

## Efectos de diferentes diseños de plantación en condiciones de riego por goteo y secano en la producción de caña y azúcar en Tucumán, Argentina.

Eduardo R. Romero\*; Agustín Sánchez Ducca\*; Juan A. Giardina\*, Juan I. Romero\*\*; Francisco Sosa\*\*; Virginia Paredes\*\*\*; Patricia A. Digonzelli\*; María F. Leggio\* y Juan Fernández de Ullivarri\*

### RESUMEN

Se evaluó el efecto de cuatro diferentes diseños de plantación en condiciones de riego por goteo y en secano sobre la producción de caña y azúcar durante cuatro edades de corte (socas 1, 2, 3 y 4). El ensayo se realizó en la localidad de Overo Pozo, departamento de Cruz Alta, Tucumán, Argentina. La plantación se efectuó en agosto de 2012, empleando caña semilla de alta calidad de la variedad LCP 85-384, proveniente de Semilleros Registrados de la EEAOC. El diseño experimental fue un factorial 8x4 (tratamiento por edad de cepa), completamente aleatorizado con ocho tratamientos (cuatro diseños de plantación con riego por goteo y en secano) y cuatro repeticiones. Cada parcela estuvo constituida por 12 surcos de 60 m de largo. Los diseños de plantación evaluados con riego y en secano fueron: surcos alternos (2,50 m); surcos súper anchos (2,00 m); surcos de base ancha a 1,80 m y surcos de base ancha a 1,60 m; este último diseño en secano se utilizó como testigo, ya que es el que predomina en el área cañera de Tucumán. El riego por goteo constituyó una tecnología efectiva para mejorar la productividad de la caña de azúcar, generando diferencias significativas en los diseños evaluados. En los surcos de base ancha a 1,60 m con riego por goteo se logró la mayor producción de caña y azúcar (t/ha) en las cuatro socas evaluadas. En secano, los nuevos diseños mostraron un comportamiento productivo similar al testigo. En la cosecha 2016, en todos los tratamientos hubo una reducción en la producción de caña y azúcar asociada al efecto de distintos factores ambientales desfavorables para la construcción de biomasa.

**Palabras clave:** espaciamiento, disponibilidad hídrica.

### ABSTRACT

#### Effect of different planting layouts under drip irrigation and rainfed conditions on sugar and cane yield of sugarcane in Tucumán, Argentina

The effect on sugarcane and sugar production of our different planting layouts under drip irrigation and rainfed conditions during four years (1st, 2nd, 3rd and 4th ratoon) was evaluated. The trial was conducted at Overo Pozo (Cruz Alta, Tucumán, Argentina). The trial was planted in August 2012, using high quality cane seed of cv LCP 85-384. The experimental design was a factorial one, completely randomized with 8 treatments (4 planting layouts under drip irrigation and rainfed conditions). Each plot consisted of 12 rows 60 m long. Evaluated planting layouts were: 2.50 m alternate planted furrows; 2.00 m super wide furrows; 1.80 m wide furrows and 1.60 m wide furrows. This last planting layout under rainfed conditions was considered a control, because it is used by farmers in Tucumán. Drip irrigation was an effective technology to improve sugar cane productivity, generating significant differences among treatments. 1.60 wide furrow under drip irrigation reached the highest production of sugarcane and sugar (t/ha) in every year. The new planting layouts showed similar production tendency to the control under rainfed conditions. Reduction of sugarcane and sugar production in 2016 harvest in all treatments was associated with the effect of environmental factors unfavorable for biomass generation.

**Key words:** planting design, water availability.

*Fecha de recepción: 30/01/2019 - Fecha de aceptación: 30/09/2020*

\* Subprograma Agronomía Caña de Azúcar, EEAOC. E-mail: eromero@eeaoc.org.ar; \*\* Sección Suelos y Nutrición Vegetal; \*\*\* Sección Economía

## INTRODUCCIÓN

La producción de caña de azúcar para la elaboración de azúcar y energía es la actividad agroindustrial de mayor importancia económica y social del noroeste argentino, concentrándose principalmente en la provincia de Tucumán con una superficie cosechable de 273.460 ha para la zafra 2018 (Fandos *et al.*, 2018).

La zona cañera de Tucumán se ubica en el subtropical, con temperaturas que permiten el crecimiento de la caña de azúcar entre fines de agosto y abril (siete a nueve meses de crecimiento, según el año). Los valores de las precipitaciones están entre 700 a 1500 mm anuales y decrecen de oeste a este de la zona cañera. El régimen es monzónico y el invierno y primavera son secos, mientras que el 60% de las precipitaciones se concentran en el verano entre diciembre y marzo, que corresponde al período de gran crecimiento del cañaveral (Romero *et al.*, 2015). Solamente el 20-25% de la caña cultivada recibe aportes de agua de riego (Figueroa *et al.*, 2009).

La incorporación de los surcos de base ancha a 1,60 m en la década de 1990, diseño que actualmente se utiliza en toda el área cañera de Tucumán (Scandaliaris *et al.*, 1988; Romero *et al.*, 1992; Digonzelli *et al.*, 2009), y la generalización de la cosecha mecanizada en verde a fines de dicha década (Romero *et al.*, 2009) se destacan entre las tecnologías que más contribuyeron al aumento de la productividad de los cañaverales de Tucumán, Argentina (Scandaliaris *et al.*, 1999).

Actualmente la cosecha mecanizada constituye el principal componente del costo de producción en nuestra región, a lo cual se agrega el riesgo de generar problemas de compactación asociados al tráfico de maquinaria (Soares de Souza *et al.*, 2015). Por este motivo resulta necesario revisar, proponer y evaluar nuevas variantes de diseños de plantación que, manteniendo los niveles productivos actuales y en lo posible mejorándolos, reduzcan el consumo de combustible (menor costo y contaminación) y contribuyan a la disminución de los riesgos de compactación, mejorando la longevidad del cañaveral.

Asimismo, se dispone de información local que evidencia el impacto que tiene el riego, y en especial el riego por goteo, en la mejora de la capacidad productiva de los cañaverales tucumanos. Estudios realizados en Tucumán señalan incrementos del 8% al 45% en el rendimiento cultural debido al uso de ese recurso, correspondiendo los mayores porcentajes al empleo del riego por goteo (Romero *et al.*, 2004; Figueroa *et al.*, 2009).

Sin embargo, la respuesta de la caña de azúcar a un cambio de diseño de plantación y a la incorporación del riego puede variar según la edad del cañaveral y las condiciones ambientales. En este aspecto, Romero *et al.* (1992) evaluaron en una localidad del pedemonte del área cañera de Tucumán el desempeño de siete variedades de caña de azúcar implantadas en surcos de base ancha y en surcos simples a 1,60 m, en seco y durante cuatro cosechas. Ambos diseños registraron la mayor producción de caña en la soca 1. También Romero *et al.* (2004) reportan la mayor producción de caña en la soca 1 en un ensayo de cuatro años de duración en el que comparan el efecto del riego por goteo respecto del seco en dos variedades de caña de azúcar. En ambos estudios la mayor producción de la soca 1 respecto de la siguiente estuvo también asociada a mejores condiciones ambientales durante el ciclo.

La integración de ambas estrategias agronómicas puede definir un avance sustentable de la productividad vertical de los cañaverales en el corto a mediano plazo, como así también soportar el proceso de expansión de la caña de azúcar hacia áreas hídricamente marginales.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes diseños de plantación en condiciones de riego por goteo y en seco sobre la producción de caña, azúcar y sus componentes, durante cuatro edades de corte (socas 1, 2, 3 y 4) en un ensayo ubicado en un área de expansión del cultivo en Tucumán, Argentina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un campo experimental perteneciente a la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC) en la localidad de Overo Pozo, departamento de Cruz Alta, al este de la provincia de Tucumán, Argentina. La plantación se efectuó en agosto de 2012, empleándose caña semilla de alta calidad de la variedad LCP 85-384 proveniente de Semilleros Registrados de la EEAOC. LCP 85-384 es el cultivar más difundido en Tucumán, ocupando en la campaña 2016-2017 el 76,8 % del área cañera (Ostengo *et al.*, 2018).

Los diseños de plantación incluidos en este ensayo fueron:

**Diseño 1: surcos alternos (2,50 m):** La distancia de centro a centro de surco es de 2,50 m. Este diseño consta de dos líneas simples separadas a 0,90 m. 40 surcos dobles/ha.

**Diseño 2: surcos súper anchos (2,00 m):** La distancia de centro a centro de surco es de 2,00 m. Consta de un surco de base de 0,80 m con tres hileras de caña semilla. 50 surcos/ha.

**Diseño 3: surcos de base ancha (1,80 m):** La distancia de centro a centro de surco es de 1,80 m, con un surco de base ancha de 0,40 m con dos hileras de caña semilla. 55 surcos/ha.

**Diseño 4: surcos de base ancha (1,60 m):** La distancia de centro a centro de surco es de 1,60 m. Consta de un surco de base ancha de 0,40 m con dos hileras de caña semilla. 62,5 surcos/ha. Este diseño en seco se utilizó como testigo, ya que es actualmente el más difundido en el área cañera de Tucumán.

Cada diseño de plantación se repitió en dos franjas aleatorizadas de 240 m de largo, y dentro de este marco se aleatorizó la disponibilidad hídrica (seco y riego por goteo), definiendo de esta forma los ocho tratamientos y sus cuatro repeticiones, denominados de la siguiente manera:

- Tratamiento 1:** Diseño 1 con riego (2,5 r)
- Tratamiento 2:** Diseño 2 con riego (2,0 r)
- Tratamiento 3:** Diseño 3 con riego (1,8 r)
- Tratamiento 4:** Diseño 4 con riego (1,6 r)
- Tratamiento 5:** Diseño 1 en seco (2,5 s)
- Tratamiento 6:** Diseño 2 en seco (2,0 s)
- Tratamiento 7:** Diseño 3 en seco (1,8 s)
- Tratamiento 8:** Diseño 4 en seco (1,6 s)

El diseño experimental fue un factorial 8x4 (ocho tratamientos y cuatro edades de corte) completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Cada unidad experi-

mental estuvo constituida por 12 surcos de ancho variable según cada diseño de plantación, por 60 m de largo. La superficie total del ensayo fue de 22.752 m<sup>2</sup>.

El equipo de riego utilizado constó de una cinta de riego debajo de cada línea de caña con goteros integrados autocompensados de 1,0 l/h de caudal y distanciados 0,5 m entre sí. La capacidad de riego fue de 3 mm diarios. Los riegos se iniciaron en cada año en septiembre/octubre y cesaron a finales de febrero. Los momentos y láminas de riego durante cada ciclo se establecieron sobre la base de un balance hídrico diario (la capacidad de almacenamiento del suelo, la evapotranspiración y las lluvias) y en función del requerimiento según la fase fenológica. Las láminas fueron similares entre los tratamientos regados, no así entre años. La información ambiental provino de la estación meteorológica de la EEAO ubicada en la localidad de Monte Redondo, vecina al lugar del ensayo.

Para la fertilización en cada edad de corte se utilizó una dosis de 90 kg N/ha con una fuente líquida en los distintos tratamientos evaluados. En los tratamientos con riego por goteo (fertirriego) la dosis se dividió en dos o tres aplicaciones entre fines de octubre y principios de diciembre. En los tratamientos en seco se fertilizó en una sola aplicación entre mediados y fines de noviembre.

La producción de caña de las edades de las cañas socas 1, 2, 3 y 4 fue estimada a partir de la evaluación de los componentes del rendimiento (número y peso de tallos molibles). Para esto, previo a la cosecha se efectuó un conteo de tallos sobre tres subparcelas de 10 m de largo por réplica y se extrajeron dos muestras aleatorias de 10 tallos sucesivos por parcela, los cuales fueron pesados, despuntados en el punto natural de quiebre y pesados. Posteriormente, estas muestras se analizaron en el laboratorio de Investigación Azucarera de la EEAO para determinar los parámetros de calidad fabril (Brix% y Pol% jugo) y a partir de esos valores se estimó la producción de azúcar.

La cosecha del lote experimental en cada ciclo productivo se efectuó mecánicamente y en verde, conservando el residuo de cosecha en superficie.

La producción de la caña planta (2013) no se incluye en este análisis debido a que el ensayo se plantó en la primavera del 2012 con muy baja disponibilidad hídrica y, a fin de asegurar su implantación, se decidió regar todas las parcelas.

Para el análisis estadístico de los datos se efectuó un ANOVA según el arreglo factorial 8x4 (tratamiento y edad), y para la comparación de medias entre tratamientos y en la interacción (tratamientos x edad de corte) se usó la Prueba de las Mínimas Diferencias Significativas de Fisher (DLS) con el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2016). Para evaluar las relaciones entre los componentes del rendimiento se utilizaron técnicas de regresión lineal.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presenta el efecto de los tratamientos en el rendimiento cultural promedio, sus componentes y en la producción de azúcar. Se destaca claramente que el diseño de surcos de base ancha a 1,60 m con riego por goteo (1,6 r) superó significativamente en la producción de caña y azúcar promedio de las cuatro cosechas a los restantes diseños regados y a todos los

tratamientos en seco. Asimismo, todos los tratamientos con riego por goteo superaron significativamente a sus diseños homólogos en seco con un incremento promedio anual de 31,8 t/ha de caña y 3,2 t/ha de azúcar. Además, entre los cuatro tratamientos en seco no se evidenciaron diferencias de significación.

**Tabla 1.** Efecto de los tratamientos en el rendimiento cultural, sus componentes y en la producción de azúcar. Promedios de edades. Var. LCP 85-384. Overo Pozo, Tucumán, Argentina.

Tratamiento	Población tallos molibles (miles/ha)	Peso/tallo (kg)	Producción caña (t/ha)	Producción azúcar (t/ha)
<b>1,6 r</b>	161,05 a	0,759 a	124,41 a	13,24 a
<b>2,5 r</b>	154,32 ab	0,719 b	111,03 b	11,65 b
<b>2 r</b>	147,12 bc	0,728 ab	108,79 b	11,60 b
<b>1,8 r</b>	152,08 b	0,705 b	108,26 b	11,31 b
<b>1,6 s</b>	138,04 d	0,588 c	81,58 c	8,67 c
<b>2,5 s</b>	143,19 cd	0,566 c	81,21 c	8,62 c
<b>2 s</b>	137,67 d	0,600 c	82,92 c	8,97 c
<b>1,8 s</b>	138,98 d	0,571 c	79,66 c	8,55 c
<b>DLS 5%</b>	<b>7,248</b>	<b>0,039</b>	<b>7,25</b>	<b>0,829</b>

También se observa que el peso medio de tallos molibles mostró un comportamiento similar al de la producción de caña, con el mayor peso en el diseño de surcos de base ancha a 1,6m con riego (1,6 r) y evidenciando todos los tratamientos regados un peso promedio por tallo significativamente mayor que el logrado por sus diseños homólogos en seco.

En cuanto a la población de tallos a cosecha, si bien se observa un comportamiento más variable entre tratamientos, en promedio se observan poblaciones significativamente mayores en los diseños regados, destacándose nuevamente el tratamiento 1,6 r aunque sin diferenciarse del tratamiento 2,5 r.

Considerando la producción acumulada de caña y azúcar de los cuatro cortes evaluados (Tabla 2), el empleo del riego por goteo permitió obtener como promedio de los cuatro tratamientos una producción de caña y azúcar equivalente a 5,5 cosechas de lo obtenido en seco,

**Tabla 2.** Producción acumulada de caña y azúcar en las 4 cosechas según tratamientos y las diferencias porcentuales respecto del tratamiento testigo (1,6 s).Var. LCP 85-384. Overo Pozo, Tucumán, Argentina.

Tratamiento	Producción Acumulada de caña (t/ha)	Producción Acumulada de caña (t/ha)	Diferencia Relativa Prod. Caña respecto 1,6 s (%)	Diferencia Relativa Prod. Caña respecto 1,6 s (%)
<b>1,6 r</b>	<b>497,63</b>	<b>52,97</b>	52,5	52,7
<b>2,5 r</b>	<b>444,10</b>	<b>46,59</b>	36,1	34,3
<b>2 r</b>	<b>435,16</b>	<b>46,40</b>	33,3	33,7
<b>1,8 r</b>	<b>433,03</b>	<b>45,37</b>	32,7	30,7
<b>1,6 s</b>	326,34	34,70	-----	-----
<b>2,5 s</b>	324,82	34,48	-0,5	-0,6
<b>2 s</b>	331,67	35,90	1,6	3,5
<b>1,8 s</b>	318,64	34,19	-2,4	-1,5

es decir un 39% más de caña y un 37% más de azúcar, valores que se encuentran dentro del rango citado de respuesta al riego en Tucumán, entre 8% y 45%, según años (Figuroa *et al.*, 2009).

La mayor respuesta la evidenció el tratamiento 1,6 r, que superó al testigo comercial (1,6 s) en un 52,5% en caña y azúcar. Los restantes tratamientos regados superaron al testigo comercial (1,6 s) entre un 32 y 36%.

Romero *et al.* (2004) reportaron una producción acumulada de caña bajo riego por goteo equivalente a dos cosechas adicionales respecto de lo producido en seco (cuatro cortes sucesivos, promedio de dos variedades, diseño en surcos de base ancha a 1,60 m). Este comportamiento fue similar a lo registrado en este trabajo.

Considerando los nuevos diseños evaluados en seco respecto del testigo 1,6 s (Tabla 2), las diferencias en la producción de caña y azúcar no resultaron de importancia.

Al analizar el comportamiento de la producción de caña en los tratamientos regados según edades del cañaveral (Tabla 3), el mejor rendimiento cultural se registró en la edad de soca 2, superando significativamente a las restantes edades. La soca 1 se ubicó en un segundo lugar con diferencias significativas respecto de las socas 3 y 4. La producción de caña de la soca 3 resultó significativamente menor que el de las otras edades. La soca 4 manifestó una recuperación, superando significativamente a la soca 3, aunque su producción fue inferior a las dos primeras socas.

Romero *et al.* (1992), en una localidad del sur del área cañera de Tucumán, evaluaron en seco y durante cuatro años, el desempeño de siete variedades de caña de azúcar implantadas en surcos de base ancha y en surcos simples, ambos a 1,60 m, registrando la mayor producción de caña en ambos diseños en la soca 1. También Romero *et al.* (2004) reportaron la mayor producción de caña en soca 1 en un ensayo de cuatro años de duración en el que compararon el efecto del riego por goteo respecto del seco en dos variedades de caña de azúcar. En ambos estudios la mayor producción de la soca 1 estuvo en general asociada a mejores condiciones ambientales durante ese ciclo productivo.

Al comparar los diseños con riego (Tabla 3), se destacan los surcos de base ancha a 1,60 m, evidenciando mayor respuesta al riego en tres de las cuatro edades

y con diferencias de significación en dos de ellas (socas 1 y 2), mostrando en la soca 2 la máxima diferencia respecto de las otras variantes regadas. Además, entre los tres diseños restantes (2,5 r; 1,8 r y 2 r) no se detectaron diferencias significativas en prácticamente ninguna edad, excepto en la soca 3, en la que el tratamiento 2 manifestó una marcada disminución.

En el caso del manejo en seco, las mejores producciones de caña se registraron en la soca 2 con diferencias significativas respecto de las otras edades, registrando los menores rendimientos en la soca 3 aunque sin diferencias significativas respecto de la soca 1 y la soca 4.

Al comparar entre sí los cuatro diseños en seco, prácticamente ninguno evidenció ventajas productivas diferenciales y significativas durante las cuatro edades de corte, aunque con algunas variaciones puntuales de este comportamiento, como en el tratamiento 2s en la soca 1 y el 2,5 s en la soca 3.

El comportamiento de los componentes del rendimiento cultural según tratamientos se presenta en las Figuras 1 y 2.

Un primer aspecto que se observa es que los tratamientos con riego por goteo registraron en prácticamente todas las edades de corte poblaciones de tallos a cosecha mayores que los diseños homólogos en seco, con la excepción del diseño 2 r en la soca 3. Además, las poblaciones más elevadas, en prácticamente todos los tratamientos, se registraron en la edad de soca 2 y las menores, en general, se observaron en la soca 3. En los tratamientos en seco se evidenció una mayor variabilidad de este componente del rendimiento entre edades de corte (Figura 1).

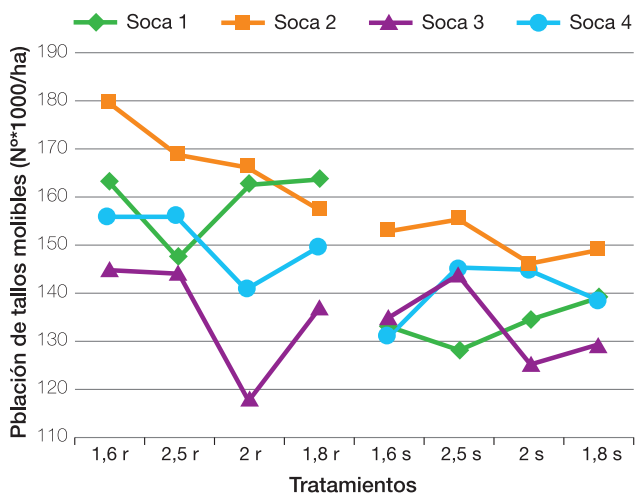


Figura 1. Comportamiento de la población de tallos molibles a la cosecha según tratamientos, para las cuatro edades de corte. Var. LCP 85-384. Overo Pozo, Tucumán, Argentina.

En la Figura 2 se observa que los tratamientos con riego por goteo registraron en prácticamente todas las edades de corte un peso medio de tallo molible mayor que los registrados por los diseños homólogos en seco. Sin embargo, el mayor peso medio por tallo en los tratamientos regados se registró en la soca 1; en cambio, en seco correspondió a la soca 2. Los menores pesos individuales en los tratamientos regados y en seco se registraron en la edad de soca 3, mostrando la soca 4 un comportamiento intermedio.

Tabla 3. Producción de caña (t/ha) según tratamientos, para las cuatro socas evaluadas. Var. LCP 85-384. Overo Pozo, Tucumán, Argentina.

Tratamiento	Rendimiento Cultural (t/ha)			
	Soca 1	Soca 2	Soca 3	Soca 4
1,6 r	148 ab	152,8 a	90,2 hij	106,5 fg
2,5 r	130,2 cde	122,8 de	91,2 hij	99,8 gh
2 r	138,5 abc	128,4 cde	69,6 klm	98,6 gh
1,8 r	137,1 bcd	118,6 ef	77,2 jklm	99,9 gh
1,6 s	80,5 ijk	98,1 gh	65,6 lm	82,1 ijk
2,5 s	72,9 klm	94,4 ghi	79,2 jkl	78,3klm
2 s	88,6 hij	94,5 ghi	65,4 lm	83,1 ijk
1,8 s	74,0 klm	101,2 gh	64,2 m	79,3 jkl
DLS 5%	14,50			

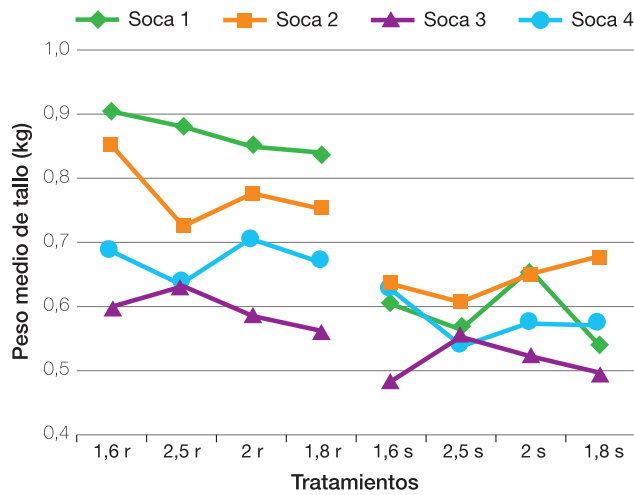


Figura 2. Comportamiento del peso medio de tallo molible en cosecha según tratamientos, para las cuatro edades de corte. Var. LCP 85-384. Overo Pozo, Tucumán, Argentina

En las Figuras 3 y 4 se observa la relación de los componentes del rendimiento con la producción de caña para los tratamientos regados y en seco, destacándose la mayor asociación con el peso medio de tallos en am-

bas condiciones hídricas, y un efecto positivo del riego en mejorar la intensidad de la asociación de ambos componentes con el rendimiento cultural (mayor  $R^2$ ) al reducirse la variabilidad del cañaveral y además de incrementar su producción.

Un aspecto a analizar fue la marcada disminución en la producción de caña y azúcar observada en la Soca 3 en todos los diseños y en los dos tratamientos hídricos evaluados. La pérdida de producción en soca 3 respecto a la soca 2, en promedio, fue de 38 t/ha de caña y 4,7 t/ha de azúcar. Esta reducción fue mayor en caña regada de 48,6 t/ha respecto de 28,5 t/ha registrada en seco. Asimismo, se destaca en soca 4 una recuperación de la capacidad productiva y una mejor diferenciación entre diseños, en especial en el tratamiento con riego por goteo.

El rendimiento cultural de la soca 3 resultó significativamente menor que el de las otras edades de corte evaluadas, comportamiento asociado con una menor población de tallos a cosecha y con la disminución del peso medio de tallo molible. Además, la recuperación señalada en la soca 4 estuvo asociada a una mejora en la población de tallos a cosecha y en el peso medio de estos; aun así su producción fue inferior a la de las dos primeras socas.

Justamente, el análisis más detallado de la información disponible para la soca 3 evidenció una disminu-

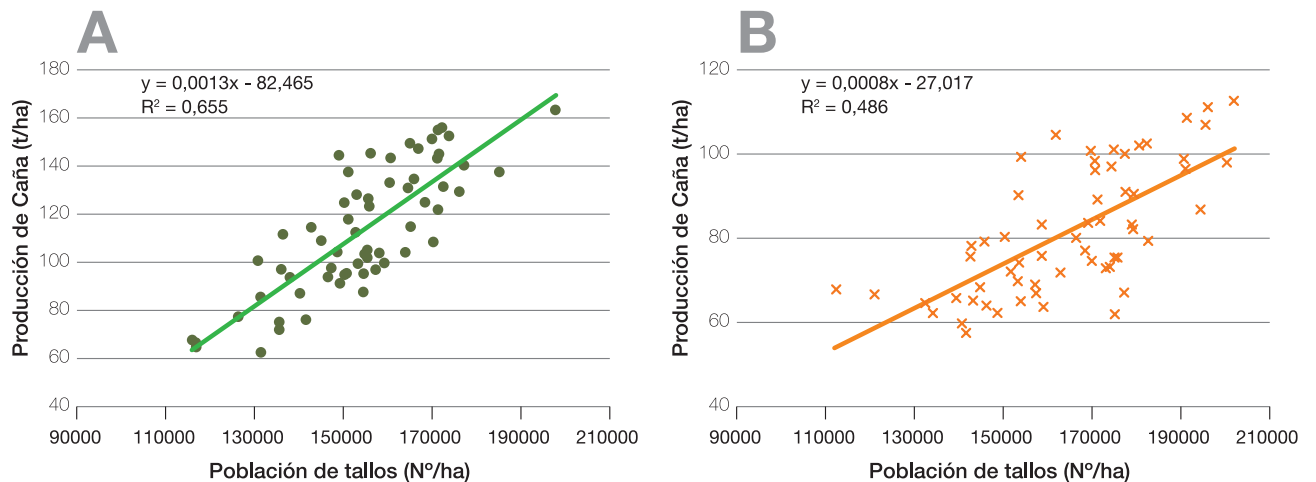


Figura 3. Influencia de la población de tallos molibles a cosecha en el rendimiento cultural de los tratamientos con riego por goteo (A) y en seco (B), considerando los diseños evaluados y las edades de corte.

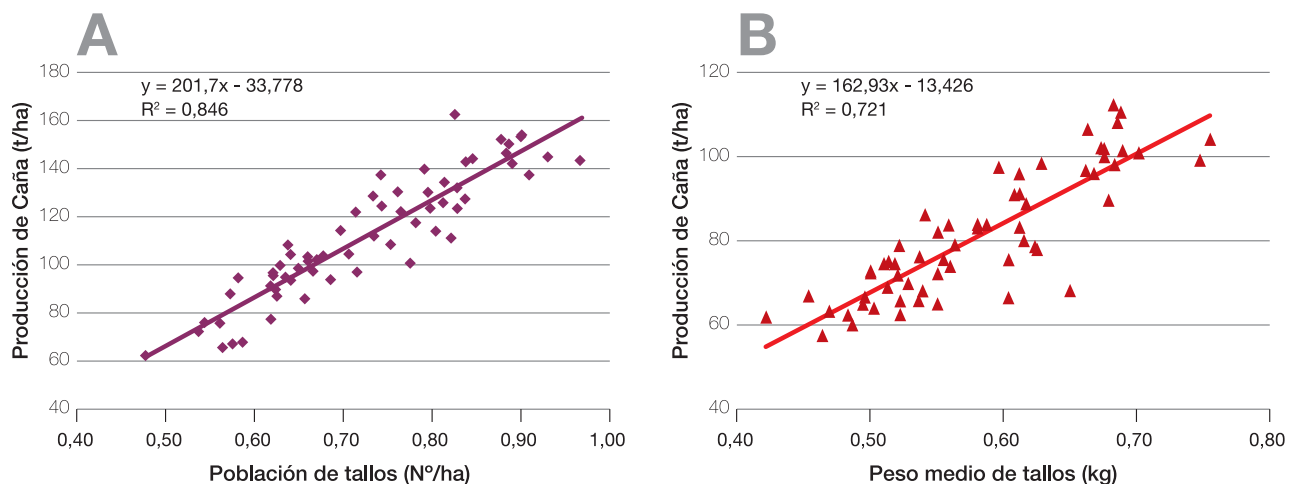


Figura 4. Influencia del peso medio de tallo molible en la producción de caña de los tratamientos con riego por goteo (A) y en seco (B), considerando los diseños evaluados y las edades de corte.



ción promedio de 156 g/tallo (22%), con una caída mayor bajo riego (179 g/tallo) que en seco (129 g/tallo). Asimismo, la población de tallos a cosecha también mostró una disminución que en promedio alcanzó un 15,4%, es decir una caída media de 2,4 tallos/m<sup>2</sup> (riego: 3,2 tallos/m<sup>2</sup>; seco: 1,7 tallos/m<sup>2</sup>). De esta manera, la pérdida en peso por tallo contribuyó a la caída general de la producción de caña registrada en 2016 en un 64%, y la población en el 36% respecto del ciclo anterior (soca 2). A la vez, en la soca 4 se evidenciaron mejoras significativas en la población y en el peso por tallo, logrando una recuperación promedio de la producción de caña del 20,8% y del 5,1% en azúcar respecto de la soca 3.

Si bien es frecuente en Tucumán que las socas más productivas sean las más jóvenes (socas 1 y 2), con un decrecimiento progresivo en las siguientes cosechas (Romero *et al.*, 1992; Romero *et al.*, 2004) la magnitud de la reducción observada en soca 3 en todas las variantes evaluadas, y la recuperación registrada en soca 4, motivaron a realizar un análisis más detallado del comportamiento de los factores ambientales en cada ciclo.

En la Tabla 4 pueden observarse las precipitaciones, evapotranspiración, aporte del riego y balance hídrico en los cuatro ciclos evaluados en el período agosto-mayo. Además, se compara la radiación global incidente acumulada en cada ciclo (agosto-mayo) con la acumulada durante las etapas fenológicas iniciales hasta el cierre del cañaveral (agosto-diciembre).

En el ciclo 2015-2016 (soca 3) se registró una disminución de la radiación global acumulada del 15,5%, 9,5% y 14,1% respecto de las socas 1, 2 y 4, respectivamente. Además, al considerar la radiación acumulada en las fases iniciales del cultivo (agosto-diciembre), el ciclo 2015-2016 resultó inferior en un 21,2%, 12,5% y 17,5% respecto de las socas 1, 2 y 4, respectivamente.

Asimismo, hubo una marcada disminución de la evapotranspiración del cultivo (ETo) respecto de todos los otros ciclos evaluados, lo que generó un balance hídrico relativamente más favorable, a pesar de una limitada precipitación. Sin embargo, estas condiciones de muchos días nublados sin lluvias o con solo lloviznas (menor radiación), asociados con una menor demanda atmosférica (menor transpiración y menor fotosíntesis), afectaron la capacidad del cañaveral de construir biomasa, evidenciado en una disminución sustancial del peso medio de los tallos en todos los diseños, como también, aunque con magnitudes variables- en ambos manejos hídricos. Además, la menor radiación en las etapas iniciales de la caña soca podría haber afectado la intensidad del macollaje (Coimbra Manhães *et al.*, 2015), resultando en una menor población a cosecha. Esta condición ambiental también habría afectado la capacidad del cultivo de responder al riego adicio-

nal, aspecto evidenciado en los subtratamientos regados, asociado a la limitación impuesta por la menor demanda evaporativa. Esta situación se evidencia más aun al observar que el comportamiento señalado para soca 3 se contrapone con lo registrado en soca 1, ciclo con similar precipitación, pero asociado a una mayor ETo y radiación incidente, en el cual se destacó una elevada respuesta al riego por goteo.

## CONCLUSIONES

El riego por goteo constituye una excelente tecnología para mejorar la producción de la caña de azúcar en los diferentes diseños de plantación evaluados. El diseño de surcos de base ancha a 1,60 m (1,6 r) generó la mayor producción de caña y azúcar (t/ha) durante los cuatro años evaluados, superando significativamente a los restantes diseños.

En seco, ninguna de las nuevas alternativas logró superar significativamente al diseño de plantación actualmente difundido (base ancha a 1,60 m), mostrando un comportamiento productivo similar.

La caída de producción observada en soca 3 en todos los diseños y manejos hídricos estuvo asociada en gran medida al efecto de factores ambientales desfavorables para la construcción de biomasa (menor radiación, menor transpiración).

## AGRADECIMIENTO

A la empresa ZAFRA SA y John Deere, Tucumán, Argentina por el apoyo económico y la activa participación en la concreción de esta y otras experiencias incluidas en el proyecto PROBICAÑA (2011-2017).

## BIBLIOGRAFIA CITADA

- Coimbra Manhães, C. M.; R. Ferreira Garcia; F. Francellino; H. de Oliveira Francelino e F. Cunha Coelho. 2015. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. *Vértices*, Campos dos Goytacazes/RJ 17(1), pp. 163-181.
- Digonzelli, P. A.; J. Giardina; S.D. Casen; L.G. Alonso; J. Fernández de Ullivarri; J. Scandaliaris; E. R. Romero; M. J. Tonatto y M. F. Leggio Neme. 2009. Plantación de la caña de azúcar. Recomendaciones generales. En: Romero, E.R.; P.A. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.), *Manual del Cañero*, 1º ed., EEAOC, Tucumán, R. Argentina, pp. 57-65.

**Tabla 4.** Evapotranspiración, lluvias, aporte del riego y déficit hídrico acumulados en las cuatro campañas y la radiación solar acumulada en la fase agosto-diciembre y durante el ciclo. Overo Pozo, Tucumán.

Ciclos	Edad Cepa	ETo (mm)	Lluvia (mm)	Riego (mm)	Déficit en seco (mm)	Déficit con riego (mm)	Radiación Acumulada ciclo (MJ/m <sup>2</sup> )	Radiación Acumulada Ago.-Dic. (MJ/m <sup>2</sup> )
2013-2014	Soca 1	1227,4	611,4	479	-616,0	-137,0	5409,8	3005,0
2014-2015	Soca 2	1101,3	818,6	238	-282,7	-44,7	5040,3	2705,6
2015-2016	Soca 3	838,3	610,7	140	-227,6	-87,6	4570,1	2368,8
2016-2017	Soca 4	1203,5	869,6	200	-333,9	-133,9	5322,1	2871,2

- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; 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, 12 pp.
- Figueroa, R. L.; E. R. Romero y G. S. Fadda. 2009.** El riego de la caña de azúcar. En Romero, E.R.; P.A. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.), Manual del Cañero 1º ed., EEAOC, Tucumán, R. Argentina, pp. 85-99.
- Ostengo, S.; M. A. Espinosa; J. V. Díaz; E. R. Chavanne; M. Aybar Guchea; D. D. Costilla y M. I. Cuenya. 2018.** Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2016/2017. Gacetilla Agroindustrial 81, EEAOC, 14pp.
- Romero, E. R.; J. Scandaliaris; M. A. Roncedo y L. Martín. 1992.** Influencia de los surcos de base ancha en la capacidad productiva de variedades comerciales de caña de azúcar. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 69 (1-2): 23-26.
- Romero, E. R.; J. Scandaliaris; L. Sotomayor y L. Alonso. 2004.** 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.; J. Scandaliaris; P. A. Digonzelli; M. J. Tonatto; J. Fernández de Ullivarri; J. A. Giardina; L. G. Alonso; S. D. Casen y M. F. Leggio Neme. 2009.** Cosecha de la caña de azúcar. En: Romero, E.R.; P. A. Digonzelli y J. Scandaliaris (eds.), Manual del Cañero 1º ed. EEAOC, Tucumán, R. Argentina, pp. 131-143.
- Romero, E. R.; P. A. Digonzelli; M. F. Leggio Neme; A. Sánchez Ducca; J. Fernández de Ullivarri; L. Tórtora; N. Grellet Naval y L. Vera. 2015.** Capítulo A3: La caña de azúcar y el agua. En Digonzelli, P. A.; E. R. Romero y J. Scandaliaris (eds.), Guía Técnica del Cañero. EEAOC. Tucumán, Argentina, pp: 36-48.
- Scandaliaris J.; L. Martín; I. Olea y E. Romero. 1988.** Diseños de plantación y productividad agrícola de la caña de azúcar. Revista agroindustrial y agrícola de Tucumán 65(1-2): 135-151.
- Scandaliaris, J.; E. R. Romero y M. Roncedo. 1999.** Avances tecnológicos en la producción de caña de azúcar en Tucumán. Revista Avance Agroindustrial, EEAOC 19 (76): 7-12.
- Soares de Souza, G.; Z. Menezes de Souza; M. Cooper and C. A. Tormena. 2015.** Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. Sci. Agric. 72 (3): 270-277.