

## FISIOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR EN FUNCIÓN DE LA APLICACIÓN DE RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL Y NITRÓGENO

### PHYSIOLOGY AND PRODUCTIVITY OF SUGARCANE AS AFFECTED BY SUBSURFACE DRIP IRRIGATION AND NITROGEN

Marcelo de Almeida Silva<sup>1</sup>, Andressa Freitas de Lima Rhein<sup>2</sup>, Alexandrius de Moraes Barbosa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UNESP/Faculdade de Ciências Agrônomicas/Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal. Botucatu, SP, Brasil. E-mail: marcelosilva@fca.unesp.br

<sup>2</sup>Prefeitura do Município de São Paulo/Secretaria do Verde e do Meio Ambiente. São Paulo, SP, Brasil. E-mail: andressarhein@prefeitura.sp.gov.br

<sup>3</sup>UNOESTE/ Departamento de Produção Vegetal. Presidente Prudente, SP, Brasil. E-mail: alexandriusmb@yahoo.com.br

#### Resumen

La mayor parte del cultivo de caña de azúcar de Brasil se produce en condiciones de secano (sin riego), haciendo que el rendimiento del cultivo sea limitado debido a la falta de agua. En ese sentido, el uso del riego por goteo sub-superficial combinado con fertilización nitrogenada puede promover un incremento en el peso de los tallos y en el contenido de azúcar de los mismos y/o atenuar los efectos causados por el déficit hídrico. El objetivo de este trabajo fue evaluar el uso de agua y de nitrógeno en soca tres, y verificar la influencia en los parámetros fisiológicos y en el rendimiento del cultivo. Se utilizó el cultivar SP80-3280 en el sistema de riego por goteo sub-superficial y en el sistema de secano (sin riego) las dosis de nitrógeno (0 y 150 kg/ha). Hubo efectos positivos del riego y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de tallos y de azúcar, como así también sobre los parámetros fisiológicos de las plantas de caña de azúcar. Se observó también, que la aplicación suplementaria de 25% de agua en la época de mayor déficit hídrico para el cultivo, aumenta el rendimiento de tallos entre 84 y 94% y el de azúcar entre 86 y 100%. Como también, que la fertilización nitrogenada tiene una eficiencia mayor en cultivos irrigados, promoviendo incrementos de 84% en el rendimiento de tallos. Por lo tanto, el riego por goteo sub-superficial es una gran estrategia para aumentar el rendimiento del cultivo y/o minimizar los efectos causado por el déficit hídrico.

#### Abstract

Most sugarcane cultivation in Brazil is carried out under non-irrigated conditions, thus restricting crop yield as a result of water scarcity. Therefore, subsurface drip irrigation combined with nitrogen fertilization may increase the amount of stalks and sugar in sugarcane and/or reduce the effects caused by water deficit. The present study was aimed at evaluating the use of irrigation and nitrogen in sugarcane ratoons, and assess how this might affect physiological traits and crop yield. We used cultivar SP80-3280 under subsurface drip irrigation and non-irrigated systems and two nitrogen levels (0 and 150 kg/ha). Irrigation and nitrogen fertilization rendered positive effects for stalk and sugar yields, as well as for plant physiological traits. Our results showed that irrigation had positive effects on physiological traits of sugarcane plants, leading to a great increase in water use efficiency for stalk and sugar production. It was also found that the supplementary application of 25% water in the highest water deficit period for the crop has increased stalk yield to 84-94% and sugar yield to 86-100%. Nitrogen fertilization showed increased efficiency in irrigated crops as well, promoting 84% gain in stalk yield. Therefore, subsurface drip irrigation is a great strategy to increase crop yield and/or reduce the effects caused by water deficit.

**PALABRAS CLAVES:** *Saccharum* spp., déficit hídrico, producción de tallos, pol% caña, uso eficiente del agua.

**KEYWORDS:** *Saccharum* spp., water deficit, stalk yield, pol% cane, water use efficiency.

## **Introducción**

El área plantada con caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Brasil en la zafra 2014/15 fue de 9 130 000 hectáreas, siendo que el 88.5% de la misma fue plantada en la región Centro-Sur, destacándose los Estados de São Paulo, Goiás y Minas Gerais, correspondiendo 51.4%, 9.6% e 8.6% del área nacional, respectivamente (CONAB, 2014).

El período caliente y lluvioso, de noviembre a marzo en esta región, es de suma importancia para el desarrollo de las plantas, pues en este período ocurre el gran crecimiento vegetativo del cultivo (Jadoski et al., 2010). Desde el punto de vista industrial, el período frío y seco (junio a setiembre) tiene grande importancia en el proceso de maduración de las plantas, pues la reducción de la temperatura del aire y la disponibilidad hídrica del suelo induce a las plantas a acumular sacarosa en los tallos (Toppa et al., 2010). Por lo tanto, cualquier factor que reduzca el desarrollo de las plantas (principalmente en el período caluroso y húmedo) promoverá una reducción en la productividad de tallos, así como, promoverá una reducción en la producción de sacarosa.

Entre diversos factores ambientales, la falta de agua es el factor que mas limita la productividad agrícola de los cultivos. Se destacan los bajos índices hídricos registrados en la región Centro-Sur en la zafra 2014/15, principalmente en los meses de febrero y marzo, que causaron reducciones del orden de 12 al 15% en la productividad de la caña de azúcar.

Practicamente, toda la caña producida en el estado de São Paulo es cultivada en condiciones de secano, cuya tradición se basa en el paradigma de que la irrigación de este cultivo es económicamente inviable en las condiciones edafoclimáticas del estado (Silva et al., 2014). Sin embargo, en los últimos años algunos trabajos con irrigación en el cultivo de caña de azúcar demostraron efectos positivos en el rendimiento de tallos de este cultivo Gava et al. (2011) observaron que el riego por goteo en tres cultivares de caña de azúcar proporciono aumento médio em un 31.5% em la productividad de tallos en dos ciclos de cultivo. Oliveira et al. (2011) observaron respuestas mas expresivas con el uso de irrigación por sistema de aspersión en once cultivares de caña de azúcar, con aumento médio de 145% em la productividad de tallos y 151% em la produtividade de azúcar.

Vários factores pueden influenciar en la eficiencia del riego en el cultivo de caña de azúcar, entre ellos, la cantidad de agua y de fertilizantes aplicados, y el sistema de irrigación (Wiedefeld, 2004). El riego por goteo subsuperficial em el cultivo de caña de azúcar puede ser una excelente estrategia para aumentar el rendimiento de este cultivo, como también, una excelente estrategia para el uso racional del agua, en vista de que, ese sistema además de tener una distribución mas uniforme, permite mayor control del agua aplicada, siendo aplicada pequeñas cantidades de agua en intervalos mas frecuentes, de modo de mantener las condiciones óptimas de agua del suelo, resultando en un crecimiento máximo de la planta (Wiedefeld, 2004).

Otra ventaja del uso de riego en caña de azúcar está em la aplicación de nutrientes via irrigación que contribuye con el desarrollo del cultivo. Dentro de los nutrientes que pueden ser aplicados, se destaca el nitrógeno (N), que es el tercer nutriente extraído en mayor cantidad por el cultivo y su absorción se da 99% via flujo masal (Oliveira et al., 2010).

De esta manera, el uso de riego por goteo y de la fertilización nitrogenada pueden ser importantes estrategias para aumentar los rendimientos de la caña de azúcar, por eso, para conocer cuáles son los beneficios económicos reales de la irrigación en el cultivo de a caña de azúcar, es

necesario cuantificar cual es el real aumento de la productividad del cultivo con el uso de la irrigación (Vieira et al., 2014). En este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el uso de agua y de nitrógeno en caña soca considerando dos tipos de manejo con y sin riego, y verificar su influencia en los parámetros fisiológicos y en la productividad del cultivo.

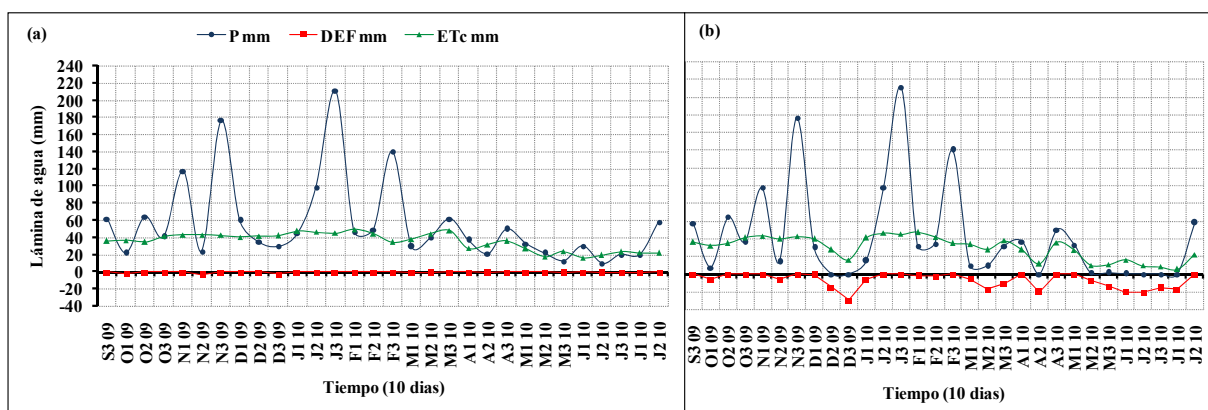
## Material y Métodos

El experimento fue conducido en el municipio de Jaú, SP, Brasil (22°17'S e 48°34'O, altitud de 580 m) entre setiembre del 2009 a octubre del 2010. Según la clasificación de Köppen el clima de la región es Aw, con características tropicales de verano lluvioso e invierno seco. La temperatura media del aire durante el período experimental fue de 22.7 °C. El suelo fue clasificado como Argisol eutrófico.

Se uso el cultivar de caña de azúcar SP80-3280 durante el ciclo de soca de tercer corte.

Se adoptó un delineamiento experimental de bloques completamente aleatorizados en esquema factorial 2 x 2, con cuatro repeticiones para cada tratamiento. Se consideraron dos factores de irrigación (con y sin riego) y fertilización nitrogenada (0 e 150 kg/ha). Para el tratamiento irrigado se utilizo el sistema de goteo subsuperficial (modelo DRIPNET PC 22135 FL, Adana, Turquía), con goteros a cada 0.5 m y un volumen de salida de 1,0 L/h y el outro tratamiento fue de manejo de secano (sin riego). Para las dosis de nitrógeno se usó como fuente urea (45% de N). Las parcelas experimentales fueron constituídas por cinco líneas de surco doble (0.40 x 1.40 m) con 8,0 m de largo, siendo que entre las líneas de cultivo fueron enterrados a 0.2 m de profundidad los tubos goteros.

La condición hídrica fue monitoreada durante el experimento con tensiómetros y la frecuencia de riego fue calculada considerándose la capacidad de água disponible em el suelo de 70 mm, la precipitación, la demanda atmosférica y la evapotranspiración del cultivo de caña de azúcar. La pluviometria total del período considerado fue de 1435 mm y la cantidad de água aplicada por el sistema de riego em el tratamiento con irrigación fue de 390 mm, distribuída durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo, conforme el método de Penman-Monteith, cujo acumulado fue de 1320 mm (ETc acumulada). De esa forma, se procedió a estimar el balance hídrico decendial (Figura 1) y el cálculo de la deficiencia hídrica (Fig. 1b), lo que resulto en el valor de 418 mm.



**Figura 1.** Balance hídrico decendial en el manejo irrigado por goteo subsuperficial (a) y secano (b). Período: setiembre/2009 - octubre/2010, Jaú, SP, Brasil. P = precipitación + lámina de água; DEF = deficiencia hídrica; ETc = evapotranspiración del cultivo.

En el tratamiento con riego, el nitrógeno fue aplicado via fertirrigación subsuperficial dos veces por semana, distribuido entre la cosecha del ciclo anterior hasta cuatro meses antes de la cosecha final, siendo también adicionados 150.0 kg/ha de  $K_2O$  en la forma de clorato de potasio, tres meses antes de la cosecha final. En el tratamiento sin riego, todo el N y el K fue aplicado en el rebrote 30 días después de la cosecha.

La determinación de los parámetros fisiológicos fue realizada en cinco épocas del desarrollo de las plantas, a los 38, 121, 291 y 381 días después del tercer corte (DAC), en un metro central de la línea doble de cada parcela. Fueron evaluados: índice de área foliar (IAF) entre las 13:00 y 14:00 h utilizándose un ceptómetro (mod. LP-80, Decagon, WA, EUA); contenido de clorofila (Índice SPAD) por medio de un clorofilómetro (mod. SPAD-502, Minolta Corp., Ramsey, NJ, EUA); tenor de clorofila total ( $a+b$ ) en diez discos retirados de hojas +1 (top visible dewlap) de cada parcela e inmersos en dimetilformamida (DMF) y la lectura de absorbancia realizada en espectrofotómetro en longitudes de onda de 647 e 664 nm, conforme Porra et al. (1989); contenido relativo de agua en hoja (CRA) obtenido en laboratorio con la extracción de diez discos ( $0.69 \text{ cm}^2$  cada uno) de la misma hoja +1, conforme la metodología presentada por Jamaux et al. (1997); la conductancia estomática ( $g_s$ ) determinada por intermedio de un porómetro (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EUA), y la eficiencia cuántica potencial del fotosistema II ( $F_v/F_m$ ) obtenida de las hojas +1 por medio de un fluorómetro portátil (mod. OS-30p, Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH, EUA).

La productividad de tallos (t tallos/ha, TTH) fue determinada por el peso de tallos en cada parcela a los 381 DAC, y posteriormente, fue estimada la TTH en 1 ha. La productividad de azúcar (t azúcar/ha, TAH) fue obtenida por medio del producto entre TTH y el porcentaje aparente de sacarosa en los tallos (pol% cana) correspondiente a cada parcela, dividido por 1000. Para la obtención de los tenores de sacarosa, diez tallos fueron retirados de cada parcela y llevados para el laboratorio de análisis tecnológica para determinar pol% de la caña.

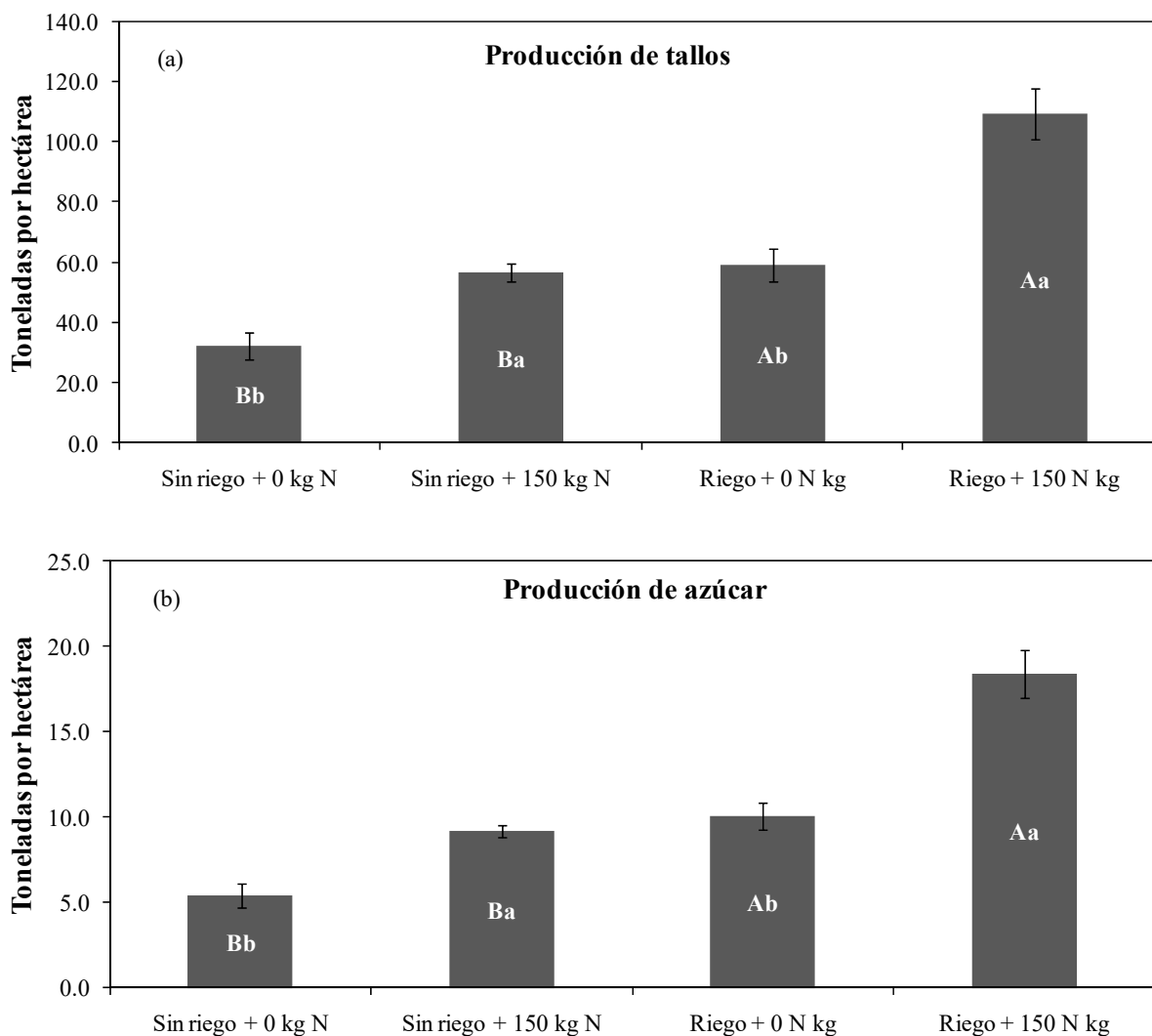
La eficiencia del uso del agua (EUA) fue calculada para el cultivo de caña de azúcar en función del riego y la fertilización nitrogenada. La EUA fue definida como la relación entre la productividad y el volumen total de agua utilizada en la producción, conforme Farias et al. (2008).

Los datos fueron sometidos a análisis de variación por el teste F seguido de la aplicación del teste de Tukey (5%) para la comparación entre medias.

## Resultados y Discusión

La producción de tallos y de azúcar del cultivo de caña de azúcar fue influenciada por el riego y la fertilización nitrogenada, así como hubo interacción positiva entre esos factores. La mayor producción de tallos fue obtenida en el tratamiento con riego y con aplicación de 150 kg N/ha a lo largo del ciclo del cultivo, que tuvo productividad de 109.34 t/ha (Figura 2a). El tratamiento irrigado e sin adición de N obtuvo productividad media de 59.2 t/ha. Las menores producciones fueron observadas en los tratamientos que no recibieron riego suplementario, siendo que, con adición de N la producción fue de 56.6 t/ha y en el tratamiento sin N la producción fue de 32.0 t/ha. El mismo patrón de respuesta fue observado en la producción de azúcar (Figura 2b), siendo que la mayor producción fue obtenida en el tratamiento con riego y con N (8.47 t/ha) y la menor en el tratamiento sin riego y sin N (5.4 t/ha) (Figura 2b).

Algunos estudios ya evidenciaron los aspectos positivos del riego sobre la productividad de este cultivo. Oliveira et al. (2011) estudiaron los efectos del riego sobre once cultivares de caña de azúcar y observaron incrementos medio de 145% en la producción de tallos y de 151% en la producción de azúcar. Vieira et al. (2014) también observaron aumentos en la producción de tallos entre 70.0 y 150.0% en función de diferentes láminas de riego en el cultivo de caña de azúcar.



**Figura 2.** Producción de tallos (a) y de azúcar (b) del cultivo de caña de azúcar en áreas de secano (Sin riego) y área irrigada por goteo subsuperficial (riego) con dos dosis de nitrógeno, 0 e 150 kg de N/ha.

Sin embargo, nuestros resultados muestran que la producción de tallos y de azúcar aumenta con la presencia de fertilización nitrogenada en cultivo irrigado, esos resultados están de acuerdo con lo relatado por Wiedenfeld (1995) sobre estudios desarrollados en caña soca en Texas (EUA), en que las mayores respuestas de N fueron observadas en los tratamientos con mayor nivel de irrigación, y que en niveles bajos de irrigación la respuesta del N no es tan pronunciada, pues si el factor limitante es el agua, el cultivo no tiene como sacar ventaja del aumento de la disponibilidad de nitrógeno. Wiedenfeld y Enciso (2007) relataron que el rendimiento del cultivo de caña de azúcar aumenta en función de la respuesta a la fertilización nitrogenada en situaciones en que la humedad del suelo sea ideal para el crecimiento del cultivo.

En relación a los parámetros fisiológicos, se observó efectos positivos del riego, de la fertilización nitrogenada durante el ciclo de desarrollo del cultivo. En relación al índice de área foliar (IAF) aumento en todos los tratamientos con el desarrollo de la caña de azúcar (Figura 3a), por lo

tanto, el IAF al final del ciclo fue mayor en el tratamiento irrigado con fertilización nitrogenada (6.0), seguido del tratamiento no irrigado con fertilización nitrogenada (5.2), siendo que el menor IAF fue obtenido en los tratamientos sin fertilización nitrogenada (4.5).

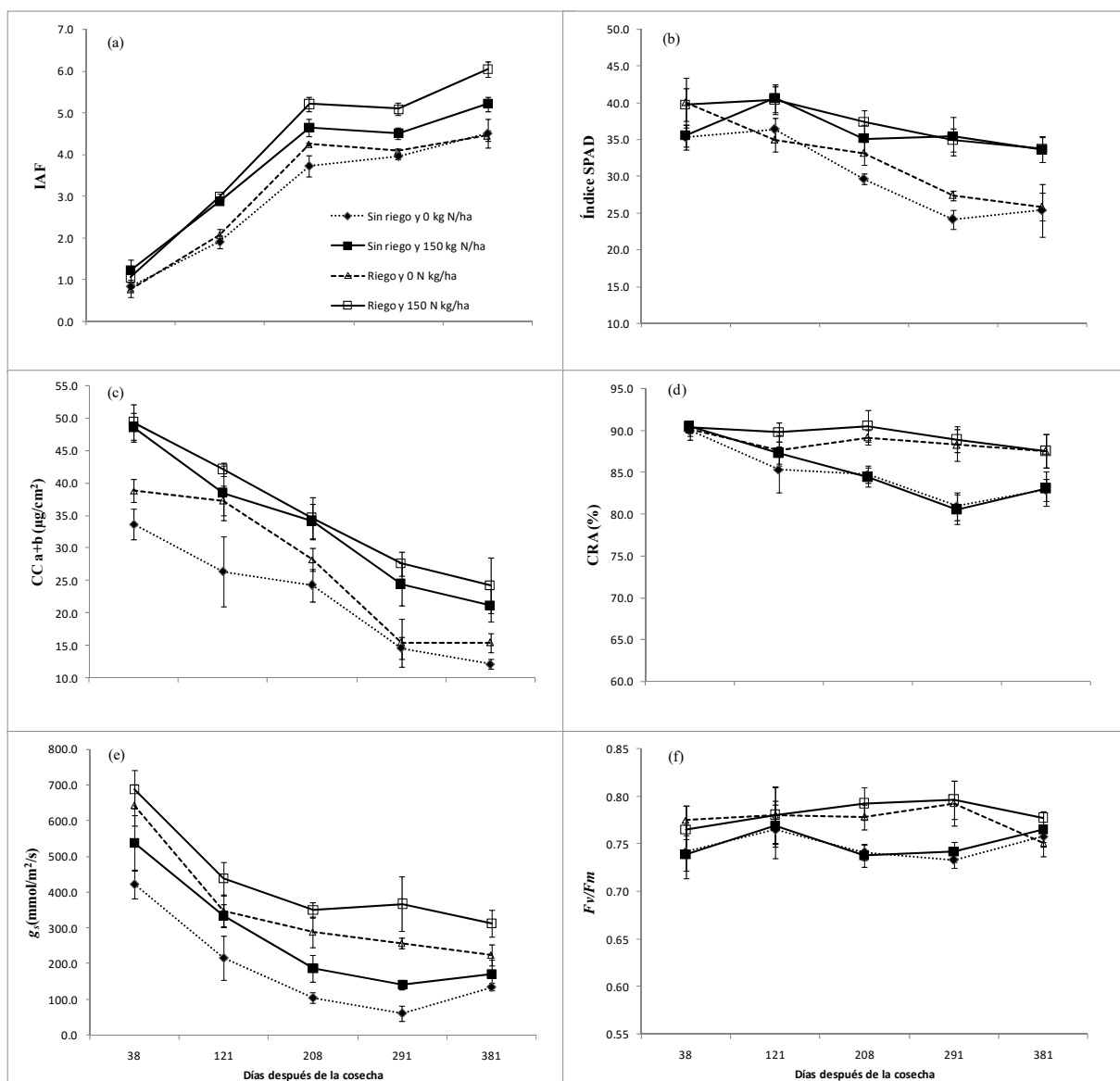
En relación al índice SPAD (Figura 3b), hubo una disminución de este parámetro de acuerdo con el avance del ciclo del cultivo. Se observó, también, que hubo mayor efecto de la fertilización nitrogenada de que la irrigación sobre este parámetro, en que los mayores valores del índice SPAD se dieron en las plantas que recibieron la fertilización nitrogenada, principalmente en el período de 208 a 381 DAC. A los 208 DAC, la media del índice SPAD en los tratamientos con nitrógeno fue de 35.1, ya en los tratamientos sin nitrógeno fue de 25.8. A los 381 DAC, la media del índice SPAD fue de 33.7 para los tratamientos con nitrógeno y de 25.6 para los tratamientos sin nitrógeno. Como el índice SPAD, el contenido de clorofila *a+b* (CC) fue disminuyendo a lo largo del tiempo (Fig. 3c), como también, el CC fue mayor en los tratamientos con fertilización nitrogenada durante todo el período experimental.

El riego promovió la manutención del contenido relativo de agua (CRA) de las plantas de caña de azúcar (Figura 3d). Se observó, a partir de 208 días después de la cosecha, que el CRA de las plantas irrigadas se mantuvo siempre superiores al 87%, diferente de los tratamientos no irrigados, que a los 291 días después de la cosecha alcanzaron valores de 80%. No hubo efecto de la fertilización nitrogenada sobre el CRA durante el período de crecimiento del cultivo.

La reducción del nivel de agua no solo disminuyó la conductancia estomática ( $g_s$ ) de las plantas en todos los tratamientos a lo largo del tiempo (Figura 3e), por eso, se puede observar que los tratamientos que recibieron riego siempre tuvieron mayor  $g_s$  que los tratamientos no irrigados. Entre 208 y 381 DAC la  $g_s$  media del tratamiento irrigado con fertilización nitrogenada fue de 343.6 mmol/m<sup>2</sup>/s, seguido por el tratamiento irrigado sin nitrógeno (257 mmol/m<sup>2</sup>/s), los menores valores fueron observados en los tratamientos no irrigados, dando valores de 166.9 mmol/m<sup>2</sup>/s para el no irrigado con nitrógeno y de 100.9 mmol/m<sup>2</sup>/s para el tratamiento no irrigado sin nitrógeno. De esta manera, puede observarse que los mayores valores de  $g_s$  fueron obtenidos en los tratamientos irrigados, y que la fertilización nitrogenada contribuyó para aumentar la  $g_s$  dentro de cada nivel de irrigación.

Hubo una queda de la eficiencia cuántica potencial del fotosistema II ( $F_v/F_m$ ) en la fase de gran crecimiento vegetativo del cultivo (208 e 291 DAC) en los tratamientos no irrigados (Figura 3f). Siendo que a los 208 y 291 DAC los valores medios de la  $F_v/F_m$  de los tratamientos irrigados quedaron próximos a 0.78 – 0.80, ya en los tratamientos no irrigados la  $F_v/F_m$  media de las plantas fueron próximas a 0.73 – 0.74. A los 381 DAC no hubo diferencia en la  $F_v/F_m$  entre los tratamientos evaluados.

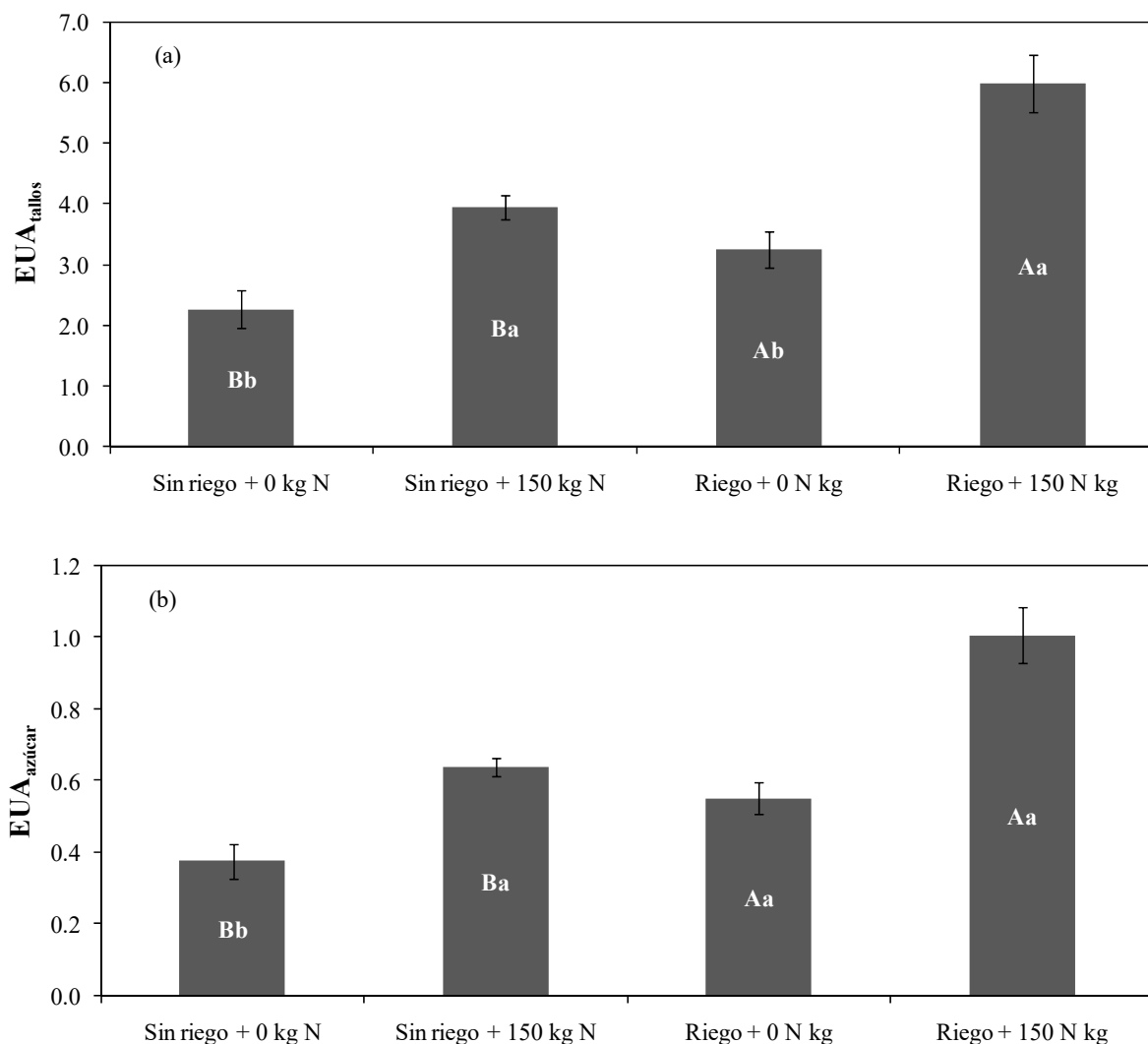
En relación al índice SPAD, CC y IAF, se observó que los mayores valores fueron obtenidos en los tratamientos con nitrógeno, tanto en presencia como en ausencia del riego. Estudios ya demostraron una correlación positiva entre el índice SPAD y el contenido de clorofila, tanto en condiciones con y sin déficit hídrico. En relación a los efectos de la fertilización nitrogenada sobre esos parámetros Zhao et al. (2014) estudiaron como el efecto de cuatro dosis de N en el cultivo de caña de azúcar (0, 75, 150 e 225 kg/ha) y observaron aumento lineal de la área foliar de las plantas en función de la fertilización nitrogenada, como también, observaron aumento del índice SPAD en las hojas de las plantas. Por lo tanto, el aumento del índice SPAD, de la CC y del IAF en función de la fertilización nitrogenada está relacionado al hecho de que el N es el principal componente de la clorofila y de las enzimas de asimilación de CO<sub>2</sub>, phosphoenolpyruvate (PEP) y ribulosa biphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco), y que la presencia de este nutriente contribuyó fuertemente en el aumento del área foliar de la caña de azúcar (Robinson et al., 2013).



**Figura 3.** Parámetros fisiológicos del cultivo de caña de azúcar, (a) índice de área foliar (*IAF*); (b) Índice SPAD; (c) Contenido de clorofila *a+b* (*CC a + b*); (d) Contenido relativo de agua (*CRA*); (e) Conductancia estomática ( $g_s$ ); (f) Eficiencia cuántica potencial del fotosistema II ( $F_v/F_m$ ) bajo tratamientos sin riego (Sin riego) y con riego por goteo subsuperficial (Riego) y con dos dosis de nitrógeno, 0 e 150 kg de N/ha.

La eficiencia en el uso del agua así como la producción de tallos ( $EUA_{\text{tallos}}$ ) fueron fuertemente influenciada por los tratamientos empleados (Figura. 4a). La menor  $EUA_{\text{colmo}}$  fue obtenida en el tratamiento no irrigado y sin fertilización (2.26), siendo que en el tratamiento no irrigado con fertilización nitrogenada la  $EUA_{\text{tallos}}$  fue 3.94, aumentó 74%. La  $EUA_{\text{tallo}}$  en el tratamiento irrigado sin N fue de 3.24, ya en de N la  $EUA_{\text{tallos}}$  fue de 5.99, aumento de 84%. Se observó también, que la  $EUA_{\text{tallos}}$  del tratamiento no irrigado con N fue 21% mayor de que la  $EUA_{\text{tallos}}$  del tratamiento irrigado con N. Así como en la  $EUA_{\text{tallo}}$ , se observó que la mayor  $EUA_{\text{azúcar}}$  fue obtenida en el tratamiento

irrigado con N (1.0), seguida por los tratamientos no irrigado con N (0.63), irrigado con N (0.55) y no irrigado sin N (0.37).



**Figura 4.** Eficiencia de uso del agua en tallos ( $EUA_{\text{tallos}}$ ) (a) y de azúcar ( $EUA_{\text{azúcar}}$ ) (b) del cultivo de caña de azúcar en áreas de secano (Sin riego) y área irrigada por goteo subsuperficial (Riego) en dos dosis de nitrógeno, 0 e 150 kg de N/ha.

Para Doorembo y Kassam (1979), la EUA en el cultivo de caña de azúcar puede variar de 5 a 8  $\text{kg}/\text{m}^3$ . De los tratamientos evaluados en este estudio, sólo el irrigado con N alcanzó valores presentados arriba, siendo así, la  $EUA_{\text{tallos}}$  del cultivo de caña de azúcar en regiones de secano está por debajo de los valores ideales para el cultivo, que puede ser causado tanto por la menor disponibilidad de agua para el cultivo, como también, por la gran reducción en la producción del cultivo en este sistema de cultivo. Resultados similares fueron observados por Farias et al. (2008), siendo que en el cultivo de secano la  $EUA_{\text{tallos}}$  fue de 2.99, ya cuando se utilizó riego correspondiente al 25% de la evapotranspiración, la  $EUA_{\text{tallos}}$  aumentó para 5.31, llegando a 7.31 con 50% de la evapotranspiración del cultivo. En un estudio realizado por Oliveira et al. (2011) en once cultivares de caña de azúcar, fue



observado que el riego aumento en média 99% la EUA en comparación al cultivo realizado em condiciones de secano.

## CONCLUSIÓN

Los efectos del riego y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y los parámetros fisiológicos del cultivo de caña de azúcar son positivos. Los resultados muestran que la producción de tallos aumenta en presencia de riego, y que, la fertilización nitrogenada contribuyó aún más en ese aumento. De esta manera, el riego superficial por goteo junto con la fertilización nitrogenada, son una excelente herramienta para aumentar el rendimiento del cultivo y la EUA, así como, una importante herramienta para atenuar los efectos causados por el déficit hídrico em el cultivo de caña de azúcar.

## REFERENCIAS

- Conab, Companhia Nacional de Abastecimento (2015). Acompanhamento da safra: cana-de-açúcar, v.2, safra 2015/2016. Conab, Brasília. Available in <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_04\\_13\\_09\\_39\\_02\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_1o\\_lev\\_-\\_15-16.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_09_39_02_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_15-16.pdf)>. Acesso em Abril de 2016.
- Doorenbos J, Kassam AH. (1979). Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome: FAO.
- Farias CHA, Fernandes PD, Dantas Neto J, Gheyi HR. (2008). Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. Engenharia Agrícola 28:494-506.
- Gava GJC, Silva MA, Silva RC, Jeronimo EM, Cruz JCS, Kölln OT. (2011). Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 15: 250–255.
- Jamaux I, Steinmertz A, Belhassen E. (1997). Looking for molecular and physiological markers of osmotic adjustment in sunflower. New Phytologist 137: 117-127.
- Oliveira ECA, Freire FJ, Oliveira AC, Simões Neto DE, Rocha AT, Carvalho LA. (2011). Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. Pesquisa Agropecuária Brasileira 46: 617-625.
- Oliveira RC, Cunha FN, Silva NF, Teixeira MB, Soares FA, Megguer CA. (2014). Productivity of fertirrigated sugarcane in subsurface drip irrigation system. African Journal of Agricultural Research 9: 993-1000.
- Porra RJ, Thompsom WA, Kriedermann PE. (1989). Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectrometry. Biochimica et Biophysica Acta 975: 384-394.
- Robinson N, Vogt J, Lakshmanan P, Schmidt S. (2013). Nitrogen physiology of sugarcane, in: Moore PH, Bonnett GD (Eds). Sugarcane: physiology, biochemistry and functional biology. Wiley & Sons., Iowa, pp. 169-196.
- Silva MA, Arantes MT, Rhein AFL, Gava GJC, Kölln OT. (2014). Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 18: 241-249.
- Toppa EVB, Jadoski CJ, Julianetti A, Hulsho T, Ono EO, Rodrigues JD. (2010). Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). Applied Research & Agrotechnology 3: 1215-221.
- Vieira GHS, Mantovani EC, Sedyama GC, Delazari FT. (2014). Produtividade e rendimento industrial da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. Bioscience Journal 30: 55-64.

- Wiedenfled B, Enciso J. (2008). Sugarcane responses to irrigation and N in semiarid South Texas. *Agronomy Journal* 100: 665–671.
- Wiedenfled B. (2004). Scheduling water application on drip irrigated sugarcane. *Agricultural Water Manage* 64: 169–181.
- Wiedenfled RP. (1995). Effects of irrigation and N fertilizer application on sugarcane yield and quality. *Field Crops Research* 43: 101–108.
- Zhao D, Glaz B, Comstock JC. (2014). Physiological and growth responses of sugarcane genotypes to nitrogen rate on a sand soil. *Journal of Agronomy and Crop Science* 200: 290-301.