



ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE CULTIVARES DE CAÑA DE AZÚCAR A TRAVÉS DE LA EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y MATERIA SECA †

[ANALYSIS OF THE GROWTH OF SUGARCANE CULTIVARS THROUGH THE EVALUATION OF YIELD AND DRY MATTER]

José Izquierdo-Hernández¹, Samuel Córdova-Sánchez^{*3},
Luz del C. Lagunes-Espinoza¹, David J. Palma-López¹
and Juan J. Peña Cabriales²

¹Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, Grupo MASCAÑA. Km. 3.5 Periférico Carlos A. Molina S/N. H. Cárdenas, Tabasco. CP 86500. México. Email: izquierdo.jose@colpos.mx, lagunes@colpos.mx, dapalma@colpos.mx

²El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Irapuato. Libramiento Norte Carretera Irapuato León Kilómetro 9.6, Carr Panamericana Irapuato León, 36821 Irapuato, Gto. México. Email: jpena@ira.cinvestav.mx

³Universidad Popular de la Chontalpa. CA-QVyDS. Carretera Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2.0 Cárdenas, Tabasco, México. Email: sacorsa_1976@hotmail.com

*Corresponding author

SUMMARY

Background: The production of aboveground biomass of sugarcane is mainly due to the interactions between edaphic, climatic, and genetic factors. **Objective:** To evaluate the growth of three sugarcane cultivars through the evaluation of yield and dry matter accumulation, during the templete and soca cultivation cycles, in the supply area of the Santa Rosalía de la Chontalpa Sugar Mill. **Methodology:** In the supply area of the Santa Rosalía de la Chontalpa Sugar Mill (ISRCH), Tabasco, an experiment was established under rainfed conditions, during two cycles (plantilla and soca), with three cultivars (MEX69-290, MEX79-431 and CP72-2086), established in a eutric Fluvisol soil. In each plot, five observation sites of 30 x 30 m were set up, in which the production of stems and biomass was determined. **Results:** In the plant cycle, the cane yield at 450 days after sowing (DAS) followed the following order CP72-2086 > MEX79-431 > MEX69-290 with 144.73, 130.09 and 94.18 t ha⁻¹, respectively. On the contrary, in ratoon 360 days after harvest (DAH), MEX69-290 presented higher stem yield. In ratoon cycle, the stems yield decreased 14.5, 30.9 and 32.5% for MEX69-290, MEX79-431 and CP72-2086, respectively, compared to the plant cycle. The maximum absolute growth rate reached by the evaluated cultivars was 187, 192 and 262 kg ha⁻¹ day⁻¹ at 210 DAS in the plant cycle and 193, 177 and 151 kg ha⁻¹ day⁻¹ at 180 DAH in ratoon cycle for MEX69-290, CP72-2086 and MEX79-431, respectively. **Implications:** This allows knowing the growth rate of sugarcane cultivation in the humid tropics. **Conclusions:** The yield and harvest index of sugarcane varies with respect to the age of the crop (Cycle) and the cultivar. **Key words:** harvest index; humid tropics; growth rate.

RESUMEN

Antecedentes: La producción de biomasa aérea de caña de azúcar se debe principalmente a las interacciones entre los factores edáficos, climáticos y genéticos. **Objetivo:** Evaluar el crecimiento de tres cultivares de caña de azúcar a través de la evaluación del rendimiento y la acumulación de materia seca, durante los ciclos de cultivo plantilla y soca, en el área de abastecimiento del Ingenio Santa Rosalía de la Chontalpa. **Metodología:** En el área de abastecimiento del Ingenio Santa Rosalía de la Chontalpa (ISRCH), Tabasco se estableció un experimento en condiciones de temporal, durante dos ciclos (plantilla y soca), con tres cultivares (MEX69-290, MEX79-431 y CP72-2086), establecidos en un suelo Fluvisol eútrico. En cada parcela se establecieron cinco sitios de observación de 30 x 30 m, en los cuales se determinó la producción de tallos y biomasa. **Resultados:** En ciclo plantilla, el rendimiento de caña a 450 días después de la siembra (DDS) siguió el siguiente orden CP72-2086 > MEX79-431 > MEX69-290 con 144.73, 130.09 y 94.18 t ha⁻¹

† Submitted August 28, 2023 – Accepted November 15, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5129>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = José Izquierdo-Hernández: <https://orcid.org/0000-0003-1213-5124>; Samuel Córdova-Sánchez: <https://orcid.org/0000-0002-0705-5456>; Luz del C. Lagunes-Espinoza: <http://orcid.org/0000-0002-1632-5278>; David J. Palma-López: <https://orcid.org/0000-0002-9606-0379>; Juan J. Peña Cabriales: <https://orcid.org/0000-0003-4942-8924>

¹, respectivamente. Contrariamente, en soca a 360 días después de la cosecha (DDC), MEX69-290 presentó mayor rendimiento de tallos. En ciclo soca, el rendimiento de tallos disminuyó 14.5, 30.9 y 32.5% para MEX69-290, MEX79-431 y CP72-2086, respectivamente, en comparación al ciclo plantilla. La tasa de crecimiento absoluto máxima alcanzada por los cultivares evaluados fue de 187, 192 y 262 kg ha⁻¹ día⁻¹ a los 210 DDS en plantilla y 193, 177 y 151 kg ha⁻¹ día⁻¹ a los 180 DDC en soca para MEX69-290, CP72-2086 y MEX79-431, respectivamente. **Implicaciones:** esto permite conocer la tasa de crecimiento del cultivo de caña de azúcar en el trópico húmedo. **Conclusiones:** El rendimiento e índice de cosecha de caña de azúcar varía con respecto a la edad del cultivo (Ciclo) y el cultivar. **Palabras clave:** índice de cosecha; trópico húmedo; tasa de crecimiento.

INTRODUCCIÓN

El ingenio Santa Rosalía de la Chontalpa (ISRCH) es el segundo en importancia en el estado de Tabasco, ya que tiene una superficie cultivada de 12 248 ha, con un rendimiento promedio anual de caña de 56.5 t ha⁻¹, menor a la media de la región sureste (63.2 t ha⁻¹) y a la media nacional (65.1) t ha⁻¹ y un rendimiento promedio anual de fábrica de 9.91%, siendo menor a la media nacional (11.27) (CNPR, 2019). El crecimiento de la caña de azúcar ocurre a través de la interacción del cultivo con factores ambientales, y la mejor comprensión de las interacciones puede obtenerse mediante el análisis cuantitativo del crecimiento durante su desarrollo, lo que permite utilizar índices fisiológicos para verificar las diferencias entre los cultivares y modelar el crecimiento en diferentes prácticas de manejo y ambientes de producción (Marafon, 2012); así mismo, permite la identificación de la capacidad productiva de diferentes cultivos y cultivares y también analizar los efectos del manejo del cultivo (Torres *et al.*, 2015). Así como, la identificación de las probables variaciones en el desarrollo de la caña de azúcar que ocurren durante el ciclo lo que es fundamental para que se pueda modelar y cuantificar el crecimiento en los diferentes ambientes de producción (Bravo-Mosqueda *et al.*, 2014). Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento de tres cultivares de caña de azúcar a través del rendimiento y la acumulación de materia seca, durante los ciclos de cultivo plantilla y soca, en el área de abastecimiento del Ingenio Santa Rosalía de la Chontalpa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se establecieron en condiciones de temporal (sin riego): uno en el ciclo de caña planta y otro en ciclo soca en el área de abastecimiento del ISRCH, el cual está ubicado en la Ranchería el Huiral y el Ejido Zapotal, dentro del área de estudio, sobre la carretera Cárdenas-Comalcalco, Tabasco, México.

Se seleccionaron nueve parcelas comerciales de los cultivares más representativos del área de influencia del ingenio (tres por cada cultivar: MEX 69-290, MEX 79-431 y CP 72-2086) sobre un suelo Fluvisol eútrico, en cada parcela se establecieron cinco sitios de observación de 30 x 30 m, en los cuales se llevaron a cabo las mediciones de producción de tallos y materia

seca. El clima del lugar es caliente y húmedo, y se define como Am(i') g, con una temperatura media anual de 26 °C y una precipitación media anual de 1 879 mm, presentando la mayor precipitación (85%) entre los meses de junio a diciembre, considerándose el resto en los meses de enero a marzo, el período de mínima humedad (INEGI, 2010). La preparación del terreno consistió en un pase de arado profundo, tres pases de rastra cruzada y el surcado a 1.3 m de separación. La siembra se realizó de forma manual, a doble cordón, utilizando el método de punta y cola (troco y punta). El control de maleza se realizó con un control químico (Diuron+2-4 de amina), posteriormente se realizó un paso de cultivo.

Se establecieron dos estaciones meteorológicas WatchDog 2800® una en cada experimento: para llevar el control de la acumulación de precipitación pluvial (PP), promedio de temperatura mínima (Tmin) y máxima (Tmax). Para determinar el rendimiento (t caña ha⁻¹) se contaron los tallos molederos en 10 m lineales para obtener la cantidad de tallos m⁻¹ lineal y posteriormente este valor, se multiplicó por 7 692 que es la cantidad de m lineales ha⁻¹ de caña, surcada a 1.3 m de distancia. Posteriormente, se tomó una muestra de 10 tallos, los cuales se pesaron con punta y sin punta para obtener el peso promedio de los tallos y de la punta, con ello se obtuvo el rendimiento de caña fresca (t caña ha⁻¹) de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$\text{Rendimiento (TCH)} = (\text{Masa media de tallo})(\text{Tallos ha}^{-1})$$

Donde (TCH)= Toneladas de caña por hectárea.

Para materia seca se cosecharon al azar dos metros lineales y se pesaron, de cada muestra se separaron sus componentes (tallo y paja), se pesaron los tallos y el peso de hojas se obtuvo por diferencia, cada componente se picó por separado y se colectó una muestra de 400-500 g en sobres de papel manila, fueron secados en una estufa con flujo de aire a una temperatura de 65 °C durante 72 horas.

La estimación de valores de tasa de crecimiento absoluto (TCA), tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y del índice de cosecha (IC), se realizaron a partir de la materia seca utilizando las siguientes relaciones (Marafon, 2012; Hunt *et al.*, 2002):

$$TCA (kg \text{ dia}^{-1}) = (MS_2 - MS_1)/(t_2 - t_1)$$

$LnMS$ = materia seca por metro lineal (cosecha 1 y 2).
 t = tiempo 1 y 2.

$$TCR (g \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = (LnMS_2 - LnMS_1)/(t_2 - t_1)$$

$$TCC (g \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}) = \left(\frac{MS^2 - MS^1}{S}\right)/(t_2 - t_1)$$

Donde S = unidad de área de muestreo (m^2).

$$IC = \frac{MS \text{ tallos}}{MS \text{ total}}$$

Diseño experimental y tratamientos

El experimento contó con un diseño factorial (cultivar x fecha de muestreo). El análisis estadístico, consistió en el análisis de la varianza (ANAVA) para el efecto cultivar (C_v), fecha de muestreo (DDS en plantilla y DDC en soca) y la interacción C_v x fecha de muestreo, con un nivel de significancia $P \leq 0.05$. Se realizó la comparación múltiple de medias de Tukey, utilizando para ello, el software estadístico INFOSTAT 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 describe el comportamiento mensual de las variables climáticas tomadas de dos estaciones meteorológica WatchDog 2800® establecidas una en cada experimento: acumulación de precipitación

pluvial (PP), promedio de temperatura mínima (T_{min}) y máxima (T_{max}) y Evapotranspiración (Eto) de las estaciones climáticas ubicadas en la Ranchería el Huiral y el Ejido Zapotal, dentro del área de estudio. Se puede apreciar como en las dos localidades la dinámica de la PP se comportó de manera similar en cuanto a la distribución y volumen, las cuales ascendieron a 1 467 y 1 639 mm en ciclo plantilla y 1 705 y 1 997 mm durante el ciclo soca, para la Ranchería El Huiral y el Ejido Zapotal, respectivamente. Las diferencias observadas en los registros de ambas estaciones meteorológicas, son atribuibles a las fluctuaciones anuales del clima (2018-2019 y 2019-2020).

La T_{max} osciló entre 26.9 y 39.2 °C y la T_{min} entre 16.9 y 24.0 °C en el ciclo plantilla, mientras que, para el ciclo soca, la T_{max} varió entre 28.0 y 37.5 °C y T_{min} entre 17.6 y 24.1 °C. Estas diferencias se deben a que los ciclos se evaluaron durante dos años. Las precipitaciones fueron mayores para el ciclo plantilla entre los meses de junio a diciembre del 2019 comparados con los mismos meses del año 2020. Y con respecto a la evapotranspiración tuvo un comportamiento parecido a la precipitación.

Rendimiento de tallos ($t \text{ ha}^{-1}$)

El rendimiento del cultivo de caña de azúcar mostró diferencia estadística significativa para el factor cultivar (C_v), fecha de muestreo (DDS) y la interacción C_v x DDS (Tabla 1). Durante el ciclo plantilla, el rendimiento de tallos de los cultivares MEX 69-290 y

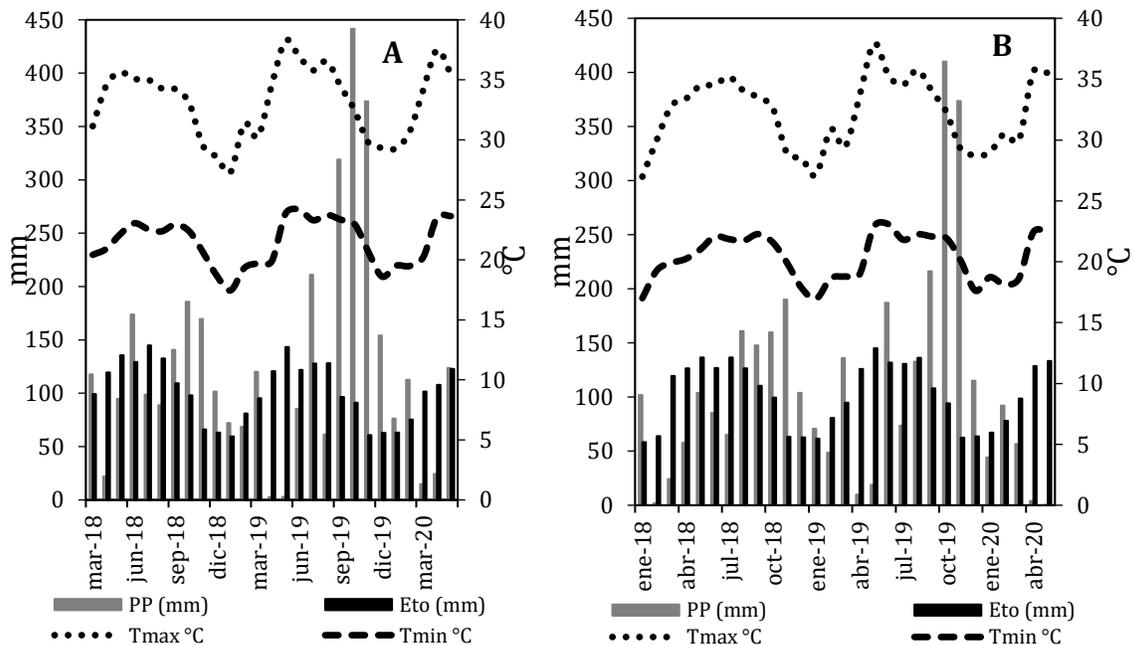


Figura 1. Datos climáticos mensuales obtenidos de dos estaciones climáticas automatizadas, instaladas en el área de abastecimiento del Ingenio santa Rosalía de la Chontalpa, durante el experimento. A) Ejido Zapotal, Cárdenas, Tabasco y B) Rancheria El Huiral, Huimanguillo, Tabasco, México.

MEX 79-431 a los 180 DDS fue afectado por los déficits hídricos del suelo presente entre los meses de abril y mayo, debido a que las precipitaciones fueron bajas (Figura 1), con el inicio de la época de lluvia el rendimiento se incrementó y alcanzó su máximo valor a los 360 DDS, fecha en que debería cosecharse para evitar pérdidas en el rendimiento como se observó a los 450 DDS. Durante el ciclo soca, el mayor rendimiento de tallos se observó a los 360 DDC. Ya que después de que termina el proceso madurez, el tallo pierde humedad y los productos fotosintéticos se acumulan principalmente en forma de sacarosa (Xiao *et al.*, 2017), por ello es necesario cosechar los tallos con el mayor contenido de sacarosa (Salgado-García *et al.*, 2011).

En el ciclo plantilla, el rendimiento de tallos de los cultivares de caña de azúcar a los 450 DDS presentó el orden de producción siguiente: CP72-2086>MEX79-431>MEX69-290 con valores de 144.73, 130.09 y 94.18 t ha⁻¹ respectivamente, similares a los descritos por Salgado *et al.* (2017). Por lo contrario, en el ciclo soca a los 360 DDC el cultivar MEX69-290 presentó mayor rendimiento de tallos (102.21 t ha⁻¹), seguido de

los cultivares MEX79-431 (98.81 t ha⁻¹) y CP72-2086 (87.46 t ha⁻¹), el mayor rendimiento se debió a que el ciclo del cultivar es más tardío.

En base a los valores promedios de producción de tallos, los cultivares de caña de azúcar en el ciclo soca en comparación con el ciclo de plantilla, presentaron una reducción del rendimiento del 14.5, 30.9 y 32.5% para MEX69-290, MEX79-431 y CP72-2086, respectivamente. Esta reducción se atribuyó a pérdida de población en el surco, ya que no se realiza la práctica de resiembra y al déficit hídrico en los meses de abril y mayo. Durante el ciclo plantilla, la dinámica de acumulación del rendimiento por los cultivares de caña de azúcar mostró un comportamiento similar durante los muestreos a los 90, 180, 270 y 360 DDS, sin embargo, en el muestreo realizado a la cosecha, el cultivar MEX69-290 mostró un descenso significativo en comparación con los otros dos cultivares, entre los cuales no hubo diferencia estadística significativa. En el ciclo soca, el rendimiento de tallos se incrementó conforme a la edad del cultivar, presentando una dinámica similar a la del ciclo plantilla, pero con valores promedio menores.

Tabla 1. Rendimiento de tallos (t ha⁻¹) de tres cultivares de caña de azúcar, durante el ciclo plantilla y soca, en el área de abastecimiento del Ingenio Santa Rosalía de la Chontalpa.

Ciclo plantilla				
Int. DDS x Cv	Cv			Media DDS †
	MEX 69-290	CP 72-2086	MEX 79-431	
90	49.68 a	44.92 a	46.18 a	46.93 a
180	50.78 a	75.50 ab	48.23 a	58.17 a
270	104.34 bcd	97.51 bc	127.28 cde	109.71 b
360	125.74 cde	124.85 cde	153.66 e	134.75 c
450	94.18 bc	144.73 de	130.09 cde	123.0 bc
Media Cv	84.95 a	97.50 ab	101.34 b	
C.V. (%):	33.54			
Probabilidad de F:		DMS		
Cv	0.0178**	13.02		
DDS	<0.0001**	19.74		
Cv*DDS	0.0013**	43.29		
Ciclo soca				
Int. DDS x Cv	Cv			Media DDC
	MEX 69-290	CP 72-2086	MEX 79-431	
180	37.41 a	38.28 a	39.41 a	38.37 a
270	78.37 bc	71.61 b	71.92 b	73.96 b
360	102.21 d	87.46 c	98.81 d	96.16 c
Media Cv	72.66 b	65.78 c	70.05 b	
C.V. (%):	13.09			
Probabilidad de F:		DMS		
Cv	0.0020**	4.50		
DDC	<0.0001**	4.50		
Cv*DDC	0.0090**	10.33		

†Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Int.: Interacción, DDS = días después de la siembra, DDC = días después de la cosecha, C.V.= Coeficiente de variación, **diferencia estadística significativa alta a $p \leq 0.01$, DMS= diferencia media significativa.

Materia seca de tallos (MST)

Durante los dos ciclos de muestreo (plantilla y soca), la variable materia seca de tallos (MST) mostró diferencia estadística significativa entre cultivares (CV), la fecha de muestreo (DDS) y (DDC) y la interacción entre ambos factores (Tabla 2). Durante el ciclo plantilla, el cultivar MEX69-290 presentó la MST menor con 21.75 t ha⁻¹ en comparación con los cultivares CP72-2086 (25.39 t ha⁻¹) y MEX79-431 (25.49 t ha⁻¹). En el ciclo soca, el cultivar MEX69-290 mostró el valor de MST mayor (19.4 t ha⁻¹). El efecto entre los cultivares MEX79-431 y CP72-2086 no se encontró diferencia estadística significativa en los dos ciclos (plantilla y soca). Los valores de MST reportados en el presente trabajo fueron inferiores a los reportados por Palma-López *et al.* (2002), para el cultivo de caña de azúcar en diferentes unidades de suelo en Tabasco (47.50±8.0 a 34.62±3.4 t ha⁻¹), esto se puede atribuir a que las condiciones de clima son diferentes y porque son dos zonas de cultivo.

Asimismo, para la variable MST, en cuanto a la fecha de muestreo, durante el ciclo plantilla no presento

diferencia entre los 90 y los 180 DDS, así como entre los 360 y 450 DDS. Las diferencias cuantificadas en MST entre los muestreos a los 180, 270 y 360 DDS, principalmente fueron causados por la distribución de las lluvias. Mientras que, en el ciclo soca, sí se encontró diferencia estadística significativa entre las fechas de muestreo, encontrándose el valor de MST menor a los 120 DDC (8.74 t ha⁻¹) y la mayor acumulación de MST a los 360 DDC (36.78 t ha⁻¹). En el ciclo plantilla, la dinámica de acumulación de MST por cultivar mostró similar comportamiento en muestreos a los 90, 180, 270 y 360 DDS, sin embargo, el cultivar MEX69-290 al momento de la cosecha mostró un descenso significativo en comparación con los otros cultivares, cuya MST fue similar a las 40 t ha⁻¹, reportada para el cultivar MEX 79-431 (Córdova-Gamas *et al.*, 2016), quien comparo diferentes sustratos para sustituir los fertilizantes químicos. De los 90 a los 180 DDS, se observó que la MST detuvo su crecimiento y en este mismo periodo coincidieron con los registros de más altas temperaturas (Figura 1). Los valores obtenidos para esta variable se encuentran entre los rangos encontrados por (De Oliveira *et al.*, 2010), quienes reportaron valores de 8.0 a 72.0 t ha⁻¹

Tabla 2. Materia seca de tallos (t ha⁻¹) de tres cultivares de caña de azúcar, durante el ciclo plantilla y soca, en el área de abastecimiento del Ingenio Santa Rosalía de la Chontalpa.

Ciclo plantilla				
Int. DDS x Cv	Cv			Media DDS†
	MEX 69-290	CP 72-2086	MEX 79-431	
90	8.84 a	9.47 a	7.92 a	8.74 a
180	10.65 a	16.18 ab	8.78 a	11.87 a
270	25.35 bc	25.87 bc	29.72 cd	26.98 b
360	35.60 cde	34.85 cde	39.87 de	36.78 c
450	28.30 c	40.57 de	41.17 e	36.68 c
Media Cv	21.75 a	25.39 b	25.49 b	
C.V. (%):	33.91			
Probabilidad de F:		DMS		
Cv	0.0200**	3.29		
DDS	<0.0001**	4.99		
Cv*DDS	0.0082**	10.95		
Ciclo soca				
Int. DDC x Cv	Cv			Media DDC
	MEX 69-290	CP 72-2086	MEX 79-431	
180	9.10 a	9.52 a	9.21 a	9.28 a
270	21.10 c	17.85 b	17.53 b	18.83 b
360	27.98 e	23.33 cd	26.53 de	25.95 c
Media Cv	19.40 b	16.90 a	17.76 a	
C.V. (%):	15.65			
Probabilidad de F:		DMS		
Cv	0.0002**	1.40		
DDC	<0.0001**	1.40		
Cv*DDC	0.0019**	3.20		

†Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$). Int.: Interacción, DDS= días después de la siembra, DDC= días después de la cosecha, C.V.= Coeficiente de variación, **altamente significativo $P \leq 0.01$, DMS= diferencia media significativa.

durante el ciclo de cultivo en 11 cultivares de maduración precoz, media y tardía, aplicando riegos para contrarrestar las pérdidas de humedad del suelo por evapotranspiración. La dinámica de acumulación de MST en el ciclo soca fue similar a la del ciclo plantilla, mostrando una producción de MST (10.8, 30.3 y 33.4%) con respecto al ciclo plantilla, respectivamente.

Materia seca de hojas (MSH)

Los datos de MSH mostraron diferencias estadísticamente significativas para el factor cultivar, fecha de muestreo y la interacción entre ambas para los dos ciclos evaluados (Tabla 3). En cuanto a los cultivares, durante el ciclo plantilla, solo se encontró diferencia entre CP72-2086 y MEX79-431, los cuales presentaron el menor (10.81 t ha⁻¹) y mayor valor (12.2 t ha⁻¹) para esta variable. Para el ciclo soca fue el cultivar MEX69-290 que presentó mayor acumulación de materia seca de hojas (13.0 t ha⁻¹), aunque esta no fue diferente de MEX79-431, que produjo en promedio 12.13 t ha⁻¹.

La variable materia seca de hojas (MSH) mostró diferencia estadísticamente para el factor cultivar (Cv), fecha de muestreo (DDS) y la interacción Cv x DDS para los ciclos de plantilla y soca (Tabla 3). En cuanto a los cultivares de caña de azúcar, durante el ciclo plantilla, solo se encontró diferencia estadística entre los cultivares CP72-2086 (10.81 t ha⁻¹) y MEX79-431 (12.2 t ha⁻¹). Para el ciclo soca, el cultivar CP72-2086 presentó el valor de MSH mayor (13.0 t ha⁻¹) y el cultivar MEX69-290 el valor menor (11.8 t ha⁻¹), en general estos rendimientos son bajos comparados con los encontrados por Salgado *et al.* (2005), para los suelos fluvisoles de la zona cañera del Ingenio Santa Rosalía (17.94 ±8.5 a 24.38±4.72 t ha⁻¹).

Para las fechas de muestreo, durante el ciclo plantilla, se encontraron diferencias de MSH entre los muestreos a los 90, 270 y 450 DDS, mientras que, en el ciclo soca, no se observó diferencia estadística significativa entre los muestreos a los 270 y 360 DDC (Tabla 3).

Los valores cuantificados de MSH fueron inferiores (6.75 a 6 t ha⁻¹) a los reportados por (Salgado-García *et al.*, 2014), quienes mostraron que la paja seca

Tabla 3. Materia seca de hojas (t ha⁻¹) de tres cultivares de caña de azúcar, durante el ciclo plantilla y soca, en el área de abastecimiento del Ingenio Santa Rosalía de la Chontalpa.

Ciclo plantilla				
Int. DDS x Cv	Cv			Media DDS†
	MEX 69-290	CP 72-2086	MEX 79-431	
90	8.48 ab	7.14 a	9.21 abc	8.28a
180	8.74 ab	7.41 a	9.30 abc	8.49a
270	10.56 abcd	9.55 abc	14.15 de	11.42b
360	15.78 e	15.02 de	16.35 e	15.71d
450	13.71 cde	14.92 de	11.97 bcde	13.53c
Media Cv	11.45ab	10.81a	12.20b	
C. V. (%):	28.59			
Probabilidad de F para:		DMS		
Cv	0.0508*	1.36		
DDS	0.0001**	2.06		
Cv*DDS	0.0278**	4.52		
Ciclo soca				
Int. DDS x Cv	Cv			Media DDC
	MEX 69-290	CP 72-2086	MEX 79-431	
180	10.72 a	10.91 ab	13.04 cde	11.56 a
270	12.66 bcde	13.76 de	11.88 abc	12.62 b
360	12.03 abcd	14.34 e	11.47 abc	12.77 b
Media Cv	11.80 a	13.00 b	12.13 a	
C. V. (%):	13.0			
Probabilidad de F para:		DMS		
Cv	0.0016**	0.79		
DDC	0.0008**	0.79		
Cv*DDC	0.0001**	1.82		

†Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$). Int.: Interacción, DDS= días después de la siembra, DDC= días después de la cosecha, C. V= Coeficiente de variación, *significativo $P \leq 0.05$, **altamente significativo $P \leq 0.01$, DMS= diferencia media significativa.

producida por parcela fue en promedio 18.2 t ha⁻¹, mientras que por cultivar de caña el rendimiento varió entre 11.45 y 12.20 t ha⁻¹, para caña de azúcar en diferentes unidades de suelo en Tabasco. Lo anterior indica que el cultivo de caña de azúcar produjo menos follaje, siendo benéfico para la producción de tallos. El cultivar MEX69-290 presentó un incremento de MSH de apenas 3.0% en el ciclo soca con respecto al ciclo plantilla, mientras que para el cultivar CP72-2086 fue de 16.8% y MEX79-431 presentó una producción de MSH similar en ambos ciclos. Observaciones sobre la dinámica de MSH, demostraron que la acumulación de hojas se detuvo en el periodo de 90 a 180 DDS por efecto del déficit hídrico (Figura 1), aunque, posteriormente la acumulación se reanudó de manera similar. Dicho efecto se observó en el ciclo soca de los 270 a 360 DDC. No obstante, los valores de MSH obtenidos para esta variable fueron ligeramente superiores a los cuantificados por De Oliveira *et al.* (2010), quienes reportaron una producción de 7.5 a 12.0 t ha⁻¹ para 11 cultivares de caña de azúcar e inferiores a los reportados por Salgado *et al.* (2005), para la misma zona y para la misma subunidad de suelo (Ingenio Santa Rosalía).

Materia seca total (MSTo)

Referente a la variable materia seca total (MSTo) se observó diferencia estadística para el efecto de cultivar (Cv), fecha de muestreo (DDS y DDC), ciclo plantilla y la interacción Cv x fechas de muestreo (Tabla 4). Durante el ciclo plantilla, el cultivar MEX69-290 presentó el valor de MSTo menor con 33.2 t ha⁻¹, mientras que los cultivares CP72-2086 y MEX79-431 no mostraron diferencia estadística (36.19 y 37.69 t ha⁻¹, respectivamente). Estos valores de MSTo fueron menores (entre 11.77 y 10.27 t ha⁻¹) en comparación con los reportados (47.96±6.8) por Salgado *et al.* (2005) en la misma subunidad de suelo y Palma-López *et al.* (2002) para caña de azúcar en diferentes unidades de suelo en Tabasco. En cuanto a la fecha de muestreo, no se observó diferencia estadística entre los 90 y los 180 DDS, así como entre 360 y 450 DDS. Aunque, se observó diferencia estadística entre los muestreos realizados a los 180, 270 y 360 DDS, en el ciclo plantilla. Durante el ciclo soca, el valor de MSTo menor se observó en el muestreo realizado a los 180 DDC (20.81 t ha⁻¹) y el valor de MSTo máximo se registró a los 360 DDC (39.41 t ha⁻¹).

Tabla 4. Materia seca total (t ha⁻¹) de tres cultivares de caña de azúcar, durante el ciclo plantilla y soca, en el área de abastecimiento del Ingenio Santa Rosalía de la Chontalpa.

Ciclo plantilla				
Int. DDS x Cv	CV			Media DDS†
	MEX 69-290	CP 72-2086	MEX 79-431	
90	17.31a	16.61a	17.13a	17.02a
180	19.39a	23.58ab	18.08a	20.35a
270	35.91bc	35.42bc	43.87cde	38.4b
360	51.38de	49.86de	56.22e	52.49c
450	42.01cd	55.5e	53.14de	50.22c
Media CV	33.20 a	36.19 ab	37.69 b	
C.V. (%):	26.9			
Probabilidad de F:		DMS		
Cv	0.0350*	3.89		
DDS	0.0001**	5.90		
Cv*DDS	0.0244*	12.93		
Ciclo soca				
Int. DDS x CV	CV			Media DDC
	MEX 69-290	CP 72-2086	MEX 79-431	
180	19,83 a	20,43 a	22,18 a	20,81 a
270	33,53 b	31,58 b	29,37 b	31,50 b
360	40,33 c	38,07 c	39,83 c	39,41 c
Media CV	30.03 a	31.23 a	30,46 a	
C.V. (%):	12,61			
Probabilidad de F:		DMS		
Cv	0,3273 NS	1,91		
DDC	<0,0001**	1,91		
CV*DDC	0,0180**	4,38		

†Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$). DDS= días después de la siembra, DDC= días después de la cosecha, C. V= Coeficiente de variación, NS= no significativo $P \leq 0.05$, *significativo $P \leq 0.05$, **altamente significativo $P \leq 0.01$, DMS= diferencia media significativa.

Durante el ciclo soca, los cultivares de caña de azúcar presentaron una disminución de la MSTo correspondiente al 9.5, 13.7 y 19.2% para MEX 69-290, CP 72-2086 y MEX 79-431, respectivamente, con respecto al ciclo plantilla (Tabla 4). La dinámica de acumulación de materia seca total muestra como los cultivares se comportaron de manera similar durante ambos ciclos de cultivo, aunque con valores menores durante el ciclo soca.

Durante el ciclo plantilla, en el muestreo realizado en la cosecha (450 DDS), el cultivar MEX 69-290 mostró un descenso en la variable MSTo, aunque este no fue significativo en comparación con los otros cultivares. Los valores de MSTo obtenidos fueron inferiores a los encontrados por (De Oliveira *et al.*, 2010) para 11 cultivares de caña de azúcar y para las 60 t ha⁻¹ de MSTo para el cultivar MEX79-41 cultivado en la subunidad cambisol en la misma zona cañera del Ingenio Santa Rosalía (Córdova-Gamas *et al.*, 2016), también a los reportados por Salgado *et al.* (2005) en la misma subunidad de suelo (fluvisol).

Tasas de crecimiento e índice de cosecha

La TCA máxima alcanzada por los cultivares evaluados fue de 187, 192 y 262 kg ha⁻¹ día⁻¹ para MEX69-290, CP72-2086 y MEX79-431, respectivamente. Mientras que los valores menores oscilaron entre 31 kg ha⁻¹ día⁻¹ para CP 72-2086 y 12 kg ha⁻¹ día⁻¹ para MEX69-290 y MEX79-431 durante

el ciclo plantilla (Figura 2A), estos valores son similares a los 232 kg ha⁻¹ día⁻¹ descritos por De Oliveira *et al.* (2010) para 11 cultivares de caña de azúcar en Brasil. Durante el ciclo soca, la TCA máxima alcanzada por los cultivares de caña de azúcar fue de 193, 177 y 151 kg ha⁻¹ día⁻¹ a los 180 DDC para MEX69-290, CP72-2086 y MEX79-431, respectivamente; mientras que los valores más bajos oscilaron entre 24 kg ha⁻¹ día⁻¹ para CP72-2086, 28.8 kg ha⁻¹ día⁻¹ para MEX69-290 y 40.2 kg ha⁻¹ día⁻¹ para MEX79-431 a 360 DDC (Figura 2B).

Por otro lado, los valores de TCC fueron bajos al inicio del cultivo, pero aumentaron rápidamente conforme aumentó la edad del cultivo, alcanzando valores máximos a los 210 DDS durante el ciclo plantilla, y 180 DDC en el ciclo soca, para posteriormente iniciar un descenso rápido, este comportamiento también fue descrito para el cultivar SP 80 1816 (Silva y Conti, 2014).

La TCC máxima por los cultivares de caña de azúcar varió de 18.7, 19.2 y 26.3 g m² día⁻¹ para MEX 69-290, CP 72-2086 y MEX 79-431, respectivamente. Mientras que los valores de TCC mínimos oscilaron entre 3.1 g m² día⁻¹ para CP 72-2086, 1.2 g m² día⁻¹ para MEX 69-290 y MEX 79-431, durante el ciclo plantilla (Figura 3A), dichos valores fueron similares a los reportados por Gava *et al.* (2001), donde evaluaron la recuperación de nitrógeno a través de las técnicas isotópicas.

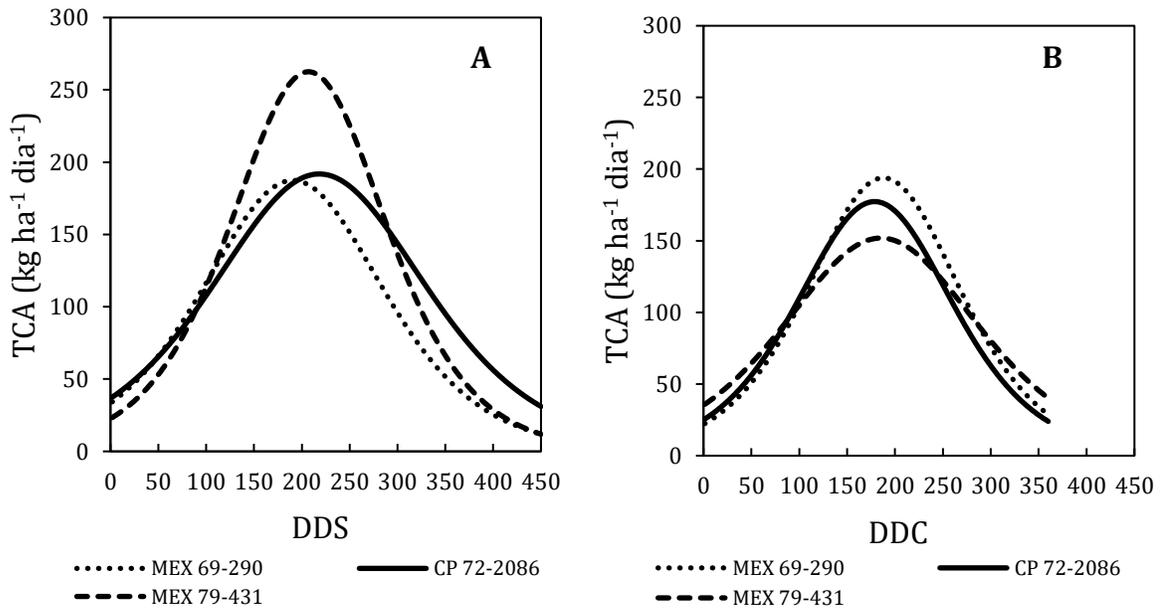


Figura 2. Tasa de crecimiento absoluto (TCA), de tres cultivares de caña de azúcar durante el ciclo plantilla (A) y soca (B) en el área de abastecimiento del Ingenio Santa Rosalía de la Chontalpa.

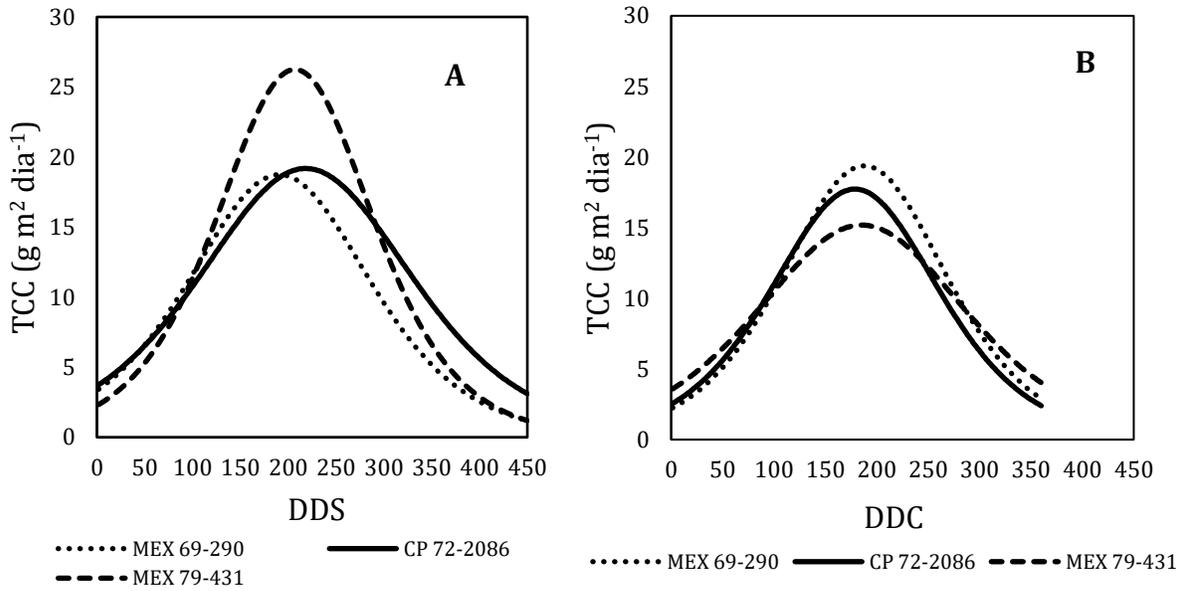


Figura 3. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) de tres cultivares de caña de azúcar durante el ciclo plantilla (A) y soca (B) en el área de abastecimiento del Ingenio Santa Rosalía de la Chontalpa.

Durante el ciclo soca, la TCC máxima se observó a los 180 DDC y fue de 15.2, 17.7 y 19.3 $\text{g m}^{-2} \text{día}^{-1}$ para MEX 79-431, CP 72-2086 y MEX 69-290, respectivamente, mientras que los valores más bajos de TCC, fueron del orden de 2.4, 2.9 y 4.0 $\text{g m}^{-2} \text{día}^{-1}$ a los 360 DDC, para CP 72-2086, MEX 69-290 y MEX 79-431, respectivamente (Figura 3B).

Asimismo, la tasa de crecimiento relativo (TCR) descendió conforme a la edad del cultivo, de acuerdo con Marafon (2012), esto ocurre por el auto-sombreado de las hojas. Los valores de TCR estimados para los cultivares de caña de azúcar fueron 0.018 a 0.0002, 0.015 a 0.0003 y 0.13 a 0.0006 $\text{g g}^{-1} \text{día}^{-1}$, respectivamente para MEX 79-431, MEX 69-290 y CP

72-2086, en el ciclo plantilla (Figura 4A) y de 0.013 a 0.001, 0.017 a 0.0006 y de 0.018 a 0.0007 $\text{g g}^{-1} \text{día}^{-1}$, durante el ciclo soca para MEX 79-431, CP 72-2086 y MEX 69-290, respectivamente (Figura 4B).

Al final del ciclo plantilla, el IC fue de 0.69, 0.70 y 0.74 para MEX 69-290, CP72-2086 y MEX 79-431, respectivamente. Durante el ciclo soca, el IC mayor se presentó a los 360 DDC con valores de 0.62, 0.69 y 0.70 para los cultivares CP 72-2086, MEX 79-431 y MEX 69-290, respectivamente (Figura 5B). Estos valores son muy similares con lo descrito por Xie *et al.* (2011), quienes reportan un IC de 0.70 para caña de azúcar, son pocos los estudios para este índice en este cultivo, es más común para el cultivo de maíz.

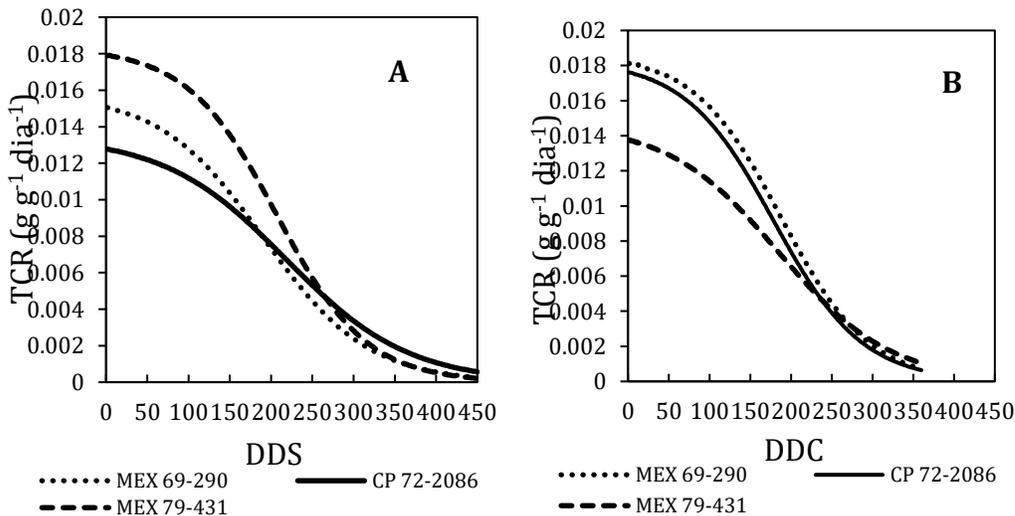


Figura 4. Tasa de crecimiento relativo (TCR), de tres cultivares de caña de azúcar durante el ciclo plantilla (A) y soca (B) en el área de abastecimiento del Ingenio Santa Rosalía de la Chontalpa.

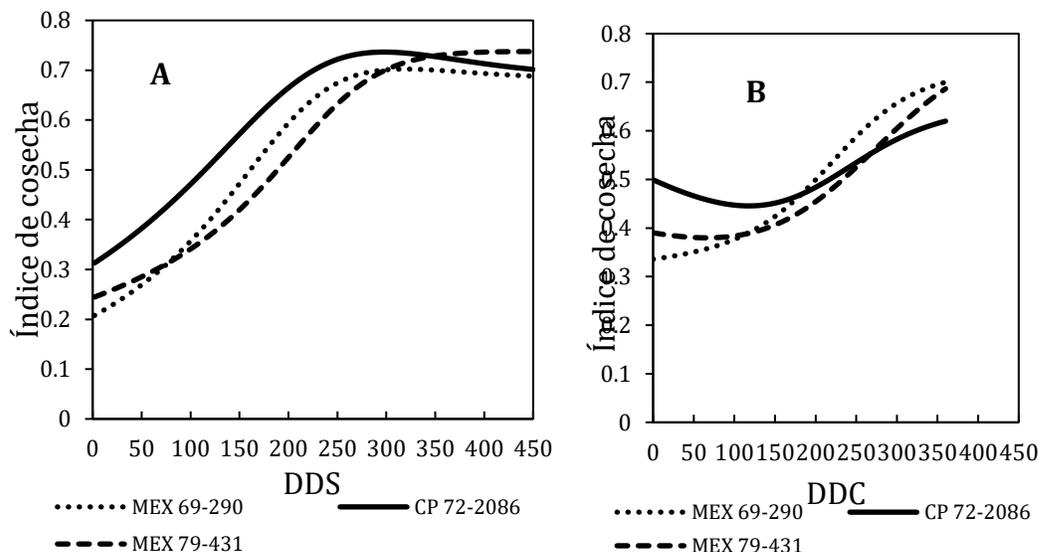


Figura 5. Índice de cosecha (IC) de tres cultivares de caña de azúcar durante el ciclo plantilla (A) y soca (B) en el área de abastecimiento del Ingenio Santa Rosalía de la Chontalpa.

CONCLUSIONES

El rendimiento e índice de cosecha de caña de azúcar varió con la edad del cultivo y el cultivar. Con respecto al factor ciclo plantilla los cultivares a los 450 días después de la siembra (DDS) presentaron el orden de producción de tallos: CP72-2086>MEX79-431>MEX69-290 con 144.73, 130.09 y 94.18 t ha⁻¹, respectivamente. Y para el ciclo soca a los 360 días después de la cosecha (DDC) el cultivar MEX69-290 fue que presentó el rendimiento de tallos más alto (102.21 t ha⁻¹). En el ciclo soca, los cultivares MEX69-290, MEX79-431 y CP72-2086 presentaron una reducción del rendimiento de tallos (14.5, 30.9 y 32.5%).

La tasa de crecimiento absoluto máxima alcanzada por los cultivares MEX69-290, CP72-2086 y MEX79-431 fue de 187, 192 y 262 kg ha⁻¹ día⁻¹ a los 210 DDS en el ciclo plantilla, y de 193, 177 y 151 kg ha⁻¹ día⁻¹ a los 180 DDC en el ciclo soca. El comportamiento del índice de cosecha en el ciclo plantilla fue de 0.69 a 0.74 y para el ciclo soca fue de 0.62 a 0.70.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para estudios de posgrado y al Programa de Doctorado Ciencias Agrícolas en el Trópico (PRODOCAT), al Colegio de Posgraduados – Campus Tabasco. Y los autores agradecen al Dr. Sergio salgado García[†] por su colaboración.

Funding. This research was funded by PI 17-6051: “Crops observation system, management and

production analysis systems (compass mexicano)”, from the Postgraduate College - Tabasco Campus.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. Do not apply.

Data availability. The datasets generated during the current study are available from the corresponding author on reasonable request (sacorsa_1976@hotmail.com)

Author contribution statement (CRediT). **J. Izquierdo-Hernández** - Investigation, writing – original draft. **S. Córdova-Sánchez** – Investigation, writing – review and editing, supervision. **L.C. Lagunes-Espinoza** - Investigation, writing - review and editing, supervision. **D.J. Palma-López** - writing - review and editing, supervision. **J.J. Peña Cabriales** – writing - review and editing

REFERENCIAS

- Bravo-Mosqueda, E., Báez-González, A.D., Tinoco-Alfaro, C.A., Mariles-Flores, V. and Osuna-Ceja, E., 2014. Yield-Gap Analysis of a Homogeneous Area and Zonification of a Sugarcane Mill Region in Oaxaca, Mexico. *Journal of Crop Improvement*, 28 (6), pp. 772–794. <https://doi.org/10.1080/15427528.2014.942762>
- CNPR (Unión Nacional de Cañeros, A.C.), 2019. Boletín Técnico de la Unión Nacional de

- Cañeros, A.C.-CNPR. InfoZafra 2018/2019. Año 17, N° 30. 7 p. <http://caneros.org.mx/download/infozafra-al-1-junio-2019/> Consultado 05 de octubre 2023.
- Córdova-Gamas, G., Salgado-García, S., Castelán-Estrada, M., Palma-López, D.J., García-Moya, E., Lagunes-Espinoza L.C. and Córdova-Sánchez, S., 2016. Opciones de fertilización para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* sp.) en Tabasco, México. *Agroproductividad*, 9(3), pp. 27-34. <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/731>
- De Oliveira, C.A.E., De Oliveira, R.I., De Andrade, B.M.T., Freire, F.J., Lira, J.M.A. and Machado, P.R., 2010. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(9), pp. 951-960. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000900007>
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. and Robledo, C.W., 2018. InfoStat (versión 2018) [Software]. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. URL: <http://www.infostat.com.ar>
- Gava, C.G.J., Trivelin, P.C.O., De Oliveira, M.W. and Penatti, C.P., 2001. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(11), pp. 1347-1354. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001001100004>
- Hunt, R., Causton, D.R., Shipley, B. and Askew, A.P., 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany*, 90, pp. 485-488. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf214>
- INEGI 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010, Cárdenas, Tabasco., <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825293161> Consultado 05 de octubre de 2023.
- Marafon, A.C., 2012. *Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático*. Embrapa Tabuleiros Costeiros. 29 p. Disponible en http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf
- Palma-López, D.J., Salgado-García, S., Obrador-Olán, J.J., Trujillo-Narcea, A., Lagunes-Espinoza, L.C., Zavala-Cruz, J.; Ruiz-Bello. A. and Carrera-Martel, V., 2002. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). *Terra Latinoamericana*, 20(3), pp. 347-358. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57320314.pdf>
- Salgado, G.S., Izquierdo, H.J., Lagunes, E.L.C., Palma, L.D.J., Córdova, S.S., Ortiz, L.H., and Castelán, E.M., 2017. Consumo de nitrógeno por cultivares de caña de azúcar en Tabasco, México. *Revista FCA. UNCUYO*, 49(1), pp. 45-59. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/3102>
- Salgado-García, S., Aranda-Ibañez, E.M., Castelán-Estrada, M., Ortiz-Laurel, H., Palma-López, D.J. and Córdova-Sánchez, S., 2014. Qué hacer con la paja de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar. *Agroproductividad*, 7(2), pp. 3-7. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/506>
- Salgado-García, S., Palma-López, D.J., Lagunes-Espinoza, L.D.C., Ortiz-García, C.F. and Ascencio-Rivera, J.M., 2005. Bases para generar un programa sustentable de fertilización en un ingenio de Tabasco, México. *Interciencia*, 30(7), pp. 395-403. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442005000700003&script=sci_arttext
- 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., Ruiz-Rosado, O., Armida-Alcudia, L., Rincón-Ramírez, J.A., and Córdova-Sánchez, S., 2011. Un programa de fertilización sustentable para el Ingenio "Presidente Benito Juárez" en Tabasco, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 15(3), pp. 45-65. <http://ww.ucof.mx/revaia/portal/pdf/2011/sept/4.pdf>
- Silva, A.G. and Conti, M.C., 2014. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(3), pp. 173-180. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000300003>
- Torres, V.I., Valladares, A.F., Montalván, D.J., Fernández, G.Y., Padrón, P.M. and Noy, P.A.

2015. Comportamiento del área foliar específica en tres cultivares comerciales de caña de azúcar. *Agrisost*, 21(2), pp. 1-9. <https://core.ac.uk/reader/268093010>
- Xiao, Z., Liao, X. and Guo, S., 2017. Analysis of Sugarcane Juice Quality Indexes. *Journal of Food Quality*, 2107, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1155/2017/1746982>
- Xie, G.H., Xiao, W., Dong, Q.Y.H. and Shuai, X., 2011. Harvest index and residue factor of non-cereal crops in China. *Journal of China Agricultural University*, 16(1), pp. 9-17. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/0113104408>