

RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) BAJO SUSPENSIÓN DE RIEGO PREVIO A LA COSECHA

RELATIONSHIP BETWEEN PHYSIOLOGICAL PARAMETERS IN SUGAR CANE (*Saccharum* spp.) UNDER IRRIGATION SUSPENSION PRIOR TO THE HARVEST

Méndez-Adorno, J.M.¹; Salgado-García, S.²; Lagunes-Espinoza, L.C.^{2*}; Mendoza-Hernández, J.R.H.²; Castelán-Estrada, M.²; Córdova-Sánchez, S.³; Hidalgo-Moreno, C.I.⁴

¹ Posgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina s/n, 86500 H. Cárdenas, Tabasco. ² Posgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco Grupo MASCAÑA-LPI-2: AEES. Periférico Carlos A. Molinas s/n, 86500 H. Cárdenas, Tabasco, México. ³ Agronomía, Universidad Popular de la Chontalpa. H. Cárdenas, Tabasco. ⁴ Posgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, Carr. México-Texcoco Km. 36.5, Texcoco, Estado de México.

*Autor responsable: lagunes@colpos.mx

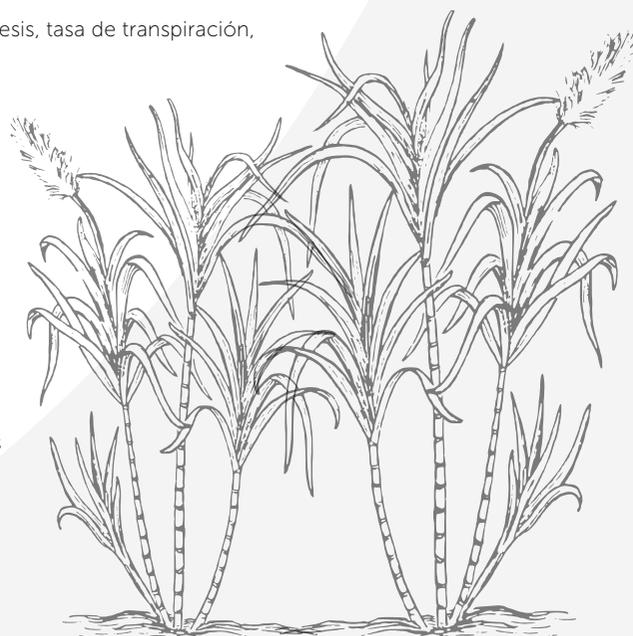
RESUMEN

En caña de azúcar (*Saccharum* spp.), durante la maduración del cultivo es necesario un déficit hídrico para restringir crecimiento vegetativo y promover acumulación de sacarosa en tallos, afectando procesos fisiológicos y respuesta compensatoria ante el estrés. Se evaluó la respuesta de la tasa de fotosíntesis (A), tasa de transpiración (E) y conductancia estomática (g_s) en las variedades Mex69-290 y CP72-2086 sometidas a suspensión de riego 15, 30, 45, 60 y 75 días previos a la cosecha. Los tratamientos de suspensión afectaron significativamente los parámetros fisiológicos evaluados. La tasa de fotosíntesis y conductancia estomática disminuyeron con la duración del tratamiento. El efecto de la variedad solo fue observado para tasa de fotosíntesis y tasa de transpiración. El análisis de varianza mostró interacción significativa entre tratamientos y variedades, indicando que la respuesta de la variedad en relación con las variables evaluadas depende de la disponibilidad de agua en el suelo. Alta correlación se observó entre E y g_s en ambas variedades. Bajo las mismas condiciones de estrés hídrico, la variedad Mex 69-290 registró mayor E ($4.69 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) que CP72-2086 ($2.92 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Palabras claves: *Saccharum officinarum*, déficit hídrico, tasa de fotosíntesis, tasa de transpiración, conductancia estomática

ABSTRACT

In sugar cane (*Saccharum* spp.), water deficit is necessary during crop maturation to restrict vegetative growth and promote the accumulation of saccharose in the stems, affecting physiological processes and the compensatory response when exposed to stress. The response in photosynthesis rate (A), transpiration rate (E) and stomata conductance (g_s) in cultivars Mex69-290 and CP72-2086 subjected to irrigation suspension for 15, 30, 45, 60 and 75 days prior to the harvest was evaluated. The suspension treatments affected the physiological parameters



Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 3, marzo, 2016. pp: 15-20.

Recibido: septiembre, 2015. **Aceptado:** marzo, 2016.

evaluated significantly. The photosynthesis rate and stomata conductance decreased with the duration of the treatment. The effect of the cultivar was only observed for the photosynthesis rate and transpiration rate. The variance analysis showed a significant interaction between treatments and cultivars, indicating that the response of the cultivar in relation to the cultivars evaluated depends on the water availability in the soil. A high correlation was observed between E and g_s in both cultivars. Under the same conditions of water stress, the Mex 69-290 cultivar showed a higher E ($4.69 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) than CP72-2086 ($2.92 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Keywords: *Saccharum officinarum*, water deficit, photosynthesis rate, transpiration rate, stomata conductance.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es ampliamente cultivada en regiones tropicales y subtropicales para producción de azúcar y recientemente para biocombustible (Wang *et al.*, 2013). Durante su maduración, los tallos acumulan sacarosa en células del parénquima, y las hojas disminuyen su actividad fotosintética significativamente ya que esta actividad es determinada por la demanda de carbono (C) en los tejidos de demanda en los tallos (McCormick *et al.*, 2009), aunque la deficiencia de nitrógeno en hojas maduras de caña de azúcar también causa algunas veces depresión de la fotosíntesis (Wang *et al.*, 2013). Varios procesos fisiológicos pueden limitar el grado de acumulación de sacarosa en tallos de *Saccharum spp.*, entre ellos la tasa fotosintética y repartición de C en los tallos, la sensibilidad de la fuente fotosintética a la demanda, así como, la duración y tiempo de maduración (McCormick *et al.*, 2008). Estos procesos son afectados por eventos bióticos o abióticos lo que incide en el rendimiento de biomasa y sacarosa (Inman-Bamber y Smith, 2005). Particularmente el contenido de sacarosa en los tallos varía con la variedad, edad del cultivo, tiempo de cosecha y estrés hídrico (Singels *et al.*, 2005). El estrés hídrico es uno de los factores más limitantes de la productividad de cultivos a nivel mundial (Inman-Bamber *et al.*, 2012). En caña de azúcar el déficit afecta la planta entera, entre y dentro de variedades, a través de la disminución en la conductancia estomática y tasa de fotosíntesis (Perez

da Graça *et al.*, 2010). En la etapa de maduración del cultivo se requiere de periodos limitantes en agua para restringir crecimiento vegetativo y promover acumulación de sacarosa en tallos. Durante esta etapa los procesos fisiológicos cambian debido a mayor longevidad de las hojas y menor respuesta compensatoria ante algún estrés abiótico (Smit y Singels, 2006). En Sudáfrica se ha observado que varios tratamientos de suspensión del riego antes del periodo de cosecha incrementan el contenido de sacarosa en 18% y reducen el rendimiento en biomasa, debido a la relativa insensibilidad de los estomas al estrés lo que puede afectar menos la tasa de fotosíntesis y acumulación de sacarosa (Inman-Bamber y Smith, 2005).

La caña de azúcar requiere aproximadamente 1500 mm de agua para su normal desarrollo (Irvine, 1983). En el área del Ingenio Pujiltic, Chiapas, México, se registra una precipitación de 950 a 1250 mm (Salgado *et al.*, 2008), por lo que se aplican riegos de auxilio incluso durante la etapa de maduración del cultivo para mantener la humedad del suelo. La aplicación del riego durante ésta etapa puede favorecer el crecimiento del cultivo y reducir la acumulación de sacarosa (Inman-Bamber y Smith, 2005). El efecto de la suspensión de riegos de auxilio durante éste periodo ha sido ampliamente estudiado, pero su efecto sobre la actividad fotosintética y parámetros relacionados ha sido menos documentado, y es importante para conocer las relaciones existentes entre variedades que permitan predecir su comportamiento. Por ello se evaluó la respuesta fisiológica de la caña de azúcar sometida a suspensión de riego a 75, 60, 45, 30 y 15 días antes de la cosecha bajo condiciones de campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en dos parcelas de productores del área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic, Chiapas, México ($16^{\circ} 17' 32'' \text{ N}$ y $92^{\circ} 25' 17'' \text{ W}$), cultivadas con las variedades MEX69-290 y CP72-2086 establecidas el 17 de diciembre de 2010 y cosechadas el 24 de marzo de 2012, a una altitud media de 625 m con clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperatura promedio anual de 25° C y precipitación anual de 1006 mm (Conagua, 2010). Cada parcela se dividió en cinco secciones de forma tal que una sección correspondiera a un tratamiento de suspensión de riego. Estos tratamientos se ubicaron en función de la "regadera" (llegada del agua) en la parcela (Figura 1). El manejo agronómico estuvo a cargo de cada productor cooperante



Figura 1. Regadera en parcela de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) del área de abastecimiento del Ingenio Pujiltilic, Chiapas, México.

y consistió en resiembra, cultivo con ganchos, control de malezas y fertilización aplicada a 2.5 meses de edad usando las fuentes 17N-17P-17K y urea (46N-00-00) (Salgado *et al.*, 2008), para mantener el cultivo sin estrés nutrimental. Se utilizó un diseño factorial 2×5 con dos cultivares de caña (variedad de maduración temprana CP72-2086 establecida en suelo Vertisol éutrico y variedad de maduración media Mex69-290 en un suelo Gleysol mólico (Salgado *et al.*, 2008) y cinco niveles de suspensión del riego a 15, 30, 45, 60 y 75 días antes de la cosecha con cinco repeticiones.

tesis (A), tasa de transpiración (E) y conductancia estomática (g_s). En cada hoja se tomaron lecturas en el tercio medio, con un equipo portátil para medir fotosíntesis marca ADC modelo LCi, BioScientific Ltd., Hoddesdon, UK, con un total de 92 mediciones por tratamiento. Las mediciones fueron hechas entre las 10:00 am y 14:00 pm, con una radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAi) de 800 a 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Los datos obtenidos para cada variable fueron sometidos a análisis de varianza bajo un diseño factorial y prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) con el programa SAS 9.3., así como, regresiones con el programa Excel®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos de suspensión de riego afectaron significativamente a los parámetros fisiológicos evaluados (Cuadro 1). La tasa de fotosíntesis y conductancia estomática disminuyeron con la duración del tratamiento (Cuadro 2). El efecto de la variedad solo fue observado para tasa de fotosíntesis y tasa de transpiración. El análisis de varianza también mostró interacción significativa entre tratamientos y variedades, indicando que la respuesta de la variedad en relación con las variables evaluadas dependió de la disponibilidad de agua en el suelo. Resultados similares del efecto del estrés hídrico sobre parámetros fisiológicos en caña de azúcar han sido observados por Perez da Graça *et al.* (2010 y Da Silva *et al.* (2012) mencionando que las variedades de caña de azúcar difieren en el tiempo de maduración. Cardozo *et al.* (2013) reportan que los cultivares de maduración temprana tienden a ser más sensibles a las condiciones climáticas, especialmente al déficit

Al finalizar cada tratamiento, a los 14 y 15 meses de edad de la caña, en la cuarta hoja (contada en sentido apical hacia basal) de dos tallos tomados al azar en cuatro cepas de caña (ocho tallos) se midió la tasa de fotosíntesis

Cuadro 1. Análisis de varianza para la tasa de fotosíntesis (A), tasa de transpiración (E) y conductancia estomática (g_s) de dos variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) bajo suspensión de riego previo a cosecha en Ingenio Pujiltilic, Chiapas, México.

Fuente de variación	GL	Cuadrado medio		
		A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	E $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$g_s \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Suspensión riego (SR)	4	415.7***	7.29**	0.02***
Variedad (V)	1	128.1*	462.8***	0.0036NS
SR*V	4	130.7**	39.8***	0.0041NS
Error		26.3	1.51	0.0011

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$, NS: No significativo.

Cuadro 2. Medias de tasa de fotosíntesis (A), tasa de transpiración (E) y conductancia estomática (g_s) del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en tratamientos de suspensión de riego en Ingenio Pujiltilic, Chiapas, México.

Suspensión del Riego	A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	E $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$g_s \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
15 días	11.11b	4.02bc	0.09b
30 días	12.91c	4.15c	0.11c
45 días	11.24bc	3.60a	0.09b
60 días	8.49a	3.67ab	0.07a
75 días	8.42a	3.59a	0.07a
CP72-2086	9.97a	2.92a	0.08a
Mex69-290	10.9b	4.69b	0.09b

de agua y por lo tanto maduran antes. Mientras que los cultivares de maduración tardía son menos sensibles a tales condiciones alcanzando niveles más altos de sacarosa al final de la estación de cosecha.

Esta sensibilidad de las variedades al estrés hídrico observada en el estudio se atribuyó a que la repuesta de la variedad dependió de la duración del periodo de estrés antes de la cosecha (Figura 2). La tasa fotosintética (A), la tasa de transpiración (E) y la conductancia estomática (g_s) disminuyeron en la variedad temprana CP72-2086 conforme aumentó el número de días que el cultivo permaneció sin riego, lo cual fue indicativo de que esta variedad ha completado su ciclo y sus hojas han iniciado el proceso de senescencia, ya que el estrés hídrico causa reducción significativa en la tasa de aparición de hojas y acelera la senescencia en las hojas más viejas, lo que conlleva a un menor número de hojas verdes maduras (Smit y Singels, 2006). Estos autores observaron reducción en número de hojas de 10.8 a 5.2 para la variedad N22 después de 38 días de suspensión de riego.

En contraste la variedad de maduración media Mex 69-290 también disminuyó la tasa de fotosíntesis y g_s con la duración de la suspensión del riego, sin embargo a los 75 días se registró aumento en ambas variables, y de igual forma se observó con E, lo cual sugiere que esta variedad continúa su maduración bajo las mismas condiciones de falta de agua en el suelo. Diferencias significativas en tasa de fotosíntesis relacionadas con la edad de la planta han sido observadas en hojas individuales de caña de azúcar (McCormick *et al.*, 2008). Plantas jóvenes asimilan a tasas significativamente más altas que las plantas viejas, debido a que la tasa de fotosíntesis es dependiente de la edad y la acumulación de sacarosa en los tallos maduros influye en la actividad fotosintética de la hoja.



Da Silva *et al.* (2012) reportan que bajo estrés hídrico la variedad RB867515 mostró mejor desempeño al mantener alta tasa fotosintética ($7.96 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), g_s ($0.08 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), tasa de transpiración ($1.88 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en relación con la variedad RB92579. Las relaciones entre parámetros fisiológicos evaluados por tiempo de suspensión de riego no siempre muestran una

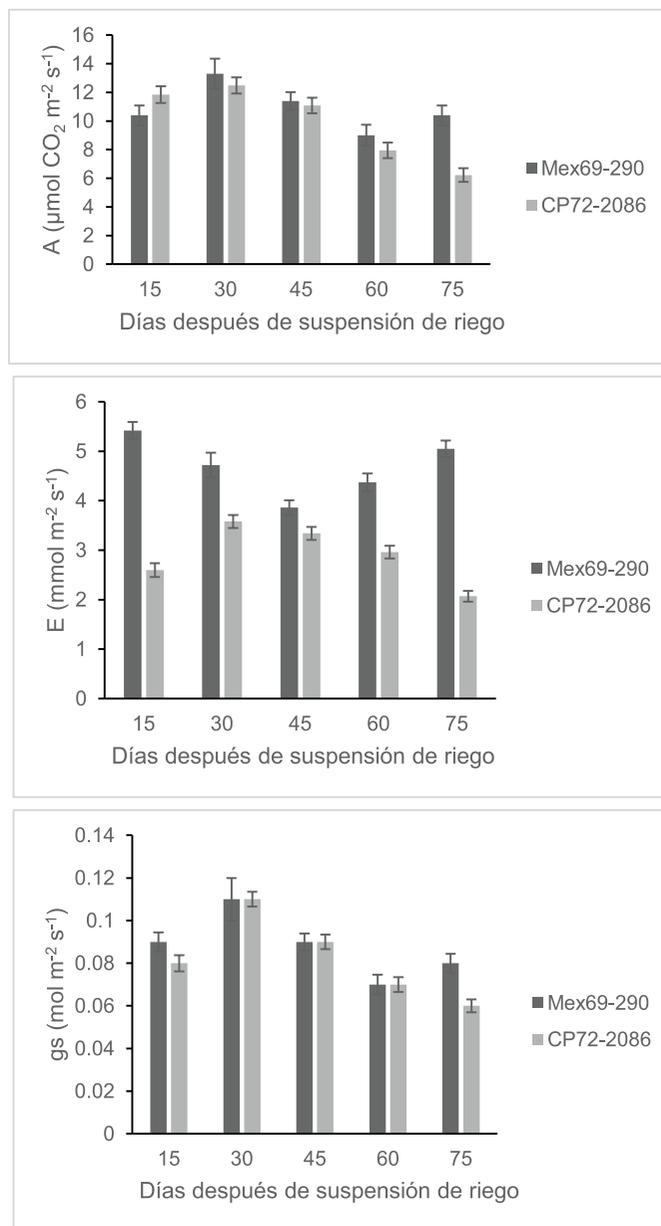


Figura 2. Efecto de suspensión del riego a partir de 75 días antes de la cosecha en variedades de *Saccharum* spp., CP72-2086 y Mex69-290, en Ingenio Pujilic, Chipas, México.

tendencia lineal. La Figura 3 indica las relaciones entre conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis de las variedades considerando 15 y 75 días de suspensión de riego previo a la cosecha. En ambas variedades se observa una relación lineal entre E y g_s en ambas condiciones de estrés, indicando una reacción generalizada al estrés donde el cierre estomático es una respuesta para reducir la pérdida de agua vía transpiración (Inman-Bamber y Smith, 2005). En contraste con E, la respuesta de A al cierre estomático presenta mayor variación. Singels *et al.* (2010) y Da Silva *et al.* (2012), analizando los componentes fisiológicos para selección de variedades de caña de azúcar tolerantes

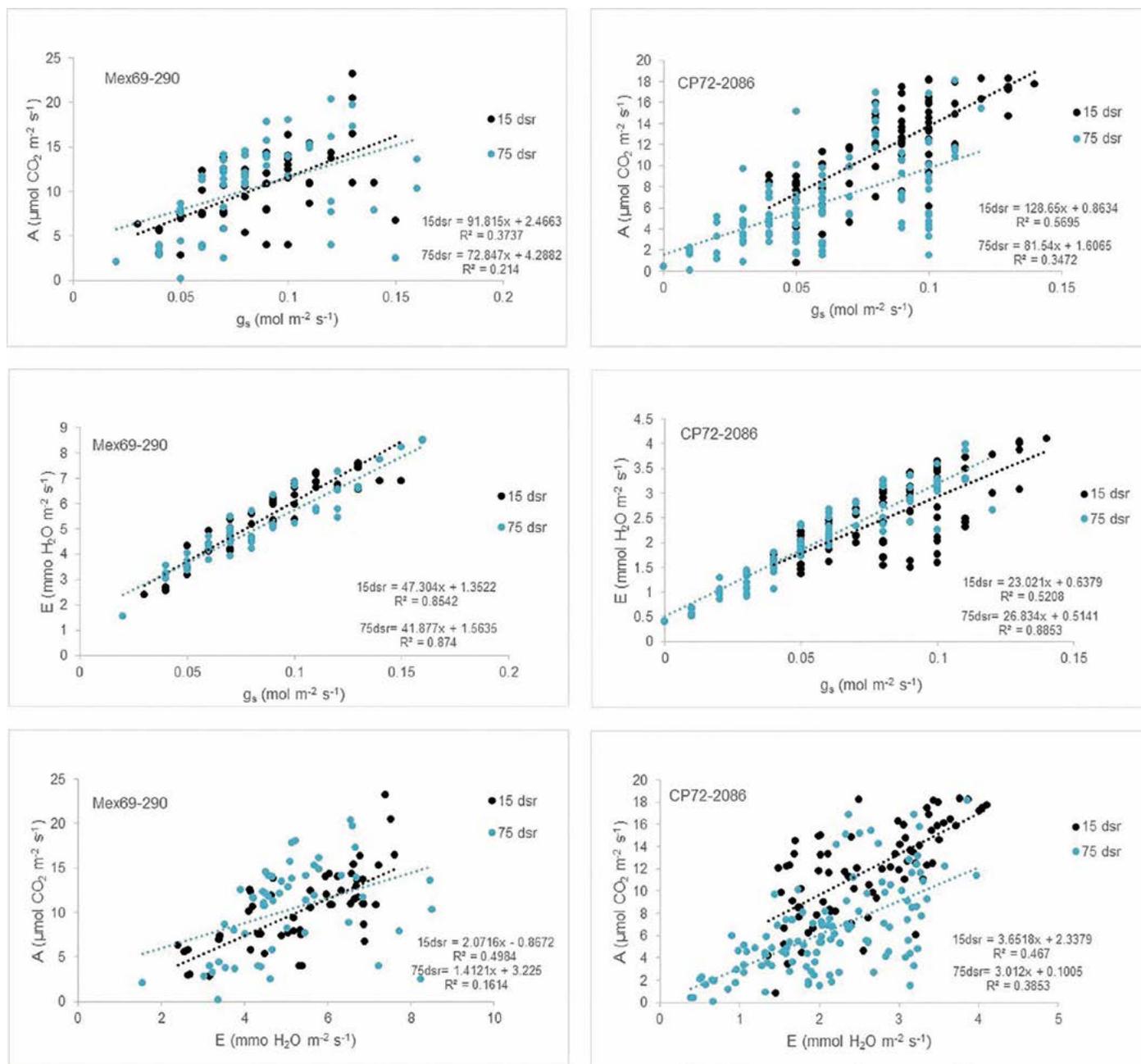


Figura 3. Relaciones entre la conductancia estomática (g_s), tasa de transpiración (E) y tasa de fotosíntesis (A) en *Saccharum* spp., variedades CP72-2086 y Mex69-290 bajo suspensión de riego 15 y 75 días previo a la cosecha en el Ingenio Pujilic, Chiapas, México. dsr=días de suspensión de riego previo a la cosecha.

a sequía observaron altas y significativas correlaciones genéticas entre la conductancia estomática, la tasa de transpiración y el índice SPAD (medición de clorofila), por lo que concluyen que estos parámetros pueden ser considerados para seleccionar variedades de caña de azúcar más productivas y tolerantes a déficit hídrico, lo cual promovería ganancias en tasas fotosintéticas. La evaluación de estos parámetros fisiológicos durante el crecimiento del cultivo de caña en diferentes variedades y condiciones de estrés hídrico son necesarios para

conocer la respuesta al estrés hídrico de las variedades presentes en los campos cañeros y definir criterios de selección.

CONCLUSIONES

La suspensión del riego en la fase de madurez del cultivo de caña de azúcar mostró diferencias entre variedades para los parámetros fisiológicos evaluados, indicando que la respuesta al estrés depende de la variedad, bajo condiciones de campo.



AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Produce Chiapas, A.C., Al ingenio Pujiltilic, y a la LPI-2 Agroecosistemas sustentables por el apoyo económico y logístico para realizar el presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Cardozo N.P., Sentelhas P.C. 2013. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. *Scientia Agricola* 70(6): 449-456.
- Conagua 2010. Estadísticas del Agua en México, edición 2010. www.conagua.gob.mx.
- Da Silva P.P., Soares L., Gomes da Costa J., da Silva V.L., Farias de Andrade J.C., Rebelo G.E., dos Santos J.M., de Souza B.G.V., Nascimento V.X., Reis T.A., Riffel A., Grossi-de-Sa M.F., Pereira B.M.H., Goulart S.A.E., Ramalho N.C.E. 2012. Path analysis for selection of drought tolerant sugarcane genotypes through physiological components. *Industrial Crops and Products* 37: 11-19.
- Inman-Bamber N.G., Lakshmanan P., Park S. 2012. Sugarcane for water-limited environments: Theoretical assessment of suitable traits. *Field Crops Research*. 134: 95-104.
- Inman-Bamber N.G., Smith D.M. 2005. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research* 92: 185-202.
- Irvine J.E. 1983. Sugarcane. *En: Potential productivity of field crops under different environments*. International Rice Research Institute (IRRI). Los Baños, Laguna. Filipinas. pp. 361-381.
- McCormick A.J., Cramer M.D., Watt D.A. 2008. Culm sucrose accumulation promotes physiological decline of mature leaves in ripening sugarcane. *Field Crops Research* 108: 250-258.
- McCormick A.J., Watt D.A., Cramer M.D. 2009. Supply and demand: sink regulation of sugar accumulation in sugarcane. *Journal of Experimental Botany* 60(2): 357-364.
- Perez da Graça J., Rodríguez F.A., Bouças F.J.R., Neves de Oliveira M.C., Hoffmann-Campo C.B., Zingaretti S.M. 2010. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 22(3): 189-197.
- Salgado-García S., Palma-López D.J., Zavala-Cruz J., Lagunes-Espinoza L.C., Castelán-Estrada M., Ortiz-García C.F., Juárez-López J.F., Rincón-Ramírez J.A., Hernández-Nataren E. 2008. Programa sustentable de fertilización para el ingenio Pujiltilic, Chiapas, México. *Terra-Latinoamericana* 26 (4):361-373.
- Singels A., Donaldson R.A., Smit M.A. 2005. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. *Field Crops Research* 92: 291-303.
- Singels A., van den Berg M. Smit M.A., Jones M.R., van Antwerpen R. 2010. Modelling water uptake, growth and sucrose accumulation of sugarcane subjected to water stress. *Field Crops Research* 117: 59-69.
- Smit M.A., Singels A. 2006. The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research* 98: 91-97.
- Wang J., Nayak S., Koch K., Ming R. 2013. Carbon partitioning in sugarcane (*Saccharum* species). *Frontiers in Plant Science* 4(201): 1-6.

