



Defoliación del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la Chontalpa, Tabasco, México*

Defoliation of sugarcane (*Saccharum officinarum*) in the Chontalpa, Tabasco, México

Fabiola Olvera-Rincón¹, Sergio Salgado-Velázquez², Samuel Córdova-Sánchez¹, David Jesús Palma-López², Antonio López-Castañeda¹, Raúl Castañeda-Ceja¹

* Recepción: 17 de enero, 2023. Aceptación: 3 de agosto, 2023. El presente trabajo formó parte del proyecto de tesis titulado “Defoliación del cultivo de caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco” para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo en la Universidad Popular de la Chontalpa, Cárdenas, Tabasco, México.

¹ Universidad Popular de la Chontalpa - División de Académica de Ciencias Básicas e Ingeniería. CA-QVyDS. Carretera Cárdenas Huimanguillo km 2, Ranchería Paso y Playa, C.P. 86529, H. Cárdenas, Tabasco. México. folvera.rincon@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-2466-3856>); sacorsa_1976@hotmail.com (autor para la correspondencia; <https://orcid.org/0000-0002-0705-5456>); antonio.lopez@upch.mx (<https://orcid.org/0000-0002-0442-9029>); raul.castaneda@upch.mx (<https://orcid.org/0000-0003-1665-4123>).

² Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Grupo MASCANA. km 3.5 Periférico Carlos A. Molina S/N, C.P.86500, H. Cárdenas, Tabasco. México. salgado.sergio@colpos.mx (<https://orcid.org/0000-0002-8443-3190>); dapalma@colpos.mx (<https://orcid.org/0000-0002-9606-0379>).

Resumen

Introducción. Estudios de defoliación en caña de azúcar en México son escasos, se desconoce a qué edad de la planta y en qué época del año se deben realizar. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la defoliación artificial en caña de azúcar en diferentes etapas de cultivo y su respuesta sobre parámetros de calidad y rendimiento. **Materiales y métodos.** El experimento se llevó a cabo en la zafra 2020-2021 entre los meses de abril y mayo, en una parcela ubicada en una soca del cultivar COLPOSCTMEX 06-039, dentro de la zona de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez de la Chontalpa, Tabasco. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, donde los tratamientos de defoliación consistieron en eliminar las hojas completas del tallo hasta dejar la hoja +5 (H5). Los tratamientos de defoliación se aplicaron a los 8, 9 y 10 meses de edad del cultivo, más un testigo sin defoliación, con cinco repeticiones por tratamiento. Los parámetros de crecimiento evaluados fueron altura y diámetro de planta, número de tallos e índices de área foliar (IAF) y de vegetación de las diferencias normalizada (NDVI). Al momento de la cosecha se midieron los °Brix y los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar. **Resultados.** Se encontró que los parámetros de crecimiento y calidad fueron disminuidos por los tratamientos de defoliación total. El tratamiento 2 mostró los mayores valores de altura y diámetro de planta, menor NDVI y rendimiento de tallos al momento de la cosecha y la defoliación afectó el IAF. Los °Brix no se vieron afectados por los diferentes tratamientos de defoliación. **Conclusión.** La defoliación a los nueve meses de edad aumentó el rendimiento agrícola y no afectó la calidad de los jugos.

Palabras clave: defoliación artificial, deshoje, rendimiento, calidad.



Abstract

Introduction. Defoliation studies on sugarcane in Mexico are scarce, and it is unknown at what age of the plant and in which season of the year it should be carried out. **Objective.** To evaluate the effect of artificial defoliation in sugarcane at different stages of growth and its response on quality and yield parameters. **Materials and methods.** The experiment was conducted during the 2020-2021 harvest between the months of April and May, in a plot located in a ratoon of the cultivar COLPOSCTMEX 06-039, within the supply area of the Ingenio Presidente Benito Juárez in the Chontalpa region, Tabasco. A completely randomized block design was used, where the defoliation treatments consisted of removing the entire leaves of the stem until leaving the +5 leaf (H5). Defoliation treatments were applied at 8, 9, and 10 months of crop age, plus a control without defoliation, with five replicates per treatment. Growth parameters evaluated were plant height and diameter, number of stalks, and leaf area index (IAF) and normalized difference vegetation index (NDVI). At harvest, °Brix and sugarcane yields of sugarcane were measured. **Results.** It was found that growth and quality parameters were reduced by total defoliation treatments. Treatment 2 showed the highest values of plant height and diameter, lower NDVI, and stalk yield at harvest, and defoliation affected the IAF. °Brix were not affected by different defoliation treatments. **Conclusion.** Defoliation at nine months of age increased agricultural yield and did not affect juice quality.

Keywords: artificial defoliation, defoliation, yield, quality.

Introducción

A nivel mundial, la caña de azúcar es cultivada en un amplio rango de condiciones topográficas y climáticas, los métodos de cosecha empleados son igual de diversos. Las industrias del azúcar en varios países incluido México, ante la penuria de tener que optimizar el rendimiento de la mano de obra y de la maquinaria, se ven obligadas a realizar la quema continua de los cañaverales antes de la cosecha (Ortiz Laurel et al., 2012). En la industria de la producción de azúcar en Tabasco, se deben mejorar las prácticas agrícolas para elevar la productividad y rentabilidad a largo plazo, debido a la poca mecanización del cultivo y a la quema de caña de azúcar como una práctica común.

La quemada del cañaveral provoca muchas desventajas como lo son: reducción de peso de tallo, microorganismos destruidos fácilmente, disminución del dulzor, alto costo de producción, la materia orgánica y la estructura del suelo se asolean y disminución de la producción de azúcar (Lázaro Sánchez et al., 2021; Montenegro-Ballesteros & Chaves-Solera, 2021; Salgado García et al., 2013). Por ello, la maquinaria de defoliación de hojas puede resolver los problemas asociados con la quema y reducir los contaminantes.

Para introducir la tecnología necesaria para defoliar las hojas de la caña de azúcar, surge la necesidad de evaluar técnicas de defoliación, con la finalidad de generar el conocimiento de la respuesta del cultivo, sus parámetros de calidad y rendimiento. La defoliación de la caña de azúcar ha demostrado ser una técnica capaz de elevar el contenido de sacarosa en los tallos, tal como lo reportaron Gutiérrez-Miceli et al. (2004), quienes indicaron que la defoliación mecánica en caña de azúcar proporciona hojas que se pueden utilizar como forraje y la concentración de sacarosa en los tallos aumenta en comparación con plantas intactas.

Los residuos de la defoliación que regresan al suelo son importantes para preservar la fertilidad y la sostenibilidad (Fortes et al., 2012). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la defoliación artificial en caña de azúcar en diferentes etapas de cultivo y su respuesta sobre parámetros de calidad y rendimiento.

Materiales y métodos

Ubicación de la parcela experimental

El experimento se llevó a cabo en la zafra 2020-2021 entre los meses de abril y mayo del 2021, en una parcela de caña de azúcar ubicada en el km 25 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, en un ciclo soca (posterior al corte) del cultivar COLPOSCTMEX 06-039, el cual se estableció en surcos de 1,5 m. El cultivar utilizado fue liberado comercialmente en el 2015 con alto potencial en producción de tallos por metro cuadrado y rendimiento de biomasa aérea.

Diseño experimental y tratamientos en estudio

Los tratamientos de defoliación consistieron en eliminar las hojas completas del tallo hasta dejar la hoja +5, en este caso la numeración inició partiendo de la hoja superior con la aurícula visible hacia abajo. Los tratamientos de defoliación se aplicaron a los 8, 9 y 10 meses de edad del cultivo, más un testigo sin defoliación.

Los cuatro tratamientos se distribuyeron en el campo en un arreglo de bloques completos al azar con cinco repeticiones. La parcela experimental estuvo constituida de seis surcos de ancho por 7 m de largo, lo que constó de una superficie de 63 m², la parcela útil fue de cuatro surcos por 5 m, ocupó 30 m² y, en general, el experimento tuvo una superficie de 1260 m².

Altura de planta (cm)

La altura de la planta se midió a los 8, 9, 10 y 11 meses, en 2 m lineales por parcela útil. Para ello, se tomó de la base del tallo a la primera hoja con la lígula visible, con la ayuda de un flexómetro marca Truper[®] de 5 m longitud.

Diámetro de tallos (mm)

El diámetro de los tallos se determinó con un vernier digital Marca Truper[®] en los tallos utilizados para la variable altura de planta, esta medición se realizó a la mitad del tallo y en el entrenudo central del mismo.

Número y altura de tallo (cm)

El número y altura del tallo se evaluaron a los 8, 9, 10 y 11 meses después del corte en 2 m lineales por parcela útil. La altura del tallo se midió al momento de la cosecha (once meses), en diez tallos industrializables tomados al azar; se midió a partir de la base del tallo hasta la punta del tallo de la sección 8-10, con la ayuda de un flexómetro marca Truper[®] de 5 m longitud.

Índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI) e índice de área foliar (IAF)

El índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI) se midió con el sensor GreenSeeker handheld crop sensor (Trimble[®]) a los 8, 9, 10 y 11 meses de edad del cultivo, en 2 m lineales por parcela útil. Se realizaron diez lecturas, para lo cual se colocó el sensor a 60 cm sobre el dosel del cultivo de caña de azúcar. El índice de área foliar (IAF) se midió al mes 9 de edad del cultivo, en 2 m lineales dentro de los dos surcos centrales de cada parcela útil, con el equipo LAI 2200C (LICOR[®]) (Welles & Cohen, 1996).

Grados Brix (°Brix)

Al momento de la cosecha, se determinó los °Brix con un refractómetro ATAGO® escala de 0 a 90 °Brix, en la sección central de cada tallo, en diez tallos industrializables seleccionados al azar de 2 m lineales de la sección central de cada parcela útil.

Rendimiento final de materia seca

La cosecha se realizó a los once meses de edad del cultivo por causa de la quema accidental de la plantación. Se contaron los tallos molederos en 10 m lineales para obtener el número de tallos por m lineal y posteriormente, este valor, se multiplicó por 6666 que es la cantidad de m ha⁻¹ de caña surcada a 1,5 m de distancia, esto para obtener el número de tallos por hectárea. Posteriormente, se tomó una muestra aleatoria de diez tallos, los cuales se pesaron con punta (cogollo) y sin ella, para obtener el peso promedio de los tallos y de la punta (hojas). Para estimar el rendimiento en toneladas de caña por hectárea (t ha⁻¹), se utilizó la ecuación 1.

$$Ren (t ha^{-1}) = Ppt \times Nt/ha \quad (1)$$

Donde, Ren es rendimiento, Ppt el peso promedio de tallos y Nt/ha el número de tallos por hectárea.

Descripción del sitio de estudio

Los datos de las normales climatológicas de temperaturas (°C) máximas, mínimas y medias; precipitación (mm) y evaporación (mm), fueron obtenidos de la base de datos climatológica nacional (CLICOM). La estación corresponde al nombre de “Centro Experimental W-75” con ubicación geográfica de 18,01° latitud norte y -93,63° de longitud oeste, con una elevación de 12 m s. n. m. (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 2021). La serie de datos correspondió de 2020 a 2021. El climograma de las temperaturas máximas, mínimas y medias, la precipitación, la evaporación mensual y la oscilación térmica de la estación climatológica, se muestran en la Figura 1.

En el periodo de estudio se presentó una sequía en los meses de febrero a mayo, mismo que coincide con las mayores temperaturas, alta evaporación y una menor precipitación mensual (Figura 1). Asimismo, se detectó un periodo de excesos de humedad, de agosto a octubre, y menores temperaturas. La precipitación acumulada fue de 2786,0 mm y la temperatura media de 26,4 °C. La evaporación acumulada fue de 1016,90 mm. Los mayores valores de oscilación térmica se presentaron desde el mes de febrero hasta mayo, periodo donde se realizó la cosecha del cultivo, lo cual favoreció su maduración.

De acuerdo con este análisis, el clima en el área de estudio es adecuado para el cultivo de la caña de azúcar a excepción de la precipitación, ya que el déficit de humedad haría necesaria la aplicación de dos a tres riegos de auxilio (Salgado García et al., 2013; Salgado Velázquez, 2019).

Análisis estadístico

Para el estudio se utilizó un modelo de bloques completos al azar, donde los tratamientos fueron las diferentes fechas de aplicación de la defoliación foliar hasta H 5 (8, 9, 10 meses) y un testigo (sin defoliación) con cinco repeticiones. Los datos de todas las variables fueron sometidos a un análisis de varianza. Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para garantizar la normalidad y la prueba de Bartlett para la homocedasticidad de las

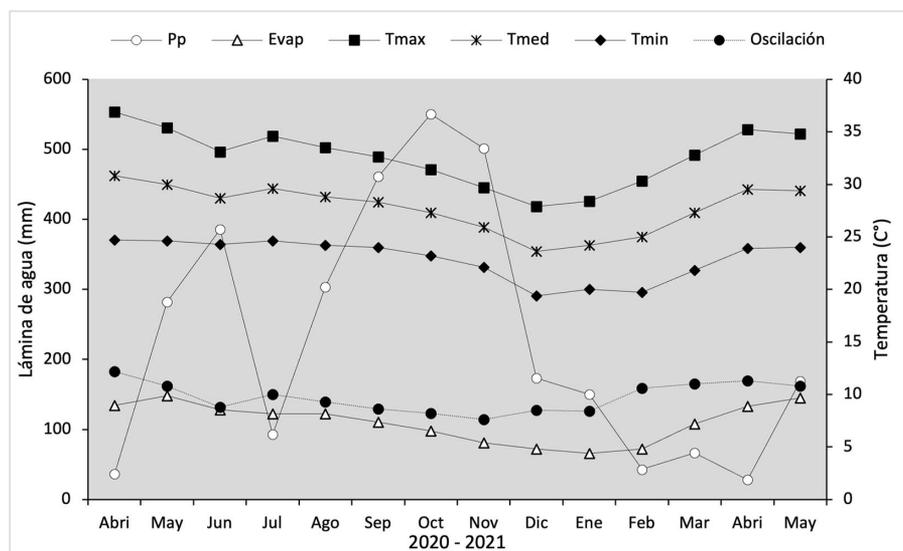


Figura 1. Comportamiento promedio de algunos elementos del clima en el sitio de estudio. Datos obtenidos de la estación meteorológica “Sitio Experimental W-75” ubicada en Cárdenas, Tabasco, durante el año 2020-2021.

Pp: precipitación, Evap: evaporación, Tmax: temperatura máxima, Tmin: temperatura mínima, Tmed: temperatura media.

Figure 1. Average behavior of some climate elements at the study site. Data obtained from the meteorological station “Experimental site W-75” located in Cárdenas, Tabasco, during the year 2020-2021.

Pp: precipitation, Evap: evaporation, Tmax: maximum temperature, Tmin: minimum temperature, Tmed: mean temperature.

varianzas del modelo estadístico. Para aquellas variables donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó la prueba de comparación múltiple de medias por el método de Tukey ($p \leq 0,05$). Todos los análisis se hicieron con el programa estadístico SAS 9.2 (Statistical Analysis System, 2009).

Resultados

Efecto de la defoliación en el crecimiento

Para el número de tallos no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de defoliación. El coeficiente de variación (CV) fue de 20,4 %, con una media general de 19,5 tallos/2 m (Cuadro 1). El tratamiento 2 (defoliación nueve meses), mostró el mayor número de tallos, mientras que el menor se presentó en el tratamiento 4 (sin defoliación), con 20,70 y 18,30 tallos/2 m, respectivamente.

Para altura de planta (cm), se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos en estudio ($P \leq 0,05$). Se obtuvo un coeficiente de variación (CV) de 12,8 %, el cual se considera bajo y una media general de 230 cm. Con base en la comparación múltiple de medias de Tukey, se encontró que el tratamiento 3 (defoliación a los diez meses) mostró la mayor altura de planta con 268,23 cm, y la menor se observó en el tratamiento 2 (defoliación a los nueve meses) con 213 cm. El tratamiento 3 representó un 22 % más de aumento en altura de planta en comparación con el tratamiento 4 (sin defoliación).

Para el diámetro de tallos, no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos en estudio. El CV fue de 16,5 % con una media general de 23,47 mm.

Cuadro 1. Análisis de varianza y medias de Tukey de los diferentes tratamientos de defoliación en estudio y su efecto sobre los parámetros de crecimiento del cultivar COLPOSCTMEX 06-039 de la zafra 2020-2021 dentro del área de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) de la Chontalpa, Tabasco, México.

Table 1. Analysis of variance and Tukey means of the different defoliation treatments under study and their effect on the growth parameters of the COLPOSCTMEX 06-039 cultivar from the 2020-2021 harvest within the supply area of the Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) in Chontalpa, Tabasco, México.

Tratamiento*	Núm. de tallos	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	NDVI
1 Defoliación 8 meses	19,20 a	219,53 b	23,38 a	0,69 b
2 Defoliación 9 meses	20,70 a	213,0 b	23,93 a	0,71 ab
3 Defoliación 10 meses	20,10 a	268,23 a	23,85 a	0,60 c
4 Sin defoliación	18,30 a	219,2 b	22,68 a	0,74 a
Media:	19,57	230	23,47	0,68
CV (%)	20,4	12,8	16,5	6,7
Prob. De F.	0,566NS	<0,001**	0,5817NS	<0,001NS
DMS	4,82	19,91	2,62	0,031

*: número de tratamiento; NS: no significativo; DMS: diferencia mínima significativa; Prob De F: probabilidad de F de Fisher al $P \leq 0,05$; NDVI: índice de vegetación de las diferencias. / *: treatment number; NS: not significant; MSD: least significant difference; Prob De F: Fisher's F probability at $P \leq 0,05$; NDVI: normalized difference vegetation index.

Índice de vegetación de las diferencias normalizadas (NDVI)

El NDVI mostró diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de defoliación (Cuadro 1). El CV obtenido fue de 6,7, con una media general de 0,68. Con base en la comparación múltiple de medias de Tukey, se encontró que el tratamiento 4 (sin defoliación) obtuvo el mayor valor de NDVI con 0,75 y el menor valor se obtuvo con el tratamiento 3 (defoliación a los diez meses), con 0,60.

Efecto de la defoliación sobre el índice de área foliar (IAF)

Para el índice de área foliar (IAF) se encontraron diferencias significativas (Cuadro 2). El CV fue de 12,3 % y con una media general de 4,43. En base a la comparación múltiple de medias de Tukey, se encontró que el tratamiento 4 (sin defoliación) fue el que presentó el mayor IAF con un valor de 5,14, mientras que el menor resultado se obtuvo con el tratamiento 1 (defoliación a los ocho meses), con 3,72.

Efecto de la defoliación en el rendimiento y calidad de caña de azúcar

El análisis de varianza y la comparación de medias para altura de tallo, mostraron efectos significativos entre los diferentes tratamientos de defoliación (Cuadro 3). El CV fue de 11,2 %, el cual se considera bajo y con una media general de 24,5 cm. El tratamiento 2 (defoliación a los nueve meses de edad) fue el que mostró una altura superior con un valor de 253,64 cm, en comparación de los demás tratamientos; el menor valor fue para el tratamiento 3 (defoliación a los diez meses), a pesar haber presentado la mayor altura de planta (Cuadro 1). Lo anterior, sugiere que la proporción de la punta (sección 8-10) fue mayor en este tratamiento, eso explicaría la

Cuadro 2. Análisis de varianza y medias de Tukey de los diferentes tratamientos de defoliación en estudio y su efecto sobre el índice de área foliar (IAF) en el cultivar COLPOSCTMEX 06-039 de la zafra 2020-2021 dentro del área de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) de la Chontalpa, Tabasco, México.

Table 2. Analysis of variance and Tukey means of the different defoliation treatments under study and their effect on the leaf area index (LAI) in the COLPOSCTMEX 06-039 cultivar from the 2020-2021 harvest within the supply area of the Ingenio President Benito Juárez (IPBJ) in Chontalpa, Tabasco, México.

Tratamiento	IAF
1 Defoliación 8 meses	3,72 b
4 Sin defoliación	5,14 a
Media:	4,43
CV (%)	12,35
Prob. De F.	<0,001**
DMS	0,79

DMS: diferencia mínima significativa; Prob De F: probabilidad de F de Fisher al $P \leq 0,05$. / DMS: least significant difference; Prob De F: Fisher's F probability at $P \leq 0,05$.

Cuadro 3. Análisis de varianza y medias de Tukey de los diferentes tratamientos de defoliación en estudio y su efecto sobre los parámetros de rendimiento y calidad del cultivar COLPOSCTMEX 06-039 de la zafra 2020-2021 dentro del área de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) de la Chontalpa, Tabasco, México.

Table 3. Analysis of variance and Tukey means of the different defoliation treatments under study and their effect on the yield and quality parameters of the COLPOSCTMEX 06-039 cultivar from the 2020-2021 harvest within the supply area of the Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) in Chontalpa, Tabasco, México.

Tratamiento	Altura de tallo (cm)	Diámetro de tallo (mm)	°Brix	Rendimiento (t ha ⁻¹)
1 Defoliación 8 meses	242,80 ab	23,36 a	20,52 a	70,45 ab
2 Defoliación 9 meses	253,64 a	24,01 a	20,28 a	83,11 a
3 Defolicacion10 meses	232,72 b	22,57 a	20,74 a	66,28 b
4 Sin defoliación	244,98 ab	24,14 a	20,69 a	72,10 ab
Media:	243,53	23,52	20,55	72,98
C.V. (%)	11,20	15,80	8,90	11,60
Prob. De F.	<0,001**	0,138NS	0,598NS	<0,001**
DMS	14,16	1,93	0,95	15,91

DMS: diferencia mínima significativa; Prob De F: probabilidad de F de Fisher al $P \leq 0,05$ / DMS: least significant difference; Prob De F: Fisher's F probability at $P \leq 0,05$.

mayor altura de planta y la menor altura de tallo obtenida. Para diámetro de tallos, no se encontraron diferencias significativas. El CV fue de 15,8 %, con una media general de 23,52 mm. El tratamiento 2 (defoliación a los nueve meses) mostró el mayor diámetro con 24,01 mm y el tratamiento 3 (defoliación a los diez meses) el menor diámetro con 22,57 mm y la menor altura de tallo.

Grados Brix (°Brix)

Para los °Brix, no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de defoliación. El CV fue de 8,9 % y la media general de 20,55 °Brix. El mayor valor de °Brix se obtuvo en el tratamiento 3 (defoliación a los diez meses) y el menor en el tratamiento 2 (defoliación a los nueve meses). El tratamiento 3 fue el que presentó los menores valores de altura y diámetro de tallo.

Rendimiento de caña de azúcar

Para el rendimiento de la caña de azúcar (t ha⁻¹) se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos de defoliación en estudio (Cuadro 3). El CV fue de 11,6 % y la media general de 72,98 t ha⁻¹. Con base en las comparaciones múltiples de Tukey, se determinó que el tratamiento 2 (defoliación a los nueve meses) presentó el mayor rendimiento de tallos con un valor de 83,11 t ha⁻¹, asimismo, este tratamiento presentó las mayores alturas y diámetros de tallos. No obstante, fue donde se encontró el menor valor de °Brix.

Discusión

El resultado de los tratamientos de defoliación reportados en el número de tallos (Cuadro 1) fue diferente a lo encontrado por Islam et al. (2016), quienes probaron diferentes intensidades de defoliación de hojas, donde el tratamiento de 40 % de defoliación de hojas aplicado a los 7 meses de edad de cultivo, produjo mayor número de tallos (24,8 tallos/2 m). En las condiciones tropicales de Tabasco se han registrado valores de número de tallos de 31 a 38 tallos/2 m en los cultivares CP 72-2086 y Méx 69-290 a un espaciamiento de surcos de 1,3 m y donde el número de tallos se ha asociado al más rápido desarrollo del dosel de los cultivares, con una reducción de la interceptación de luz de los estratos medios e inferiores del mismo, lo que afecta la producción de fotoasimilados para alimentar el crecimiento de los tallos, dándose la senescencia de estos (Izquierdo Hernández, 2021; Salgado Velázquez, 2019).

La mortalidad de tallos en el cultivo de caña de azúcar se ha asociado con una mayor sincronía en el rebrote lo que resulta en una mayor competencia por nutrientes y agua, lo que los lleva a la senescencia (Vasantha et al., 2014). Entonces, la defoliación de las hojas viejas reduce la mortalidad de los tallos y mejora el rendimiento de la caña y la acumulación de azúcar (Islam et al., 2016; Miah & Sarker, 1982).

El efecto provocado por la defoliación sobre la altura de planta en este estudio (Cuadro 1), difiere de lo reportado por Calderón Amariles (2020), quien reportó que no se encontraron diferencias significativas en altura de planta entre los tratamientos de deshoje artificial y sin deshoje en el cv. CC 01-1940 en el Valle del Cauca, Colombia. Asimismo, el diámetro de tallos no fue afectado por los diferentes tratamientos de defoliación, similar a lo reportado por Calderón Amariles (2020), quien encontró que el diámetro de tallo no se vio afectado por el deshoje a la edad de 7,5 meses en el cv. CC 01-1940. No obstante, Tariku (2020) reportó diferencias significativas en el diámetro de tallos entre diferentes tratamientos de defoliación y el testigo (sin defoliación). Asimismo, se ha reportado que cultivares de caña de azúcar con alto grado de defoliación presenta características deseables, en donde el diámetro de tallo fue mayor en comparación con cultivares con bajo grado de defoliación (Huang et al., 2018).

El NDVI se ha usado para evaluar la deficiencia y el exceso de nutrientes en las hojas a través de respuestas espectrales obtenidas por sensores. La variación en la concentración de nutrientes en las hojas indica estrés fisiológico, el cual puede ser causado por diversos factores limitantes que ocurren en el ambiente de producción (Pinheiro Lisboa et al., 2018). No obstante, en este estudio se encontró que un alto NDVI no significó mayor altura

de planta, dado que el tratamiento 3 (defoliación a los diez meses) presentó la mayor altura a pesar de obtener el menor valor de NDVI. Los valores reportados en este estudio de NDVI de 0,75 en el tratamiento 4 (sin defoliación) fueron similares a los encontrados por Salgado Velázquez (2019) con 0,72 y al de 0,74 de Izquierdo Hernández (2021) en los cv. CP 72-2086 y Méx 69-290, respectivamente, en cañas establecidas sin técnicas de defoliación a la edad de 8 meses.

El efecto de reducción del IAF debido a la defoliación de las hojas (Cuadro 2), fue similar a lo reportado por Jain et al. (2010), quienes al aplicar la defoliación parcial en el mes de agosto propiciaron un aumento del rendimiento agrícola de la caña en un 26,1 % y el azúcar comerciable ($t\ ha^{-1}$) en un 29,3 %, con una disminución en el índice de área foliar en un 42,2 %. Los valores reportados en este estudio para el Tratamiento 4 (sin defoliación) fueron similares al 5,5 encontrados por Salgado Velázquez (2019) al defoliar a los ocho meses de edad en el cultivar CP 72-2086 e Izquierdo Hernández (2021). Un mayor IAF, no representa un mayor rendimiento de caña al momento de la madurez, ya que este follaje está consumiendo fotoasimilados (Pammenter & Allison, 2002). Asimismo, diversos estudios indican que la caña de azúcar podría desarrollar y mantener más área de hojas verdes de la necesaria para obtener altos niveles de productividad y concentración de azúcar (Gutiérrez-Miceli et al., 2004; Luo et al., 2013).

Los resultados encontrados en los °Brix en este estudio (Cuadro 3) fueron similares a los reportados por Calderón Amariles (2020) e Islam et al. (2016), ya que tampoco encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de defoliación y el control (sin defoliación). Por su parte, Tariku (2020) reportó que en los diferentes tratamientos de defoliación (30-60 % de defoliación) aplicados en las edades de 9, 10 y 11 meses de edad en el cv. NCO-334 en Etiopía, se presentaron variaciones significativamente diferentes, se registró un valor de 22,77 °Brix a los once meses de edad en contraste al Testigo (sin defoliación) con un valor de 18,42 °Brix. Y en diferentes tratamientos de defoliación durante un periodo de dos ciclos de cultivo en los cultivares Isd 37 y Isd 39 en Bangladesh; al 40 % de defoliación se presentaron valores de °Brix de 21,28 en el tiempo de estudio.

Los resultados obtenidos se explican debido a que el dosel de las hojas juega un papel determinante al influir en las relaciones fuente-sumidero, ya que cualquier cambio en la actividad de la fuente (fotosíntesis) afecta el metabolismo del sumidero. La defoliación (eliminación de hojas) influye en el crecimiento y la capacidad fotosintética de las plantas, remobilizan las reservas de carbono y nitrógeno y acelera el metabolismo del sumidero, lo que mejora las relaciones fuente-sumidero (Iqbal et al., 2012). En el presente estudio, la defoliación no afectó a los °Brix y de acuerdo con los valores establecidos en México para definir jugos de buena calidad se requiere que los tallos presenten de 18-22 °Brix (Salgado García et al., 2013).

Entonces, realizar la defoliación en la planta de caña de azúcar puede contribuir en aumentar el suministro de nutrientes en el suelo por el aporte de los restos de la defoliación, asimismo, los restos de la defoliación pueden usarse como alternativas de producción de bioenergía. Además, la metodología propuesta de defoliación en la caña de azúcar se considera útil para facilitar la aireación dentro de la plantación y el aprovechamiento de la luz solar en las hojas activas para aumentar la productividad del cultivo y mejorar las prácticas de cosecha al tener menos impurezas (Xie et al., 2020).

El tratamiento 3 (defoliación a los diez meses) fue el que generó el menor rendimiento de tallos de 66,28 $t\ ha^{-1}$, las menores alturas y diámetros de tallos y los mayores °Brix (Cuadro 3). Estos resultados indican que existe una proporción constante entre los parámetros de crecimiento (altura, diámetro y rendimiento de tallos) y que la concentración de sacarosa (°Brix) no es representativa de los carbohidratos necesarios para los parámetros de crecimiento (Gao et al., 2017). Lo anterior se atribuye al momento en que se detiene el crecimiento de los tallos, ya que también se detiene la biosíntesis del ácido giberélico, pero no se afecta la fotosíntesis y es cuando empieza el aumento del contenido de sacarosa e inversamente durante el periodo de mayor crecimiento del cultivo se requieren fuentes de carbono para las actividades químicas y por ende, el contenido de sacarosa es menor (Calderón Amariles, 2020; Gao et al., 2017; Gutiérrez-Miceli et al., 2004).

Entonces, la respuesta de las plantas a la defoliación podría usarse para manipular las relaciones fuente-sumidero mediante la eliminación de hojas inferiores y senescentes para obtener la mayor capacidad fotosintética y un metabolismo eficiente del carbono y el nitrógeno en entornos óptimos y estresantes (Iqbal et al., 2012). Tal como lo señalan los resultados de este estudio, donde la defoliación de las hojas de caña de azúcar afectó positivamente al rendimiento de tallos ($t\ ha^{-1}$) y similar a lo reportado por Calderón Amariles (2020), Jain et al. (2010), Islam et al. (2016) y Tariku (2020). Cabe mencionar que el rendimiento encontrado en el tratamiento 2 (defoliación a los 9 meses) de $83,11\ t\ ha^{-1}$ y $20,28\ ^\circ\text{Brix}$ en el ciclo soca del cv. COLPOSCTMEX 06-039, se consideran aceptables al compararlo con $120\ t\ ha^{-1}$ y $15\ ^\circ\text{Brix}$ reportados por Salgado García et al. (2017), donde el cv. COLPOSCTMEX 06-039 fue establecido en un suelo Inceptisol en condiciones tropicales de Tabasco y correspondiente al ciclo vegetativo de plantilla.

Conclusiones

Respecto a la comparación de medias y al análisis de varianza de los parámetros de crecimiento y calidad del cultivar COLPOSCTMEX 06-039, se observó que la defoliación realizada a los nueve meses presentó el mayor rendimiento de tallos por hectárea.

En general, la defoliación no presentó efectos negativos en los parámetros agroindustriales, por lo tanto, se sugiere su aplicación, dado que aumentó el rendimiento de la caña de azúcar y conservó la calidad del jugo.

Se sugiere ampliar los intervalos de aplicación de la defoliación de las hojas de caña de azúcar para contar con un mejor monitoreo y evaluar su efecto sobre el crecimiento y la calidad del jugo de caña de azúcar, e incluir más cultivares y técnicas de defoliación.

Para implementar esta práctica en campo, se requiere de al menos cinco jornales para defoliar una hectárea de caña de azúcar con un machete.

Referencias

- Calderón Amariles, V. L. (2020). *Productividad de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L. Var. CC 01-1940) mediante el deshoje artificial en Pradera Valle del cauca, Colombia* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia. <https://bit.ly/3iFPjVU>
- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. (2021). *Base de datos climatológica nacional (sistema CICLOM)*. <http://clicom-mex.cicese.mx/mapa.html>
- Fortes, C., Ocheuze Trivelin, P. C., & Vitti, A. C. (2012). Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo state, Brazil. *Biomass and Bioenergy*, *42*, 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.03.011>
- Gao, X. -X., Liu, S. -C., Zhang, Y. -B., Guo, J. -W., Fang, Z. -C., Dao, J. -M., Fan, X., & Deng, J. (2017). Differential Analysis of Endogenous Hormone Levels and Natural Defoliation Traits During Sugarcane (*Saccharum* spp.) Maturation. *Sugar Tech*, *19*, 41–50. <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0441-2>
- Gutiérrez-Miceli, F. A., Morales-Torres, R., Espinosa-Castañeda, J. Y., Rincón-Rosales, R., Montes-Molina, J., Oliva-Llaven, M. A., & Dendooven, L. (2004). Effects of partial defoliation on sucrose accumulation, enzyme activity and agronomic parameters in sugarcane (*Saccharum* spp.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, *190*(4), 256–261. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2004.00103.x>

- Huang, Y., Shang, H., Xu, Y., Jiang, H., Xu, S., & Zhang, M. (2018). Quantitative evaluation of variation in defoliation traits among sugarcane genotypes. *Plos one*, *13*(5), Article e0196071. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196071>
- Iqbal, N., Masood, A., & Khan, N. A. (2012). Analyzing the significance of defoliation in growth, photosynthetic compensation and source-sink relations. *Photosynthetica*, *50*(2), 161–170. <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0029-3>
- Islam, M. J., Rahman, M. A., Uddin, M. J., Hossain, M. I., Al-Amin, H. M., Razzak, M. A., & Reza, M. (2016). Effects of artificial defoliation on yield and quality of sugarcane. *Eco-friendly Agriculture Journal*, *9*(7), 51–54.
- Izquierdo Hernández, J. (2021). *Análisis del crecimiento de cultivares de caña de azúcar (Saccharum officinarum) en el Ingenio Santa Rosalía de la Chontalpa, Tabasco* [Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados]. Colegio de Postgraduados Digital. <https://bit.ly/3iNiyPF>
- Jain, R., Kulshreshtha, N., Shahi, H. N., Solomon, S., & Chandra, A. (2010). Effect of leaf stripping on cane and sugar yield in sugarcane. *Sugar Tech*, *12*, 70–71. <https://doi.org/10.1007/s12355-010-0014-8>
- Lázaro Sánchez, G. del R., Bautista, F., Goguitchaichvili, A., López-Noverola, U. and Sánchez-Hernández, R. (2021). Efecto de la quema agrícola en un vertisol de Tabasco México: fosforo, pH y conductividad eléctrica. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *24*(1), Artículo 26. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3569>
- Luo, J., Zhang, H., Deng, Z. -H., Xu, L. -P., Xu, L. -N., Yuan, Z. -N., & Que, Y. -X. (2013). Analysis of yield and quality traits in sugarcane varieties (lines) with GGE-Biplot. *Acta Agronomica Sinica*, *39*(1), 142–152. <https://doi.org/10.3724/SPJ.1006.2013.00142>
- Miah, M. A. S., & Sarker, M. A. A. (1982). Effect of artificial defoliation and stalks binding on the cane quality. *Bangladesh Journal of Sugarcane*, *4*, 51–53.
- Montenegro-Ballester, J., & Chaves-Solera, M. (2021). Efecto de la quema en caña de azúcar sobre el carbono de un Andisol. *Alcances Tecnológicos*, *14*(1), 31–48. <https://doi.org/10.35486/at.v0i0.185>
- Ortiz Laurel, H., Salgado García, S., Castelán Estrada, M., & Córdova Sánchez, S. (2012). Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *3*(Esp. 4), 767–773.
- Pammenter, N. W., & Allison, J. C. S. (2002). Effects of treatments potentially influencing the supply of assimilate on its partitioning in sugarcane. *Journal of Experimental Botany*, *53*(366), 123–129. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.123>
- Pinheiro Lisboa, I., Melo Damian, J., Cherubin, M. R., Silva Barros, P. P., Fiorio, P. R., Cerri, C. C., & Pellegrino Cerri, C. E. (2018). Prediction of sugarcane yield based on NDVI and concentration of leaf-tissue nutrients in fields managed with straw removal. *Agronomy* *8*(9), Article 196. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090196>
- Salgado García, S., Izquierdo Hernández, J., Lagunes Espinoza, L. del C., Palma López, D. J., Córdova Sánchez, S., Ortiz Laurel, H., & Castelán Estrada, M. (2017). Consumo de nitrógeno por cultivares de caña de azúcar en Tabasco, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Cuyo*, *49*(1), 45–59. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/3102>
- Salgado García, S., Lagunes Espinoza, L. D. C., Núñez Escobar, R., Ortiz García, C. F., Bucio Alánis, L., & Aranda Ibáñez, E. M. (2013). *Caña de azúcar: Producción sustentable* (No. 633,61 C121ca). Colegio de Postgraduados.
- Salgado Velázquez, S. (2019). *Dinámica de crecimiento de variedades de caña de azúcar en diferentes condiciones edáficas de la Chontalpa, Tabasco* [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. Colegio de Postgraduados Digital. <https://bit.ly/3IU6pNL>

- Statistical Analysis System. (2009). *SAS/STAT® 9.2 User's guide* (2nd ed.). SAS Institute Inc. <https://bit.ly/3XkrzFE>
- Tariku, K. (2020). Effect of percent and stage of leaf defoliation on the quality of sugarcane, at Arjo-Dedessa Sugar Factory, in Western Ethiopia. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 6(6), 7–13. <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3923267>
- Vasanth, S., Gupta C., & Shekinah D. E. (2014). Physiological studies on tiller production and its senescence in sugarcane-response comparison between plant and ratoon crops. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 84(1), 24–27. <https://epubs.icar.org.in/index.php/IJAgS/article/view/37145>
- Welles, J. M., & Cohen, S. (1996). Canopy structure measurement by gap fraction analysis using commercial instrumentation. *Journal of Experimental Botany*, 47(9), 1335–1342. <https://doi.org/10.1093/jxb/47.9.1335>
- Xie, L., Wang, J., Cheng, S., Zeng, B., & Yang, Z. (2020). Optimisation and dynamic simulation of a conveying and top breaking system for whole-stalk sugarcane harvesters. *Biosystems Engineering*, 197, 156–169. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.06.017>