oliveira e M. B. Galvao dos Santos Freire.** 2011. "Acúmulo e alocação de nutrientes em cana de açúcar". Revista Ciencia Agronómica 42 (3): 579-588.
- Alonso, L.; E. R. Romero; F. Leggio; L. Tortora; P. Fernández González; N. Grellet; L. Vera y J. López Guzmán.** 2015. Fertilización de la caña de azúcar. En: Romero, E. R.; P. A. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.), Guía Técnica del Cañero, EEAOC, Tucumán, Argentina 1: pp. 187-197.
- Butler, D. W. F.; J. H. Meyer y A. W. Schumann.** 2002. Assessing nitrogen fertigation strategies for drip irrigated sugarcane in southern Africa. Proceedings of Annual Congress South African Sugar-Technologists' Association, (76), 162-172.
- Ciampitti, I. A y F. O. García.** 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, Oleaginosos e Industriales. Archivo Agronómico N°11. IPNI Cono Sur.
- Coleti, J. T.; J. C. Casagrande; J. J. Stupiello; L. D. Ribeiro e G. R. de Oliveira.** 2006. Remocao de macronutrientes pela cana planta e cana soca, em argisolos, variedades RB83486 e SP 81-3250. Revista STAB 24 (5): 32-36.
- Digonzelli, P.; E. R. Romero; J. Tonatto; J. Fernández 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). Avance Agroind. 32 (2): 20-24.
- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. González; M. Tablada y C.W. Robledo.** 2016. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. [En línea]. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Fandos, C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; J. I. Carreras Baldrés; F. J. Soria; J. Giardina y E. R. Romero.** 2018. Área cosechable y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2018 en Tucumán. Reporte Agroindustrial 148, EEAOC.
- Leite, J. M.; I. A. Ciampitti; E. Mariano; M. Vieira-Megda y P. Trivelin.** 2016. Nutrient Partitioning and Stoichiometry in Unburnt Sugarcane Ratoon at Varying Yield Levels. Frontiers in Plant Science 7. Article 466.

- [En línea] Disponible en <http://www.frontiersin.org>.
- Mariano, E.; J. Leite; M. Vieira-Megda; I. Ciampitti; A. Vitti; C. Faroni; H. Franco and C. Trivelin. 2016.** Biomass and nutrient content by sugarcane as affected by fertilizer nitrogen sources. *Crop Science* 56: 1234-1244.
- Medina, M; J. Fernández de Ulivarri; F. A. Sosa; P. Digonzelli; A. A. Criado; F. J. Pérez Alabarse y L. M. Romero. 2016.** Resultados preliminares sobre el efecto del residuo agrícola de cosecha en verde de la caña de azúcar (RAC) sobre los componentes del rendimiento cultural y la producción de caña bajo riego. Libro de resúmenes XX Reunión Técnica Nacional de Caña de Azúcar (SATCA). Área Agrícola, 6-8 abril 2016, Tucumán, Argentina. Trabajo 43.
- Miles, N. 2012.** Potassium requirements and soil acidity management for sugarcane. *FSSA Journal*: 39-45.
- Mitchell, R. D. J.; Thorburn, P. J. 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* 2000, 22, pp. 206-211.
- Ostengo, S; J. V. Díaz; M. A. Espinoza; E. Chavanne; M. Aybar Guchea; D. Costilla y M. I. Cuenya. 2018.** Distribución de variedades comerciales de caña de azúcar en la provincia de Tucumán. Relevamiento de la campaña 2016/2017. *Avance Agroind.* 39 (4): 22-27.
- 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. Alonzo; S. Casen; M. F. Leggio; J. Tonatto; J. Scandaliaris; P. Digonzelli; J. Giardina y J. Fernández de Ulivarri. 2009.** Fertilización de la caña de azúcar. En: Romero, E. R.; P. A. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.), *Manual del cañero*, EEAOC, Las Talitas, Tucumán, R. Argentina.
- Rubio, G.; J. Scheiner; M. Taboada y R. Lavado. 2007.** Distribución de nitrógeno, fósforo y azufre en un cultivo de colza: efectos sobre el ciclado de nutrientes.
- 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.
- Stewart, W. M. 2007.** Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas* 67. IPNI.
- Trivelin, P. C. O.; Wagner de Oliveira, M.; Vitti, A. C.; De Castro Gava, G. J., & Bendassolli, J. A. (2002).** Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 37(2), 193–201. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2002000200011>.
- 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. *Sci Agric. (Piracicaba, Braz.)* 70: 345-352. Doi: 10.1590/S010390162013000500009.
- Vallis, I.; V. R. Catchpoole; R. M. Hughes; R. J. K. Myers; D. R. Ridge y 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.
- Wiedenfeld, Bob, and Juan Enciso, 'Sugarcane Responses to Irrigation and Nitrogen in Semiarid South Texas', *Agronomy Journal*, 100 (2008), 665–71.**