

Sequía e interacción sequía*barrenador en la caña de azúcar durante la etapa vegetativa*

Drought and drought *borer interaction in sugarcane during the vegetative stage

José Nery Rodríguez Morales^{1§}, Abel Muñoz Orozco¹, Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez², Leobigildo Córdova Téllez³, Carlos Humberto Bortoni Treviño⁴ y Héctor López Neria⁴

¹Recursos Genéticos y Productividad-Genética-Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, carretera México-Texcoco, km 36.5, C. P. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México. Tel: 01 (595) 9520200. Ext. 1470. (amunozo@colpos.mx). ²Departamento de Fitotecnia-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México- Texcoco km 38.5, C. P. 56230, Chapingo, Texcoco, Estado de México. Tel: 01 (595) 9521500. Ext. 1614. (jaxayacatl@gmail.com). ³Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Semillas, Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México- Texcoco km 36.5, C. P. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México. Tel: 01 (595) 9520200. Ext. 1511. (lcordova@colpos.mx). ⁴Ingenio Emiliano Zapata, Avenida Lázaro Cárdenas 51, C. P. 62780, Zacatepec de Hidalgo, Morelos. Tel: 01 (734) 3430796. (campo_eza@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: rodriguez.jose@colpos.mx.

Resumen

La sequía afecta negativamente al desarrollo y rendimiento de cultivos; el grado de afectación depende de su intensidad, del genotipo y de la interacción entre estos. En México, 62% de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) se cultiva bajo temporal. Para conocer algunos de los efectos de la sequía en este cultivo, se estableció un experimento en campo en Tlaquiltenango, Morelos, México en 2011. Se probaron diez variedades, en los tratamientos de sequía: con riego (S0) durante la Gran Sequía Invernal (GSI) que cubrió de finales de octubre de 2011 a mediados de mayo de 2012; sin riego de marzo a mediados de mayo de 2012 (S1); y sin riego de finales de noviembre de 2011 al final de la GSI (S2). Se cuantificó: número de brotes y cepas vivas; altura de planta; longitud, número y diámetro de tallos molederos; así como el número y longitud de entrenudos en estos. La sequía redujo el número de cepas y brotes vivos en 29 y 21%, respectivamente, debido al ataque de *Diatraea* sp., que se hizo más severo a medida que la sequía se intensificó. La recuperación de las plantas fue diferencial entre tratamientos, ya que la altura de la planta se redujo 15 y 26% para S1 y S2 respecto a S0, respectivamente. La longitud del tallo moledero se redujo

Abstract

Drought impacts negatively growth and crop yield; the degree of damage depends on its intensity, genotype and the interaction between these. 62% of sugarcane (*Saccharum* spp.) in Mexico is grown under rainfed. To know some of the effects of drought in this crop, an experiment was established in the field in Tlaquiltenango, Morelos, Mexico in 2011. Ten varieties were tested, in the drought treatment: irrigated (S0) during the Great Winter Drought (GSI) which covered the end of October 2011 to mid-May 2012; without irrigation from March to mid-May 2012 (S1); without irrigation from late November 2011 to the end of the GSI (S2). Were quantified: number of shoots and live strains; plant height; length, diameter and number of grinding stems; number and length of internodes in these. The drought reduced the number of strains and live shoots in 29 and 21%, respectively, due to the attack of *Diatraea* sp., which became more severe as drought intensified. The recovery of plants was different between treatments, since the height of the plant reduced 15 and 26% for S1 and S2 regarding to S0, respectively. The length of grinding stems was reduced on average for

en promedio para S1 y S2, 34%, asociado a reducciones en número y longitud de entrenudos. El número y diámetro de tallos molederos también se redujeron en sequía.

Palabras clave: *Diatraea* sp., *Saccharum* spp., componentes de rendimiento, gran sequía invernal.

Introducción

La caña de azúcar pertenece a la Familia Botánica Poaceae, al género *Saccharum*, que integra 38 especies (www.theplantlist.org/31/enero/2014). Las variedades actualmente cultivadas provienen de la cruce interespecífica de especies pertenecientes a este género (Flores, 2001), entre ellas *S. officinarum* L., *S. sinense* Roxb., *S. robustum* Brand & Jesw. ex Grassl. y *S. spontaneum* L. (Price, 1963). El cultivo de la caña de azúcar es importante por sus derivados: azúcar, bagazo, etanol, entre otros. El etanol como combustible, lo convierte en una importante fuente renovable de energía.

En México se sembraron 718 890.79 ha por año de caña de azúcar (promedio de los años 2001 a 2010), con un valor de la producción de \$18 837 500.51 (x 1 000) millones de pesos (SIAP, 2010). En la última década, el rendimiento medio de caña ha sido de 60 a 70 t ha⁻¹ y el de sacarosa de 8 000 kg ha⁻¹ (Aguilar, 2012). Son 57 los ingenios que procesan la caña que se produce en México, y están localizados en 15 estados, distribuidos en 6 regiones (Aguilar, 2012).

En el área de abasto del Ingenio Emiliano Zapata en Zacatepec, Morelos; el ciclo agrícola de la caña varía de 13 a 16 meses para la plantilla, con aprovechamientos posteriores de una soca y alrededor de 6 resocas, cuyos ciclos agrícolas son de 12 meses; lo que da un potencial de vida aprovechable del cultivo de aproximadamente 8 años. Aunque en muchas áreas de producción se cuenta con riego de auxilio, el agua es muchas veces insuficiente, y en el cultivo de secano se presenta un periodo prolongado de sequía durante el desarrollo del cultivo, lo cual según Martínez y Fernández (2004), se ha manifestado de manera más extensa y severa por el cambio climático. En México, 62% de la superficie cultivada con caña es de temporal (Aguilar, 2012).

Una disminución en la disponibilidad de agua tiene un efecto inmediato en el crecimiento vegetal (Pugnaire *et al.*, 1999), y en la caña reduce la longitud de tallos, el número de brotes, de entrenudos y de tallos molederos (Ramesh y

S1 and S2, 34%, associated to reductions in the number and length of internodes. The number and diameter of grinding stems were also reduced by drought.

Keywords: *Diatraea* sp., *Saccharum* spp., great winter drought, yield components.

Introduction

Sugar cane belongs to the Botanical Poaceae family, to the genus *Saccharum*, which includes 38 species (www.theplantlist.org/31/enero/2014). The varieties currently grown come from interspecific crosses of species belonging to this genus (Flores, 2001), including *S. officinarum* L., *S. sinense* Roxb., *S. robustum* Brand & Jesw. ex Grassl and *S. spontaneum* L. (Price, 1963). The crop of sugar cane is important for its derivatives: sugar, bagasse, ethanol, among others. Ethanol as fuel makes it an important renewable energy source.

In Mexico were plated 718 890.79 ha per year of sugarcane (average of the years 2001-2010), with a production value of \$18 837 500.51 (x 1 000) million pesos (SIAP, 2010). In the last decade, the average cane yield was 60 to 70 t ha⁻¹ and sucrose 8 000 kg ha⁻¹ (Aguilar, 2012). There are 57 mills that process sugar cane in Mexico and are located in 15 states, divided into 6 regions (Aguilar, 2012).

In the supply area from the mill Emiliano Zapata in Zacatepec, Morelos; agricultural cane cycle varies from 13-16 months for ratoon, with subsequent exploitation of ratoon and about 6 ratoon, whose agricultural cycles are 12 months; giving a potential crop life of about 8 years. Although in many areas of production count with auxiliary irrigation, water is often insufficient, and under rainfed a prolonged drought occurs during the growing season, which according to Martínez and Fernández (2004), has manifested more extensive and severe due to climate change. 62% of the cultivated area with sugar cane is rainfed (Aguilar, 2012).

A reduction in water availability has an immediate effect on plant growth (Pugnaire *et al.*, 1999) and in cane reduces stem length, number of buds, internodes and grinding stems (Ramesh and Mahadevaswamy, 2000). In generating cane varieties available in Mexico has not considered the drought factor, so that the resulting effects of this factor are unknown. One way to obtain information, is applying the model I of resistance to drought, which considers that the

Mahadevaswamy, 2000). En la generación de las variedades disponibles de caña en México no se ha considerado el factor sequía, por lo que se desconocen los efectos resultantes de dicho factor. Una manera de obtener información al respecto, es aplicando el Modelo I de la resistencia a sequía, que considera que la resistencia genética es función de efectos genéticos genéricos (G) y específicos a sequía (G x S) (Muñoz y Rodríguez, 1988). El modelo se aplica bajo el método riego-sequía (Muñoz, 1979-80) o al evaluar los genotipos en varias localidades bajo sequía (Muñoz y Rodríguez, 1988).

En el presente trabajo se evaluaron tres tratamientos de sequía en la etapa vegetativa de diez variedades de caña recomendadas para la zona productora que abastece al ingenio Emiliano Zapata, ubicado en Zacatepec, Morelos; bajo el supuesto que los tratamientos de sequía no afectan significativamente el establecimiento y desarrollo de la planta.

Materiales y métodos

Ubicación y características del lugar del experimento

El experimento se estableció en la parcela La Lagunilla, Ejido Palo Grande, Tlaquiltenango, Morelos; aproximadamente a 18° 35' latitud norte, 99° 08' longitud oeste y 926 msnm. El suelo de este lugar es de lomerío, inclinado, calcáreo, poco profundo, con textura franca y migajón arcilloso; con un promedio de 1.7% de materia orgánica, 27.4% de humedad a capacidad de campo y 14.4% en punto de marchitamiento permanente. De acuerdo a la estación meteorológica más cercana (Jojutla, Morelos) este sitio tiene clima cálido, es el más seco de los subhúmedos, tiene poca oscilación térmica y una precipitación pluvial anual de 832.4 mm (García, 1988). La distribución pluvial ocurre de mediados de mayo a mediados de octubre, con una Gran Sequía Invernal (GSI) de mediados de octubre de 2011 hasta mediados de mayo de 2012, durante la cual se aplicaron los tratamientos de sequía (Figura 1).

Material genético

Se utilizaron las variedades: V1, CP 72-2086; V2, ITV 92-1424; V3, MEX 79-431; V4, MY 55-14, V5 MEX 69-290, V6, ATEMEX 96-40; V7, CO 997; V8, MEX 80-1415; V9, ATEMEX 98-1 Y V10, LTMEX 96-10. La semilla fue donada por el Comité de Producción y Calidad Cañera del

genetic resistance is a function of generic genetic effects (G) and specific to drought (G x S) (Muñoz and Rodríguez, 1988). The model is applied under irrigation-drought method (Muñoz, 1979; 1980) or to evaluate genotypes in different locations under rainfed (Muñoz and Rodríguez, 1988).

In this paper three drought treatments were evaluated during the vegetative stage of ten varieties from sugarcane recommended for the producing area that supplies the mill Emiliano Zapata, located in Zacatepec, Morelos; under the assumption that drought treatments did not significantly affect the establishment and development of the plant.

Materials and methods

Location and characteristics of the experimental site

The experiment was established in the field La Lagunilla, Ejido Palo Grande, Tlaquiltenango, Morelos; approximately 18° 35' north latitude, 99° 08' west longitude and 926 masl. The soil from this place is hilly, sloping, calcareous, and shallow, with loam and clay loam; with an average of 1.7% organic matter, 27.4% moisture at field capacity and 14.4% at wilting point. According to the closest weather station (Jojutla, Morelos) this site has warm climate, is the driest from the sub-humid, has little temperature variation and an annual rainfall of 832.4 mm (García, 1988). The distribution of rainfall occurs from mid-May to mid-October, with a Great Drought Winter (GSI) in mid-October 2011 to mid-May 2012, during which drought treatments (Figure 1) were applied.

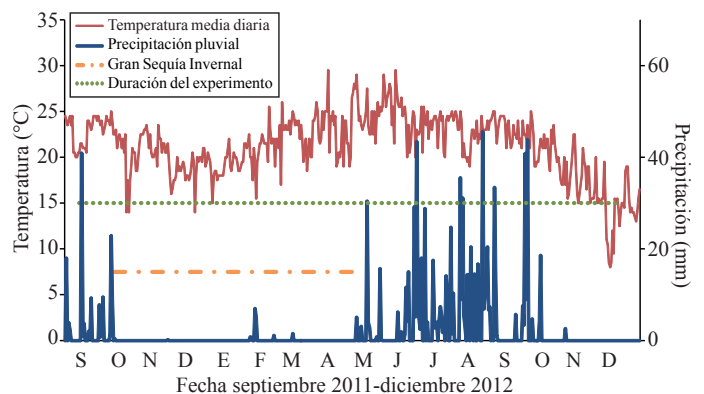


Figura 1. Temperatura y precipitación pluvial diaria durante el periodo del experimento; datos del Ingenio Emiliano Zapata, Zacatepec, Morelos.

Figure 1. Temperature and daily rainfall during the experimental period; information from the mill Emiliano Zapata, Zacatepec, Morelos.

Fideicomiso Ingenio Emiliano Zapata ubicado en Zacatepec, Morelos, que consistió en trozos de caña de 0.40 m de longitud, con tres a cuatro yemas vegetativas por trozo.

Tratamientos de sequía

Durante el periodo de GSI se aplicaron los tratamientos de sequía, que consistieron en: con riego durante la GSI (S0); sin riego de marzo al final de la GSI (S1); y sin riego de finales de noviembre de 2011 al final de la GSI (S2). En S2 y S1 hubo 2 y 6 riegos de auxilio, respectivamente; y en S0 alrededor de 10.

Diseño experimental

El diseño experimental fue de Parcelas Divididas en Bloques al Azar con arreglo factorial de tratamientos, asignando los niveles de sequía a parcelas grandes y las variedades a subparcelas, con dos repeticiones. Las subparcelas fueron de dos surcos de 4.50 m de largo por 1.20 m de ancho.

Conducción del experimento

La siembra se realizó el 13 de septiembre de 2011 a cordón doble, depositando en cada cordón cinco trozos de caña. Si hicieron dos fertilizaciones al suelo a razón de 78.1 kg de fertilizante marca comercial Cañero (18-04.5-03) en los 1 500 m² del experimento, una en noviembre de 2011 y otra en junio de 2012. Se hicieron dos aspersiones de sulfato de hierro a razón de 16.7 g Lt⁻¹ de agua, una a mediados de noviembre de 2011 y la otra a mediados de marzo de 2012. También se aplicó Folidol en el mes de marzo para el control de conejos. Previo al establecimiento de los tratamientos S2 y S1, se aplicaron dos riegos rodados en todos los tratamientos de sequía (uno a mediados de septiembre de 2011 y otro a mediados de noviembre del mismo año); posteriormente, únicamente S0 y S1 fueron regados a finales de noviembre y de diciembre de 2011, y en la primera semana de febrero y de marzo de 2012; se continuó con riegos solamente para S0, aproximadamente cada mes, hasta final de la GSI.

Variables respuesta

Se contabilizaron los brotes o macollos vivos por subparcela en siete ocasiones entre septiembre de 2011 y agosto de 2012. Los macollos muertos se contaron en cinco cepas por parcela el 09 de marzo. Las cepas vivas y muertas por parcela fueron contadas el 08 de junio. Los brotes muertos fueron examinados visualmente y se contabilizó aquellos con daño

Genetic material

Varieties used: V1, CP72-2086; V2, ITV92-1424; V3, MEX 79-431; V4, MY 55-14; V5, MEX 69-290; V6, ATEMEX 96-40; V7, CO 997; V8, MEX 80-1415; V9, ATEMEX 98-1 and V10, LTMEX 96-10. The seed was donated by the Committee on Sugarcane Production and Quality from the Trustfund Ingenio Emiliano Zapata located in Zacatepec, Morelos, which consisted on pieces of cane 0.40 m in length, with three to four vegetative buds per piece.

Drought treatments

During the GSI period the drought treatments were applied, which consisted: with irrigation during the GSI (S0); without irrigation from March to the end of the GSI (S1); without irrigation in late November 2011 to the end of GSI (S2). In S2 and S1 there were 2 and 6 auxiliary irrigations, respectively; and S0 about 10.

Experimental design

The experimental design was split plot in randomized block with a factorial arrangement of treatments, assigning drought levels to large plots and varieties to subplots, with two replicates. The subplots were two rows of 4.50 m long and 1.20 m wide.

Experimental management

The trial was established on September 13, 2011 at double cord, depositing on each cord five pieces of cane. Two fertilizations were made to the soil at a rate of 78.1 kg of a commercial fertilizer Cañero (18-04.5-03) in 1 500 m² of the experiment, one in November 2011 and another in June 2012. Two sprays of iron sulfate were made at a rate of 16.7 g Lt⁻¹ of water, one in mid-November 2011 and the other in mid-March 2012. Folidol was applied in March to control rabbits. Prior to the establishment of S2 and S1 treatments, two flood irrigations were applied in all drought treatments (one in mid-September 2011 and another in mid-November 2011); then only S0 and S1 were irrigated in late November and December 2011 and in the first week of February and March 2012; irrigations continued only for S0, about every month until the end of GSI.

Response variables

Live shoots or tillers per subplot were counted on seven occasions between September 2011 and August 2012. The dead tillers were counted in five strains per plot on March 9.

evidente por barrenador. Se midió la altura de planta del nivel del suelo al extremo más alto de la hoja en una muestra de tres plantas con competencia completa por subparcela y en ocho ocasiones entre septiembre de 2011 y septiembre de 2012. La longitud del tallo molidero se midió a partir de su base a la última lígula visible en cuatro veces entre agosto y noviembre de 2012. El promedio del diámetro del tallo molidero se calculó en los tres tercios de seis cañas por parcela el 12 de diciembre de 2012; en esta misma fecha, en plena zafra, se determinaron también las componentes de rendimiento: número y longitud de entrenudos y número de tallos molideros.

Análisis estadístico

Al término de la sequía, por efecto de la interacción sequía*barrenador, desaparecieron matas e incluso parcelas completas, por lo que los datos de la población que sobrevivió se analizaron bajo un Diseño Experimental Completamente al Azar con desigual número de observaciones. Se efectuaron análisis de varianza y prueba de comparación de medias Duncan mediante el paquete SAS V.9.0. (SAS Institute, 2002).

Resultados y discusión

Efecto de la sequía y barrenador en brotes y cepas

El número de brotes o macollos vivos por parcela fueron modificados significativamente por los niveles de sequía (Figura 2). En el periodo de septiembre de 2011 al 04 de febrero de 2012 se registró un aumento de más de 100 brotes para los tres tratamientos de sequía, después del cual se observó una reducción que fue más pronunciada en S1 y S2, hasta un promedio de 42%, con respecto a S0 y de acuerdo con las últimas tres fechas de medición (Figura 2). También S0 mostró una ligera reducción en el número de brotes de abril a mayo (Figura 2), que corresponde a los meses más secos y cálidos, cuando el riego, posiblemente, no alcanzó a satisfacer los requerimientos de la planta.

El número de cepas vivas y muertas varió significativamente con el tratamiento de sequía aplicado (Cuadro 1); la eliminación de cepas completas (muertas) en promedio de los dos tratamientos de sequía fue 29%. Al analizar los brotes muertos se observó ataque de gusano barrenador (*Diatraea* sp.), lo que indica que la condición de sequía favorece el ataque de esta plaga, ya que fue más intenso a mayor déficit hídrico (Cuadro 1). Este efecto puede ser considerado como

Live and dead strains per plot were counted on June 08. The dead buds were examined visually and recorded those with obvious damage by borer. Plant height was measured from ground level to the highest end of the leave in a sample of three plants with full competence per subplot and on eight occasions between September 2011 and September 2012. The length of grinding stem was measured from its base to the last visible ligule, four times between August and November 2012. The average diameter of grinding stem was calculated in three thirds of six canes per plot on December 12, 2012; at the same time, during harvest, yield components were determined: number and length of internodes and number of grinding stems.

Statistical analyses

After drought, the effect of drought * borer interaction, plants and even whole plots disappeared, so that data from the population that survived were analyzed under a completely randomized design with unequal number of observations. Analysis of variance and Duncan test using SAS V.9.0 (SAS Institute, 2002) was performed.

Results and discussion

Effect of drought and borer on shoots and strains

The number of live shoots or tillers per plot was modified significantly by the drought levels (Figure 2). In the period from September 2011 to February 4, 2012 an increase of more than 100 shoots for the three drought treatments was recorded; after which was noticed a decrease that was more evident in S1 and S2, to an average of 42%, regarding S0 and according to the last three measurement dates (Figure 2). S0 also showed a slight reduction in the number of shoots from April to May (Figure 2), which corresponds to the driest and warmest months, when irrigation possibly failed to meet the requirements of the plant.

The number of live and dead strains varied significantly with drought treatment (Table 1); the average of removal of complete strains (dead) of the two drought treatments was 29%. When analyzing the dead shoots, it was noticed the attack of borer (*Diatraea* sp.), indicating that drought condition favors the attack of this pest, as it was more intense at higher water stress (Table 1). This effect can be considered as an interaction of drought and

una interacción de sequía y ataque de barrenador, en la cual el efecto desfavorable se intensifica en la medida en que ambos factores, deficiencia hídrica y presencia de barrenador, se hacen más agudos.

El daño de barrenador en tallos molederos (Figura 3), es una variable que se determina de rutina durante la zafra debido a que merma la calidad industrial. Este daño respecto al de la etapa vegetativa, debe ser en algún estado tardío de desarrollo de planta puesto que no mata a los cogollos y la caña logra desarrollar y producir. El que sea una variable de rutina indica que el barrenador es un problema cotidiano en la zona de abasto.

borer attack, in which the adverse effect is intensified as both factors water stress and presence of borer become more acute.

Borer damage in grinding stems (Figure 3) is a routine variable that is determined during the harvest because it undermines the industrial quality. This damage compared to the vegetative stage, must be in a late stage of plant development since it does not kill the buds and cane achieves to grow and produce. Whether it is a routine variable, indicates that the borer is an everyday problem in the area of supply.

Cuadro 1. Daño en brotes y cepas de caña de azúcar sometidas a condiciones de déficit hídrico.
Table 1. Damage in shoots and strains of sugarcane subjected to water deficit conditions.

Variable	Fecha	Nivel de humedad		
		S0	S1	S2
Brotos muertos por cepa	09-mar.-2012	0.4b	0.7b	1.1a
Cepas vivas por parcela	08-jun.-2012	8.7a	6.1b	6.2b
Cepas muertas por parcela	08-jun.-2012	1.2b	3.9a	3.8a

Promedios con distinta letra en la misma hilera, son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

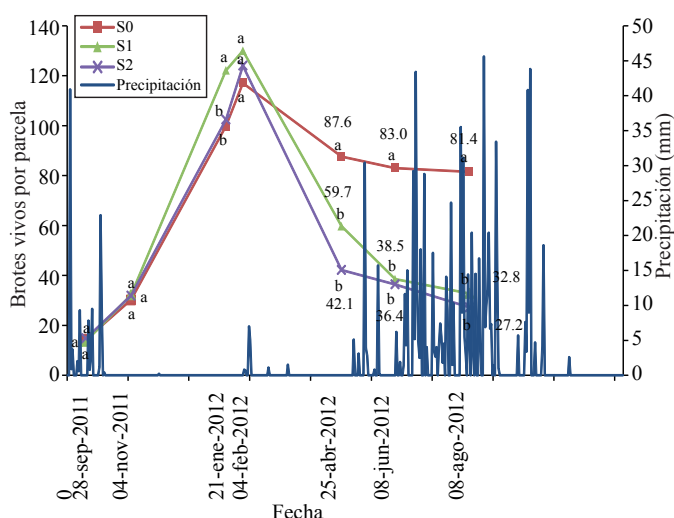


Figura 2. Brotos vivos por nivel de humedad. Promedios con distinta letra en la misma fecha, son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

Figure 2. Alive shoots by humidity level. Means with different letter on the same date are statistically different (Duncan, $p \leq 0.05$).

El ataque de este insecto asociado con el efecto de la sequía, ya ha sido reportado desde 1929 en la Costa Oeste de México (Flanders, 1930). El daño ha sido cuantificado por diferentes métodos (White y Hensley, 1987), uno de ellos consiste en cuantificar la proporción de larvas dentro del



Figura 3. Tallo de caña con presencia de barrenador (*Diatraea* sp.).

Figure 3. Stem cane with presence of borer (*Diatraea* sp.).

The attack of this insect associated with the effect of drought, has already been reported since 1929 on the West Coast of Mexico (Flanders, 1930). Damage was quantified by different methods (White and Hensley, 1987), one of them consist on quantifying the proportion of larvae within the stem (Bessin *et al.*, 1990). Control has been made by using their natural enemies like biological control and varietal resistance (Gifford and Mann, 1967; Bessin *et al.*, 1990). This indicates that genetic resistance has been realized but not based on drought resistance.

tallo (Bessin *et al.*, 1990). El control ha sido mediante sus enemigos naturales, control integral y resistencia varietal (Gifford y Mann, 1967; Bessin *et al.*, 1990). Esto indica que la resistencia genética ya ha sido lograda pero no con base a resistencia a sequía.

El daño de barrenador se ha estudiado bastante, sin embargo su relación con la sequía se ha estudiado poco, los resultados de esta investigación señalan que debe intensificarse este enfoque dada la interacción de esta plaga con la sequía, y aún más, considerando la intensificación que está tomando con el cambio climático.

Efecto de la sequía en variables morfológicas

Altura de planta. Durante el periodo de evaluación se distinguen tres fases de crecimiento (Figura 4). De acuerdo con el promedio de los tres tratamientos de sequía, la primera (28-septiembre-2011 al 04-noviembre-2011) con una tasa de crecimiento promedio de 1.658 cm por día, hasta una altura de 0.77 m (04 de noviembre) previo a la aplicación de los tratamientos de sequía, razón por la cual no existen diferencias significativas (Figura 4). La segunda fase inicia antes y durante todo el periodo en que tuvieron lugar los tratamientos de sequía (04-noviembre-2011 al 08-junio-2012); en esta fase la tasa de crecimiento disminuyó y se manifestaron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 4). En esta segunda fase la tasa de crecimiento de S0 y S1 fue en promedio 0.253 cm por día, sin diferencias significativas, mientras que en S2 la tasa de crecimiento fue 0.101 cm por día (Figura 4).

El comportamiento similar de S0 y S1 posiblemente se debe a que fue la etapa de mayor calor y a que el agua de riego resultó insuficiente para lograr un crecimiento de la planta. La tercera fase de crecimiento corresponde al establecimiento del periodo de lluvia y se caracteriza por un incremento en la tasa de crecimiento de 0.948, 0.646 y 0.688 cm por día para los tratamientos S0, S1 y S2, respectivamente (Figura 4), esto significa que la recuperación de las plantas del estrés hídrico fue diferencial.

Longitud del tallo moledero. El estrés hídrico redujo de manera significativa la longitud del tallo moledero (Figura 5), que en promedio alcanzó 34% para ambos tratamientos de sequía con respecto al testigo, que resulta trascendental ya que es la estructura que ingresa al ingenio para la obtención de azúcar. Hemaprabha *et al.* (2004) señalan que la sequía puede reducir hasta 49% la longitud del tallo moledero.

Borer damage has been studied enough, however their relationship with drought has not been studied enough; the results of this research indicate that this approach should be intensified given to the interaction of this pest with drought, and even more, considering the intensification that is taking with climate change.

Effect of drought on morphological variables

Plant height: during the evaluation period three growth phases (Figure 4) are distinguished. According to the average of the three drought treatments, the first (September-28-2011 to Nov-04-2011) with an average growth rate of 1.658 cm per day, to a height of 0.77 m (November 4) prior to application of drought treatment, reason why there are no significant differences (Figure 4). The second phase starts before and during drought treatments (November-04-2011 to Jun-08-2012); in this phase, growth rate decreased and significant differences manifested between treatments (Figure 4). In this second phase, the growth rate of S0 and S1 averaged 0.253 cm per day, with no significant differences, while in S2 the growth rate was 0.101 cm per day (Figure 4).

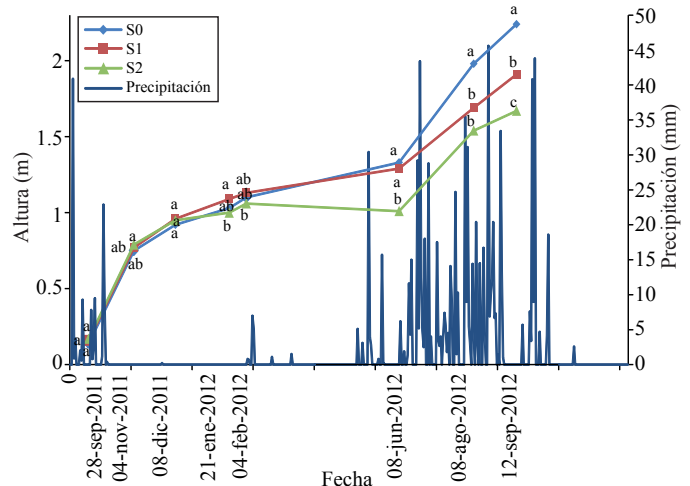


Figura 4. Altura de planta por nivel de humedad. Promedios con distinta letra en la misma fecha, son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

Figure 4. Plant height by humidity level. Means with different letter on the same date are statistically different (Duncan, $p \leq 0.05$).

Similar behavior of S0 and S1 possibly is due to it was during the period of greatest heat and to irrigation water was not enough to achieve growth of the plant. The third growth phase corresponds to the establishment from the rainfall period and it characterizes by an increase in growth

De Almeida *et al.* (2008), señalan que bajo estrés hídrico, los genotipos tolerantes mantienen la longitud de tallos sin reducción significativa, así como su diámetro y peso. Wagih *et al.* (2003), encontraron una interacción genotipo x tratamiento de humedad en esta característica, así como su correlación positiva con el peso seco de biomasa.

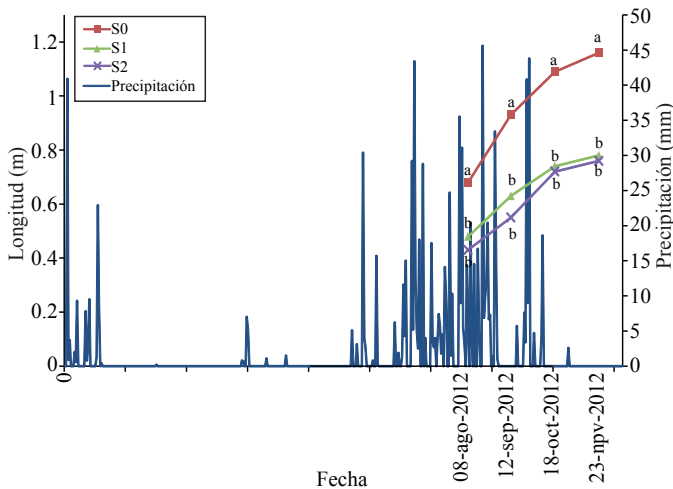


Figura 5. Longitud del tallo molidero por nivel de humedad. Promedios con distinta letra en la misma fecha, son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

Figure 5. Length of grinding stem by humidity level. Means with different letter on the same date, are statistically different (Duncan, $p \leq 0.05$).

Número de tallos molideros por cepa. La sequía afectó de manera negativa a esta componente de rendimiento (Cuadro 2), que en promedio para ambos tratamientos se redujo 80%. En investigaciones anteriores ya se había observado la reducción del número de tallos molideros por efecto de la sequía (Ramesh y Mahadevaswamy, 2000; Vasantha *et al.*, 2005).

Cuadro 2. Efecto de la sequía sobre las variables morfológicas.

Table 2. Effect of drought on morphological variables.

Variable	Fecha	Tratamiento de sequía		
		S0	S1	S2
Número de tallos molideros por cepa	12-dic-2012	12.7a	4.1b	0.9b
Diámetro de tallo molidero (mm)	12-dic-2012	24.0a	11.6b	2.2c
Número de entrenudos	12-dic-2012	9.7a	3.4b	0.5b
Longitud de entrenudos (cm)	12-dic-2012	6.7a	3.2b	0.4c

Promedios con distinta letra en una hilera, son estadísticamente diferentes (Duncan, $p \leq 0.05$).

Diámetro de tallos molideros. El déficit hídrico provocado por los tratamientos de sequía redujo significativamente esta variable, que alcanzó en promedio 71%, con respecto al testigo (Cuadro 2).

rate of 0.948, 0.646 and 0.688 cm per day for S0, S1 and S2, respectively (Figure 4), this means that plant recovery from water stress was differential.

Grinding stem length: Water stress significantly reduced the length of grinding stem (Figure 5), which on average reached 34% for both drought treatments compared to control, which is crucial since it is the structure that enters the mill for the production of sugar. Hemaprabha *et al.* (2004) indicate that drought can reduce up to 49% the length of grinding stem. De Almeida *et al.* (2008) indicate that under water stress, tolerant genotypes maintain the length of stems without significant reduction, as well as its diameter and weight. Wagih *et al.* (2003) found an interaction genotype x moisture treatment in this characteristic thus its positive correlation with dry weight of biomass.

Number of grinding stems per strain: drought affected negatively this yield component (Table 2), on average both treatments reduced by 80%. Previous research showed the reduction on the number of grinding stems by effect of drought (Ramesh and Mahadevaswamy, 2000; Vasantha *et al.*, 2005).

Grinding stems diameter: the water deficit caused by drought treatments significantly reduced this variable, which reached on average 71% compared to control (Table 2).

Number and length of internodes. Both the number and length of internodes were significantly reduced by drought treatments (Table 2), which explains the reduction in the variable length of grinding stem and as result the usable structure. The average reduction for both treatments

(S1 and S2) was 80 and 73% for number and internode length, compared to S0, respectively. In drought Ramesh and Mahadevaswamy (2000) also found a reduction in the number of internodes on this crop.

Número y longitud de entrenudos. Tanto el número como la longitud de entrenudos, se redujeron de manera significativa por los tratamientos de sequía (Cuadro 2), lo que explica la reducción en la variable longitud del tallo moledero y en consecuencia la estructura industrializable. La reducción promedio para ambos tratamientos de sequía (S1 y S2) fue 80 y 73 % para número y longitud de entrenudos, con respecto a S0, respectivamente. En sequía, Ramesh y Mahadevaswamy (2000), también encontraron una reducción del número de entrenudos en este cultivo.

En los altos porcentajes de reducción de estas últimas 4 variables, contribuyeron de manera importante las cepas desaparecidas por la interacción sequía*barrenador, las cuales fueron más numerosas en S2 y S1. De acuerdo con dichos porcentajes, el número de tallos molederos y de entrenudos fueron los más afectados.

Se encontró una correlación positiva significativa entre todas las variables morfológicas, de tal manera que una reducción en cualquiera de ellas por efecto de la sequía, se refleja en una reducción en el resto de las variables. De Almeida *et al.* (2008), señalan que en caña, cuando cualquiera de las componentes de rendimiento (número, longitud, diámetro y peso de tallos) es mejorada bajo sequía, se observará un incremento en las demás, debido a la correlación positiva que hay entre ellas.

Conclusiones

El número de brotes y cepas vivas de caña de azúcar se redujo con los tratamientos de sequía evaluados, los cuales favorecieron el ataque de *Diatraea sp.*, que fue más pronunciado en el nivel de sequía más severo, es decir se manifestó una fuerte interacción del ataque *Diatraea sp.*sequía*, lo cual no había sido reportado en la literatura. La sequía disminuyó las componentes de rendimiento (número, diámetro y longitud de tallos molederos); así como también el número y la longitud de entrenudos, que correlacionan positivamente con la longitud del tallo moledero, y que en conjunto tienen un efecto directo sobre el rendimiento.

Agradecimientos

Al personal de campo del Ingenio Emiliano Zapata y a los ingenieros Nora Lomelí Sandoval, Heriberto Lomelí Sandoval y Moisés Peralta González, por su apoyo en la conducción y toma de datos en esta investigación.

In the high percentages of reduction in the latter 4 variables, removed strains contributed significantly to the drought *borer interaction, which were more numerous in S2 and S1. According to these percentages, the number of grinding stems and internodes were the most affected.

A significant positive correlation between morphological variables was found, so that a reduction in any of them by effect of drought is reflected in a reduction in the remaining variables. De Almeida *et al.* (2008) indicate that in sugarcane, when any of the yield components (number, length, diameter and weight of stems) is enhanced under drought, an increase in others will be observed, due to the positive correlation between them.

Conclusions

The number of shoots and live strains of sugarcane decreased with drought treatments evaluated, which favored the attack of *Diatraea sp.*, which was more evident in most severe drought level, i.e. a strong interaction manifested from the attack *Diatraea sp., *drought.*, which had not been reported in literature. Drought decreased yield components (number, diameter and length of grinding stems); as well as the number and length of internodes, which correlate positively with grinding stem length, and in conjunction have a direct effect on yield.

End of the English version



Literatura citada

- Aguilar, N.; Rodríguez, D. A.; Enríquez, V.; Castillo, A. and Herrera, A. 2012. The mexican sugarcane industry: overview, constraints, current Status and long-term trends. India. Sugar Tech. 14(3):207-222.
- Bessin, R. T.; Moser, E. B. and Reagan, T. E. 1990. Integration of control tactics for management of the sugarcane borer (Lepidoptera: Pyralidae) in Louisiana sugarcane. United States of America. J. Econ. Entomol. 4(83):1563-1569.
- De Almeida, M.; Gonçalves, J. A.; Enciso, J.; Sharma, V. and Jifon, J. 2008. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. Brazil. Scientia Agricola. 6(65):620-627.
- Flanders, S. E. 1930. Mass production of egg parasites of the genus *Trichogramma*. United States of America. Hilgardia. 16(4):465-501.
- Flores, S. 2001. Las variedades de caña de azúcar en México. 1ª edición. México. 308 p.

- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4^{ta} edición. México. 219 p.
- Gifford, J. R. and Mann, G. A. 1967. Biology, rearing, and a trial release of *Apanteles flavipes* in the Florida Everglades to control the sugar cane borer. United States of America. J. Econ. Entomol. 1(60):44-47.
- Hemaprabha, G.; Nagarajan, R. and Alarmelu, S. 2004. Response of sugarcane genotypes to water deficit stress. India. Sugar Tech. 3(6):165-168.
- Martínez, J. y Fernández A. 2004. Cambio climático: una visión desde México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México. 521 p.
- Muñoz, O. A. 1979-80. Técnicas de investigación para resistencia a sequía y heladas en maíz. Informativo del maíz. Número extraordinario de investigación. Universidad La Molina, Lima, Perú. (3):37-41.
- Muñoz, O. A. and Rodríguez, J. L. 1988. Models to evaluate drought resistance. *In*: challenges in dryland agriculture. A Global Perspective. Unger, P. W.; Sneed, T. V.; Jordan, W. R. and Jensen, R. (Eds.). Proceedings of International Conference on Dryland Farming. Amarillo Bushlands, Texas, United States of America. 741-743 pp.
- Price, S. 1963. Cytogenetics of modern sugar canes. United States of America. Econ. Bot. (17):97-106.
- Pugnaire, F. I.; Serrano, L. and Pardos, J. 1999. Constraints by water stress on plant growth. *In*: Handbook of Plant and Crop Stress. Pessaraki, M. (Ed.). 2nd edition. CRC Press. New York, United States of America. 271-284 pp.
- Ramesh, P. and Mahadevaswamy, M. 2000. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. Germany. J. Agron. Crop Sci. 4(185):249-258.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2002. SAS user's guide. Statistics. Version 9.0. SAS Inst., Cary, NC. USA. Quality, and elemental removal. J. Environ. Qual. 4424 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México (SIAP). 2010. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=15&Itemid=19.
- Vasanth, S.; Alarmelu, S.; Hemaprabha, G. and Shanthi, R. M. 2005. Evaluation of promising sugarcane genotypes for drought. India. Sugar Tech. 2-3(7):82-83.
- Wagih, M. E.; Ala, A. and Musa, Y. 2003. Biomass analysis and selection of sugarcane genotypes for drought tolerance. India. Sugar Tech. 4(5):257-263.
- White, W. H. and Hensley, S. D. 1987. Techniques to quantify the effect of *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae) on sugarcane quality. The Netherlands. Field Crops Research. 3-4(15):341-348.