

# REMOLACHA AZUCARERA (*Beta vulgaris* L.) COMO CULTIVO ALTERNATIVO EN EL NORESTE DE TAMAULIPAS, MÉXICO: FACTORES AGROTECNOLOGICOS

## SUGAR BEET (*Beta vulgaris* L.) AS ALTERNATIVE CROP IN NORTHEASTERN TAMAULIPAS, MEXICO: AGROTECHNOLOGICAL FACTORS

Noé Montes-García, M. Eugenia Cisneros-López<sup>1</sup>, Arturo Díaz-Franco, Martin Espinosa-Ramírez, M. Genoveva Álvarez-Ojeda

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Río Bravo. Km 61 Carretera Matamoros-Reynosa, Río Bravo, Tam., México. 88900. (cisneros.maria@inifap.gob.mx)

### RESUMEN

La remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) es la segunda fuente de azúcar en el mundo. El área de adaptación se localiza en países del hemisferio norte. En México se han propuesto varios cultivos para obtención de biocombustibles entre los que destaca la remolacha azucarera. El objetivo del trabajo fue evaluar el potencial productivo de la remolacha azucarera bajo condiciones de riego en el noreste de Tamaulipas; el cual se caracteriza por el monocultivo de sorgo y maíz. La evaluación se hizo durante el ciclo O-I en los años 2010 y 2011 en el Campo Experimental Río Bravo del INIFAP. En nueve variedades comerciales se midió el largo y diámetro máximo de la raíz, producción, distribución de biomasa seca y fresca de raíz, °Brix, rendimiento y producción estimada de azúcar e incidencia de enfermedades. El paquete tecnológico y los costos de producción fueron hechos con adecuaciones a los cultivos predominantes. La presencia de enfermedades fue un riesgo para el cultivo, inducido por la susceptibilidad varietal, cantidad y distribución de la precipitación. Bajo las condiciones de este estudio es posible producir remolacha azucarera en forma comercial hasta 54 t ha<sup>-1</sup> y 18 °Brix. El costo de la semilla representó la mayor inversión en el paquete tecnológico (38%).

**Palabras clave:** adaptación, etanol, remolacha azucarera.

### INTRODUCCIÓN

La remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) pertenece a la familia Chenopodiaceae. El género *Beta* es originario de la costa del Mediterráneo y consiste de tres secciones divergentes (*Corollines*, *Vulgares* y *Patellares*). Todas las formas cultivadas se

\* Autor responsable ✦ Author for correspondence.

Recibido: abril, 2018. Aprobado: agosto, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en ASyD 17: 547-568. 2020.

### ABSTRACT

Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) is the second source of sugar in the world. The adaptation area is located in countries of the northern hemisphere. In Mexico, several crops have been suggested to obtain biofuels, among which sugar beet stands out. The objective of the study was to evaluate the productive potential of sugar beet varieties in northeastern Tamaulipas, where sorghum and maize monocrops are characteristic. The evaluation was performed during the autumn-winter cycle in the years 2010 and 2011 at INIFAP-Río Bravo Experimental Station. The root maximum length and diameter was measured in nine commercial varieties, as well as production, dry and fresh root biomass distribution, °Brix, estimated yield and sugar production, and disease incidence. The technological practices and production costs were made with adaptations to predominant crops. The presence of diseases was a risk for the crop, induced by the varietal susceptibility, and the amount and distribution of precipitation. Under the conditions of this study, it is possible to produce sugar beet commercially in up to 54 t ha<sup>-1</sup> and produce 18 °Brix. The cost of the seed represented the largest investment in the technological package (38%).

**Key words:** adaptation, ethanol, sugar beet.

### INTRODUCTION

Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) belongs to the family Chenopodiaceae. The genus *Beta* is native to the Mediterranean coast and consists of three divergent sections (*Corollines*, *Vulgares* and *Patellares*). All the cultivated forms are derived from the *vulgare* section that constitutes a broad range of variation that includes the red types used as vegetables, fodders and sugar beet (Frese *et al.*,

derivan de la sección *vulgare* que constituyen un amplio rango de variación que incluye los tipos rojos utilizados como vegetales, los forrajeros y la remolacha azucarera (Frese *et al.*, 2001). La remolacha azucarera tiene adaptación a una gama amplia de condiciones climáticas, crece en zonas templadas del hemisferio norte a latitudes de 30 a 60° N; con una longitud de día largo (Cattanach *et al.*, 1991). El mejoramiento genético de este cultivo empezó en tiempos recientes; durante el siglo XVIII cuando se introdujeron los métodos para la extracción de azúcar y se realizaron las primeras selecciones con alto contenido de azúcar y rendimiento de raíz (Dohm *et al.*, 2014; Olof, 2006). En los últimos 50 años se han tenido avances, como la introducción de la androestérilidad para la formación de híbridos, semilla tipo monogermen (Richardson, 2010); genotipos con resistencia a enfermedades de importancia económica como la pudrición de raíz y corona causada por *Rhizoctonia solani* Kuhn (Biancardi *et al.*, 2011). Sin embargo, la diversidad de los híbridos actuales se considera estrecha (Panella *et al.*, 2014).

El cultivo tiene como uso principal la producción de azúcar y debido a la creciente demanda por combustibles limpios, la remolacha azucarera es considerada como una alternativa viable para elaborar bioetanol (Finkenstadt, 2014). La producción mundial de azúcar (sacarosa) se estima en 158 millones de toneladas, siendo 30% las que provienen de la remolacha, la cual se siembra principalmente en países de Europa y Estados Unidos, y en menor escala en Canadá, Chile y Colombia (Pulkrábek *et al.*, 2012). Los rendimientos de la raíz fresca son de 50 a 60 t ha<sup>-1</sup> con un promedio de concentración de azúcar en la raíz de 18.7% y una producción de 9 a 11 t ha<sup>-1</sup> de azúcar (FAO, 2016). La remolacha azucarera es un cultivo potencial para la ganadería ya que puede reemplazar una porción del grano en la ración, se puede cultivar en rotación con cebada, trigo, frijol, maíz, canola y papa, incluso legumbres (Evans y Messerschmidt, 2017). Es importante mencionar que existen regiones áridas y semi-áridas del mundo, donde se cultiva la remolacha azucarera, como Turquía (Sultan y Ertek, 2015) y Egipto, incluso en suelos con problemas de salinidad (Hamada, 2011). En México, la remolacha azucarera y forrajera no se cultivan en forma extensiva (SIAP, 2017), por otra parte, en el año 2015 se registró una producción de 17 mil toneladas de betabel como hortaliza de mesa,

2001). Sugar beet has adaptation to a broad range of climate conditions and it grows in temperate zones of the northern hemispheres at latitudes of 30 to 60° N, with a long day longitude (Cattanach *et al.*, 1991). The genetic improvement of this crop began in recent times, during the 18<sup>th</sup> century, when methods for sugar extraction were introduced and the first selections were made with high sugar content and root yield (Dohm *et al.*, 2014; Olof, 2006). In the last 50 years there have been advancements, such as the introduction of androsterility for the formation of monogerm type seed hybrids (Richardson, 2010), and genotypes with resistance to diseases of economic importance such as root and corona rotting caused by *Rhizoctonia solani* Kuhn (Biancardi *et al.*, 2011). However, the diversity of today's hybrids is considered narrow (Panella *et al.*, 2014).

The crop has sugar production as its main use and due to the growing demand for clean fuels, sugar beet is considered to be a viable alternative to make biofuel (Finkenstadt, 2014). The global sugar (sucrose) production is estimated at 158 million tons, with 30% of it from sugar beet, sown primarily in European countries and the United States, and at a lower scale in Canada, Chile and Colombia (Pulkrábek *et al.*, 2012). The fresh beet root yields are 50 to 60 t ha<sup>-1</sup> with an average sugar concentration in the root of 18.7% and a production of 9 to 11 t ha<sup>-1</sup> of sugar (FAO, 2016). Sugar beet is a potential crop for livestock production since it can replace a grain quantity in the portion, can be cultivated in rotation with barley, wheat, bean, maize, canola and potato, even legumes (Evans and Messerschmidt, 2017). It is important to mention that there are arid and semi-arid regions in the world, where sugar beet is cultivated, such as Turkey (Sultan and Ertek, 2015) and Egypt, even in soils with salinity problems (Hamada, 2011). In Mexico, sugar and fodder beet is not cultivated extensively (SIAP, 2017); on the other hand, in the year 2015, a production of 17 thousand tons of beet as vegetable was produced, and 75% of the production was obtained in the state of Puebla (SIAP, 2017). In regions such as "La Laguna" in Coahuila and northern Tamaulipas, evaluations have been made since the 70's with varieties of fodder beet (Anónimo, 1970).

In Mexico since the year 2008 different crops have been proposed and tested, as potential source of biofuels, among which there is sugarcane (*Sacharum*

75% de la producción se obtuvo del estado del Puebla (SIAP, 2017). En regiones, como la Laguna en Coahuila y el Norte de Tamaulipas, desde la década de los 70 se han hecho evaluaciones con variedades de remolacha forrajera (Anónimo, 1970).

En México desde el año 2008 se han propuesto y probado diferentes cultivos, como fuente potencial de bioenergía para biocombustibles, entre los cuales se encuentra la caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.), el sorgo dulce [(*Sorghum bicolor* L. (Moench)], *jatropha* (*Jatropha curcas* L.) y remolacha azucarera (Alemán-Nava *et al.*, 2015). En forma experimental se han sembrado variedades comerciales de remolacha EBO-616, Purple Sugar, EBO-504, Sweet Heart, con un rendimiento promedio de 67 t ha<sup>-1</sup> y 15.8 °Brix bajo condiciones de riego con adaptación al norte y centro de Nuevo León y norte de Coahuila (Pinales *et al.*, 2012), sur de Sonora, en terrenos marginales con alta salinidad y contenido de sodio regadas con las aguas residuales, el cultivo produjo 40 t ha<sup>-1</sup> de raíz, con rendimientos máximos de 100 t ha<sup>-1</sup> en terrenos de primera calidad (Ochoa *et al.*, 2011) y en el Valle de Mexicali durante el invierno con rendimientos de 70 a 100 t ha<sup>-1</sup> de follaje y 60 a 90 t ha<sup>-1</sup> de raíz (Alvarado *et al.*, 2011). Estas áreas tienen potencial productivo para la remolacha en México (Padilla *et al.*, 2009). En la región Norte de Tamaulipas, el sistema de producción predominante, bajo condiciones de riego es el cultivo de cereales (sorgo y maíz), con una superficie cercana a las 250 mil hectáreas (SIAP, 2017; Montes *et al.*, 2010). En años recientes, en esta región se ha probado el sorgo dulce como fuente de azúcar para la obtención de bioetanol a partir del jugo del tallo (Montes *et al.*, 2017). Ensayos previos en el norte de Nuevo León, bajo condiciones de riego, son el antecedente para considerar a la remolacha azucarera un cultivo rentable con potencial para producir bioetanol en el Norte de Tamaulipas. Los objetivos de este experimento fueron evaluar factores relevantes que influyen en la productividad y rentabilidad de la remolacha: 1) la adaptación varietal; 2) incidencia de enfermedades; 3) producción de azúcar; 4) producción estimada de bioetanol; y 5) rentabilidad del cultivo.

## MATERIALES Y METODOS

Los experimentos se establecieron en campo bajo condiciones de riego durante el ciclo otoño-invierno. La fecha de siembra fue el 25 febrero del

*officinarum* L.), sweet sorghum [(*Sorghum bicolor* L. (Moench)], *jatropha* (*Jatropha curcas* L.) and sugar beet (Alemán-Nava *et al.*, 2015). Commercial varieties of beet have been sown experimentally, EBO-616, Purple Sugar, EBO-504 and Sweet Heart, with average yield of 67 t ha<sup>-1</sup> and 15.8 °Brix under irrigated conditions with adaptation to northern and central Nuevo León and northern Coahuila (Pinales *et al.*, 2012), southern Sonora, in marginal lands with high salinity and sodium content irrigated with residual waters; the crop produced 40 t ha<sup>-1</sup> of beet root, with maximum yields of 100 t ha<sup>-1</sup> in top quality lands (Ochoa *et al.*, 2011), and in the Mexicali Valley during winter with yields of 70 to 100 t ha<sup>-1</sup> of fodder and 60 to 90 t ha<sup>-1</sup> of beet root (Alvarado *et al.*, 2011). These areas have productive potential for sugar beet in Mexico (Padilla *et al.*, 2009). In the northern region of Tamaulipas, the predominant production system under irrigation is cultivation of cereals such as sorghum and maize, with a surface close to 250 thousand hectares (SIAP, 2017; Montes *et al.*, 2010). In recent years, sweet sorghum has been tested in the region as a source of sugar to obtain bioethanol from the stalk juice (Montes *et al.*, 2017). Previous trials under irrigation in northern Nuevo León are the antecedent to consider sugar beet as a profitable crop with potential to produce bioethanol in northern Tamaulipas. The objectives on this study were to evaluate the relevant factors that influence productivity and profitability of beet: 1) varietal adaptation; 2) incidence of diseases; 3) sugar production; 4) estimated bioethanol production; and 5) crop profitability.

## MATERIALS AND METHODS

The experiments were established in the field under conditions of irrigation during the autumn-winter cycle. The sowing date was February 25, 2010, and March 3, 2011, in the Rio Bravo Experimental Station at Rio Bravo, Tamaulipas, Mexico, which depends on the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, INIFAP. It is located in the geographical coordinates 25° 57' 54" Latitude North and 98° 01' 03" Longitude West, altitude of 50 m, mean annual temperature of 23.5 °C and mean annual precipitation of 550 mm (Silva *et al.*, 2007). The previous crop in the year 2010 was

2010 y el 3 de marzo del 2011, en el Campo Experimental Río Bravo, Río Bravo, Tam., dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Se localiza en las coordenadas geográficas 25° 57' 54" Latitud Norte y 98° 01' 03" Longitud Oeste; altitud 50 msnm, temperatura media anual 23.5 °C y una precipitación media anual de 550 mm (Silva *et al.*, 2007). El cultivo anterior en el año 2010 fue sorgo, mientras que en el 2011 no hubo cultivo. El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones. La parcela experimental fue de 7.5 m × 0.80 m. El manejo agronómico consistió en desvare del terreno, barbecho y rastreo. La siembra se efectuó utilizando 10 semillas m<sup>-1</sup> lineal tipo monogerm (peletizadas); después se aclaró para tener una densidad aproximada de 62 mil plantas ha<sup>-1</sup> (aproximadamente una planta cada 20 cm), a una profundidad de siembra de 2 cm. Las variedades utilizadas fueron EBO217, EBO5008, EBO5011, EBO5024, EBO5025, EBO5092, EBO5506, EBO5520 y EBO5523, provenientes de Brawley, CA, EUA. La dosis de fertilización fue 150-60-00. Urea [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] y superfosfato triple [Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] se usaron como fuentes de nitrógeno y fósforo, respectivamente. La primera aplicación del nitrógeno (50%) y todo el fósforo se hizo antes de la siembra, la segunda aplicación con N se hizo 30 días después (cuando el cultivo tenía de 6 a 8 hojas). Se aplicaron tres riegos, el primero de asiento o pre siembra, después a los 40 días el primero de auxilio y el último a los 70 días después de la siembra. El manejo de malezas y plagas se hizo conforme a las recomendaciones de Ochoa *et al.*, (2011). La recolección de frutos se efectuó en la primera semana de julio y consistió en deshojado, descoronado, arranque y carga.

### Suelo y clima

Los experimentos se establecieron en el lote C4, en cual consta de dos hectáreas. Previo a la siembra en enero de 2010 y febrero de 2011 se muestreo el suelo para determinar sus propiedades físicas y químicas a una profundidad de 30 cm. Los datos climáticos, temperatura ambiental, precipitación y humedad fueron tomados de la estación automática, perteneciente a la Red de Estaciones Climáticas del INIFAP, ubicada en el Campo Experimental Río Bravo.

sorghum, while in 2011 there was no crop. The experimental design was in random blocks with four replications. The experimental plot was 7.5 m × 0.80 m. The agronomic management consisted in clearing the terrain, plowing and dragging. Sowing was carried out using 10 monogerm type (pelletized) seeds linear m<sup>-1</sup>; then thinning was done, to have an approximate density of 62 thousand plants ha<sup>-1</sup> (approximately one plant every 20 cm), at a sowing depth of 2 cm. The varieties used were EBO 217, EBO 5008, EBO 5011, EBO 5024, EBO 5025, EBO 5092, EBO 5506, EBO 5520 and EBO 5523, from Brawley, CA, USA. The fertilization dosage was 150-60-00. Urea [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] and triple superphosphate [Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] were used as nitrogen and phosphorus sources, respectively. The first application of nitrogen (50%) and all the phosphorus was done before sowing; the second application with N was done 30 days later (when the crop had 6 to 8 leaves). Irrigation was applied three times, the first on entry or pre-sowing, then the first auxiliary at 40 days, and the last one 70 days after sowing. The management of weeds and pests was made in agreement with the recommendations by Ochoa *et al.* (2011). The collection of fruits was carried out in the first week of July and consisted in defoliating, decrowning, pulling and loading.

### Soil and climate

The experiments were established in plot C4, which consists of two hectares. Prior to sowing in January 2010 and February 2011, the soil was sampled to determine its physical and chemical properties at a depth of 30 cm. The climate data, environmental temperature, precipitation and humidity were taken from the automatized station, belonging to INIFAP's Network of Climate Stations, located in the Rio Bravo Experimental Station.

### Morphological traits of the varieties

At the moment of harvest, the following variables were determined in ten plants of the central furrow: length of root (LR) and maximum width at widest part of the beet root or diameter (DR); number of leaves (NH); fresh weight of beet root (PFC); dry weight of fodder (PFF); total fresh weight (PFT), proportion of fresh root/fodder PFC/PFF); proportion of dry

### Caracteres morfológicos de las variedades

En diez plantas del surco central se determinó al momento de la cosecha, las siguientes variables: longitud del camote (LC) y máximo ancho parte más ancha de la raíz (MA); número de hojas (NH); peso fresco (gr) de raíz (PFC); peso fresco (gr) de follaje (PFF); peso fresco (gr) total (PFT), y proporción raíz/follaje fresco (PFC/PFF); proporción raíz/follaje seco (PSC/PSF). El peso de follaje incluyó peciolo y láminas.

### Fitosanitarias

Se evaluó la incidencia de pudrición radicular en plántula (IPP) e incidencia de camotes infectados (IPC), la cuantificación se realizó por parcela (n=10 plántulas/camotes) y los datos se expresaron en porcentaje ( $I = \text{Número de plantas con síntomas} / \text{número de plantas total} \times 100$ ). La evaluación en campo se basó en los síntomas, los cuales fueron lesiones de color café oscuro en hipocótilo, marchitez (estrangulamiento de la base del tallo), colapso de los cotiledones incluso la muerte. En la raíz al momento de la cosecha manchas oscuras, desarrollo de micelio y esclerocios (Hanson, 2010). El aislamiento e identificación de *R. solani* a partir de tejidos vegetales, se realizó conforme a la metodología propuesta por Gutiérrez *et al.* (2006).

### Productivas

En los diez bulbos se tomó una muestra de la pulpa de la parte central para determinar sólidos solubles (°Brix). La pulpa se trituró con un exprimidor, posteriormente se colocó el jugo en un refractómetro digital Atago 3810 PAL-1. Esta variable mide la concentración de sólidos solubles en el jugo y está correlacionada positivamente con el contenido total de azúcares reductores ( $r^2=0.89$ ) principalmente sacarosa (Dutra *et al.*, 2013). El resto del tejido de la raíz y las hojas se secaron por 72 hr a 100 °C, para determinar el peso seco del camote (PSC), peso seco del follaje (PSF), peso seco total (PST) y la proporción raíz/follaje. Estos datos se expresaron por planta. Se cuantificó en base al peso fresco la producción por parcela ( $\text{kg parcela}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ); posteriormente se estimó el RC=Rendimiento por hectárea de raíz o camote ( $\text{t ha}^{-1}$ ) y el RA=Rendimiento de azúcar ( $\text{t ha}^{-1}$ )= $[\text{Rendimiento de raíz} (\text{t ha}^{-1}) \times \text{concentración de azúcar} (\%)]/100$  (Ahmad *et al.*, 2016).

root/fodder (PSC/PSF). The fodder weight included petioles and sheets<sup>1</sup>.

### Phyosanitary

The incidence of root rotting in seedling (IPP) and incidence of infected roots (IPC) were assessed, the quantification was carried out per plot (n=10 seedlings/roots) and the data expressed in percentage ( $I = \text{Number of plants with symptoms} / \text{number of total plants} \times 100$ ). The field assessment was based on the symptoms, which were lesions of dark brown color in hypocotyl, withering (strangling of the stalk base), collapse of the cotyledons, and even death. At the time of harvesting, dark spots, mycelium development and sclerosis on the root (Hanson, 2010). The isolation and identification of *R. solani* from plant tissues was carried out in agreement with the methodology proposed by Gutiérrez *et al.* (2006).

### Productive

A sample of the pulp was taken from the central part of the ten bulbs to determine soluble solids (°Brix). The pulp was obtained with a crusher, and the juice was then placed in a digital refractometer Atago 3810 PAL-1. This variable measures the concentration of soluble solids in the juice and is positively correlated with the total content of reducing sugars ( $r^2=0.89$ ), mainly sucrose (Dutra *et al.*, 2013). The rest of the root tissue and leaves were dried for 72 h at 100 °C, to determine the dry weight of the root (PSC), dry weight of the fodder (PSF), total dry weight (PST) and root/fodder proportion. These data were expressed per plant. The production per plot was quantified based on the fresh weight ( $\text{kg plot}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ); later, the RC=Yield per hectare of root or root ( $\text{t ha}^{-1}$ ) and the RA=Yield of sugar ( $\text{t ha}^{-1}$ )= $[\text{Yield of root} (\text{t ha}^{-1}) \times \text{sugar concentration} (\%)]/100$  were estimated (Ahmad *et al.*, 2016).

### Profitability of the crop

The technological practices proposed by Pinales *et al.* (2012) were considered in the production costs of the crop, with adaptations to the influence area of INIFAP's Río Bravo Experimental Station (Irrigation district 026, which includes partially the municipalities of Mier, Miguel Aleman, Camargo,

## Rentabilidad del cultivo

En los costos de producción del cultivo se consideró como base el paquete tecnológico propuesto por Pinales *et al.* (2012), con adecuaciones al área de influencia del Campo Experimental Río Bravo del INIFAP (Distrito de riego 026, que comprende parcialmente los Municipios de Mier, Miguel Alemán, Camargo, Díaz Ordaz, Reynosa y Río Bravo). El valor de los conceptos en el costo del cultivo con actualización al ciclo otoño-invierno 2018. Con base a los resultados de rendimiento promedio por tonelada de raíz  $\text{ha}^{-1}$ , de las variedades probadas en este estudio se calculó el ingreso, tomado como precio de referencia 35.5 USD por tonelada de remolacha azucarera, que es el precio de referencia promedio con actualización al 08/07/2017 (USDA-NASS, 2018). El valor del dólar se tomó con actualización al 27-02-18 a \$18.48 (Banxico, 2018), para hacer las conversiones necesarias en este trabajo.

El análisis estadístico se realizó con SAS 9.3 (SAS, 2010) utilizando PROC GLM en un modelo de bloques al azar con arreglo factorial, los factores: seis genotipos y años (2010 y 2011). Las medias se diferenciaron mediante prueba de Tukey. Los datos se analizaron en forma combinada con información de los dos años. Con las variables morfológicas, fitosanitarias y productivas se hicieron correlaciones de Pearson.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Clima y suelo

En el Campo Experimental Río Bravo se registraron temperaturas mínimas durante el establecimiento entre 10 y 15 °C; durante el resto del ciclo hasta cosecha, la temperatura máxima promedio fue cercana a los 30 °C, no se tuvieron registros de temperaturas superiores a 35 °C (Cuadro 1). La remolacha azucarera se adapta a una amplia gama de condiciones climáticas (Kenter *et al.*, 2006). La temperatura media diaria óptima del aire bajo condiciones de campo, para crecimiento de la raíz primaria es de aproximadamente 18 °C, correspondiente a temperaturas máximas diarias entre 22 y 26 °C. La máxima tasa de crecimiento foliar también es de 18 °C. Las temperaturas medias diarias superiores a 18

Díaz Ordaz, Reynosa and Río Bravo). The value of the concepts in the cost of the crop is updated to the Autumn-Winter 2018 cycle. Based on the results of average yield per ton of root  $\text{ha}^{-1}$ , the income was calculated from the varieties tested in this study, taking as reference price \$35.5 USD per ton of sugar beet, which is the average reference price updated to 08/07/2017 (USDA-NASS, 2018). The value of the dollar was updated to 27/02/18 at \$18.48 (Banxico, 2018), to make the necessary conversions in this study.

The statistical analysis was carried out with SAS 9.3 (SAS, 2010) using PROC GLM in a randomized block design with factorial arrangement; the factors: six genotypes and years (2010 and 2011). The means were differentiated through the Tukey test. Also, data was analyzed in a combined manner with information from the two years. Pearson's correlations were performed with the morphological, phytosanitary and productive variables.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Climate and soil

Sugar beet adapts to a broad range of climate conditions (Kenter *et al.*, 2006). The daily optimal mean temperature of the air under field conditions for growth of the primary root is approximately 18 °C, corresponding to daily maximum temperatures between 22 and 26 °C. The maximum rate of leaf growth is also at 18 °C. Daily mean temperatures higher than 18 °C during the season of root growth lead to loss in the yield, which can be attributed to a reduction in photosynthesis as in the accumulation of dry matter (Kenter *et al.*, 2006). In our study, the minimum temperatures observed during the establishment at Río Bravo Experimental Station were between 10 and 15 °C; during the rest of the cycle and until the harvest, the maximum average temperature was close to 30 °C, and no records of temperatures higher than 35 °C were found (Table 1). On the other hand, atypical changes in precipitation are the direct result of temperature increases, which are happening locally, regionally and globally in the tropics and subtropics (McMichael *et al.*, 2006; Trenberth, 2011). Precipitation has increased in many producing countries of beet of higher latitudes such as United Kingdom, Belgium, Russia and Ukraine,

**Cuadro 1.** Datos de temperatura ambiente, precipitación y humedad relativa, durante el ciclo del cultivo. Campo Experimental Río Bravo. Río Bravo, Tamaulipas.

**Table 1.** Data of environmental temperature, precipitation and relative humidity, during the cultivation cycle. Rio Bravo Experimental Station. Río Bravo, Tam., Mexico.

| Mes      | Año (2010) |      |      |       |      | Año (2011) |       |      |       |       |
|----------|------------|------|------|-------|------|------------|-------|------|-------|-------|
|          | TMax       | TMin | TMed | PP*   | HR%  | TMax       | TMin  | TMed | PP*   | HR%   |
| Enero    | 24.1       | 10.9 | 16.8 | 8.2   | 70.4 | 20.92      | 10.43 | 15.3 | 35.6  | 81.35 |
| Febrero  | 23.1       | 10.4 | 16.4 | 67.2  | 81.7 | 22.3       | 10.8  | 16.1 | 1.4   | 73.50 |
| Marzo    | 25.6       | 12.3 | 18.8 | 4.6   | 68.8 | 27.5       | 15.5  | 21.1 | 2.2   | 72.50 |
| Abril    | 28.0       | 18.2 | 22.8 | 52.8  | 81.3 | 31.1       | 20.4  | 25.4 | 0.0   | 75.90 |
| Mayo     | 31.5       | 21.7 | 26.3 | 53.8  | 80.1 | 31.3       | 22.0  | 26.2 | 3.4   | 78.20 |
| Junio    | 34.4       | 24.0 | 28.6 | 41.8  | 79.5 | 34.5       | 23.1  | 28.2 | 84.2  | 74.60 |
| Julio    | 33.5       | 24.3 | 28.2 | 21.4  | 82.1 | 34.9       | 24.2  | 29.1 | 7.2   | 74.00 |
| Promedio | 28.6       | 17.4 | 22.6 | 249.8 | 77.7 | 28.9       | 18.1  | 23.1 | 134.0 | 75.70 |

T: temperatura ambiente (°C); PP\*: precipitación mensual acumulada (mm); HR: humedad relativa. ♦ T: environmental temperature (°C); PP\*: monthly accumulated precipitation (mm); and HR: relative humidity.

°C durante la temporada de crecimiento de la raíz, conducen a pérdidas en el rendimiento, lo que puede atribuirse a una reducción en la fotosíntesis como en la acumulación de materia seca (Kenter *et al.*, 2006). Por otra parte, los cambios atípicos en la precipitación son resultado directo de los incrementos en temperatura, que se están registrando a escala local, regional y global en los trópicos y subtrópicos (McMichael *et al.*, 2006; Trenberth, 2011). Las precipitaciones han aumentado en varios países productores de remolacha de latitudes más altas como Reino Unido, Bélgica, Rusia y Ucrania; aunque para Alemania y Polonia han descendido (OIA, 2013). La presencia de sequía es el factor climático que restringe la expansión a áreas donde potencialmente se puede cultivar (Stevanato *et al.*, 2010). En áreas tropicales se ha observado que hay potencial para la producción de azúcar a partir de remolacha (Pathak *et al.*, 2014), donde las temperaturas máximas son similares a estos valores registrados en este experimento (Cuadro 1). La precipitación acumulada total fue de 485 y 249 mm, en el 2010 y 2011, respectivamente, en el primer año de evaluación la cantidad de precipitación se distribuyó de forma más uniforme (Cuadro 1). Durante el ciclo del cultivo se registró en el año 2010 el doble de precipitación (250 mm) y similar humedad relativa (78% HR), en comparación al año 2011 (134 mm y 76% HR). Durante el ciclo del cultivo (febrero-julio) se acumuló casi 75% de la precipitación registrada durante todo el año. En los primeros 60 días del año (enero-febrero) en la etapa de pre y post siembra se acumularon 76.4 mm de precipitación en el año 2010 y 37 mm en el año 2011

although for Germany and Poland it has decreased (OIA, 2013). The presence of drought is the climate factor that restricts the expansion to areas where it can be potentially cultivated (Stevanato *et al.*, 2010). In tropical areas, where the maximum temperatures are similar to those values recorded in this experiment, it has been observed that there is potential for sugar production from beet (Pathak *et al.*, 2014), (Table 1). The total accumulated precipitation was 485 and 249 mm, in 2010 and 2011, respectively; in the first year the amount of precipitation was distributed more evenly (Table 1). During the cultivation cycle in the year 2010 precipitation was double (250 mm) and similar relative humidity (78% HR), compared to the year 2011 (134 mm and 76% HR). During the cultivation cycle (February-July), nearly 75% of the precipitation recorded in the entire year was accumulated. In the first 60 days of the year (January-February) in the pre and post sowing stage, 76.4 mm of precipitation were accumulated in the year 2010 and 37 mm in the year 2011 (Table 1). According to Kenter *et al.* (2006), not the amount of precipitation or the supply of irrigation, or the climate water balance, adequately describe the growth of leaves or main root in sugar beet, which is why the increase in dry matter from the primary root depends on the soil's capacity to retain water. According to this, the water data considered in the month of January previous to sowing after irrigation was approximately 50 and 70 L m<sup>2</sup>, which can be retained for up to 30 days (Montes *et al.*, 2013). It is important to mention that from 2003 to 2015 climate changes related with precipitation have been found. The

(Cuadro 1). De acuerdo con Kenter *et al.* (2006), ni la cantidad de precipitación o el suministro de riegos, ni el equilibrio hídrico climático describe adecuadamente el crecimiento de las hojas o raíz principal en remolacha azucarera, por lo que el aumento de la materia seca de la raíz primaria depende de la capacidad del suelo para retener agua. De acuerdo a lo anterior, en los datos se consideró el mes de enero previo a la siembra después de un riego de aproximadamente entre 50 y 70 L m<sup>2</sup>, donde se puede retener humedad hasta por 30 días (Montes *et al.*, 2013). Es importante mencionar que de 2003 a 2015 se han registrado cambios climáticos relacionados con la precipitación. La precipitación promedio es de 553 mm, casi 100 mm menos que la registra en el periodo previo de 35 años (Silva *et al.*, 2007); dos años consecutivos muy secos el 2011 (250 mm) y 2012 (313 mm). Tres años por arriba del promedio 2004 (758 mm), 2007 (715 mm) y 2015 (750 mm). El mes de mayo del 2016 fue el mes más seco en 50 años, no llovió. Los meses de abril-junio es la época de trilla en la región del norte de Tamaulipas, para el cultivo más importante; el sorgo, tanto en temporal como en riego (Montes *et al.*, 2010). En el caso de la remolacha, los meses de mayo a junio sería el tiempo de llenado de raíz y cosecha, así tenemos que durante el periodo del 1963 al 2002 el promedio de precipitación para esos meses osciló entre 40 a 69 mm. En contraste del 2003 al 2015 los valores oscilaron entre 28 a 126 mm con un promedio de 81 mm. Cualquier modelo para estimar crecimiento, predicción del rendimiento, producción azúcar y balance energético se debe tomar la precipitación como factor de riesgo (Reineke *et al.*, 2013). En este estudio la precipitación se registró en forma errática (ausencia e intensa en algunos períodos), lo que debe de tomarse en cuenta si se planea introducir un nuevo cultivo, como la remolacha.

En relación al suelo, el estudio se estableció en suelo medianamente alcalino de textura franca, adecuados contenidos de arcilla, moderadamente salino, dado su conductividad eléctrica de 3.8 dS m<sup>-1</sup>, por su contenido de materia orgánica y nitratos, se clasifican como pobres en fertilidad, aunque son ricos en contenidos de fósforo, pero muy bajo contenido de potasio extraíble. De los microelementos cuantificados, solo el Fe se presenta deficiente, el cual está limitado en su absorción por el pH alcalino y un antagonismo por los altos contenidos de fósforo (adicionar referencia que lo sustente) (Cuadro 2). Bhadoria *et al.* (2002) reporta

average precipitation is 553 mm, almost 100 mm less than the one found in the previous period of 35 years (Silva *et al.*, 2007). Two consecutive very dry years were 2011 (250 mm) and 2012 (313 mm); three years above average were 2004 (758 mm), 2007 (715 mm) and 2015 (750 mm). The month of May 2016 was the driest month in 50 years, it did not rain. The months of April-June are the threshing season in the northern region of Tamaulipas, for the most important crop, sorghum, both rainfed and under irrigation (Montes *et al.*, 2010). In the case of beet, the months of May to June would be the time for root filling and harvest, and so we have that during the period of 1963 to 2002 the average precipitation for those months ranged between 40 and 69 mm. In contrast, from 2003 to 2015 the values ranged between 28 and 126 mm with an average of 81 mm. Any model to estimate growth, predict yield, sugar production and energetic balance should take precipitation as a risk factor (Reineke *et al.*, 2013). In this study precipitation was found to be erratic (absent and intense in some periods), which should be taken into account if there is the intention of introducing a new crop, such as beet.

This crop is adapted to a broad range of types of soil, from sandy of coarse texture with high content of organic matter, clayey, clay-silt, loam-clay and silt; although in stony soils it presents development problems (Cattanach *et al.*, 1991); it is susceptible to soil acidity (Hoffman, 2011). The optimal pH of the soil is closer to the neutral point since the germination and the emergence of seedlings in moderately acid soils causes the slow growth and unequal establishment, due to the death of plants and rickets (Christenson and Draycott, 2006). It has even been tested in soils with low levels of organic matter (0.78%), high salinity of 5.33 dS m<sup>-1</sup> and pH 7.9 (Mekdad and Rady, 2016). Concerning the soil, the study was established with moderately alkaline soil of loam texture, adequate contents of clay, moderate salinity, given its electric conductivity of 3.8 dS m<sup>-1</sup>; because of its content of organic matter and nitrates, it is classified as poor in fertility, although it is rich in phosphorus contents, but with very low content of extractable potassium. Of the microelements quantified, only Fe was deficient, which is limited in its absorption by the alkaline pH and antagonism due to the high contents of phosphorus (Table 2). Bhadoria *et al.* (2002) reports that beet has low



que la remolacha es poco eficiente para usar el Fe/Al-P o Ca-P; sin embargo, se ha encontrado que la adición de micronutrientes no influye el rendimiento y la producción de azúcar (Ahmad *et al.*, 2016). Este cultivo se adapta a una amplia gama de tipos de suelos, desde arenosos de textura gruesa con alto contenido de materia orgánica, arcillosos, arcillo-limosos, franco-arcilloso y limosos; pero en suelos pedregosos presenta problemas de desarrollo (Cattanach *et al.*, 1991); es susceptible a la acidez del suelo (Hoffman, 2011). El pH óptimo del suelo es cercano al punto neutro ya que la germinación y la emergencia de las plántulas en suelos moderadamente ácidos, causa el crecimiento lento y establecimiento desigual, debido a la muerte de plantas y raquitismo (Christenson y Draycott, 2006). Incluso se ha probado en suelos con pobres niveles de materia orgánica (0.78%), alta salinidad de 5.33 dS m<sup>-1</sup> y pH 7.9 (Mekdad y Rady, 2016). Considerando las propiedades físicas y químicas del suelo se puede decir que es apto para el cultivo, sobre todo porque no es ácido y pedregoso. La remolacha requiere de buena humedad para germinar, pero si en un plazo de 15 a 20 días no ha recibido de nuevo agua, puede perderse la siembra. Los suelos arenosos tienen menor capacidad de retención de agua, por lo tanto, los riegos tendrán que ser más ligeros y frecuentes; ocurriendo lo contrario en suelos arcillosos (Ochoa *et al.*, 2011).

### Adaptación varietal

El análisis de varianza (ANAVA) se presenta en el Cuadro 3. En general el factor con mayor efecto significativo fue el año de producción, en promedio contribuyó a explicar 43% de la varianza; en segundo lugar, la variedad (32%) y la interacción (G x A) solo 15%. De acuerdo con Tsialtas y Maslaris (2010),

efficiency to use Fe/Al-P or Ca-P; however, it has been found that the addition of micronutrients does not influence the yield and production of sugar (Ahmad *et al.*, 2016). Considering the physical and chemical properties of the soil it can be said that it is good for cultivation, particularly because it is not acid and stony. Beet requires good humidity to germinate, but if in a period of 15 to 20 days it does not receive water again, the harvest can be lost. Sandy soils have a lower capacity for water retention, therefore, the risks will be slighter and more frequent; the opposite happens in clayey soils (Ochoa *et al.*, 2011).

### Varietal adaptation

The variance analysis (ANOVA) is presented in Table 3. In general, the factor with highest significant effect was the production year, which contributed in average to explaining 43% of the variance; in the second place, the variety (32%) and the interaction (G x A), which explained only 15%. According to Tsialtas and Maslaris (2010), the year and the location are factors that affect significantly the morphology of the beet root, while the year and the genotype influence the accumulation of fresh weight and sucrose content. In our study, the variety or genotype presented higher significance ( $p < 0.001$ ) in the distribution of fodder fresh weight, maximum diameter of root, incidence of root rotting and root yield (Table 3). While the year in fodder fresh weight, root length, number of leaves, incidence of seedlings root rotting, distribution of dry weight (root, fodder and total), and sugar yield per hectare. The interaction had a limited effect in this experiment, although there was significance for some variables, the statistical weight was lower compared to the main factors. It is possible to explain the results by the

**Cuadro 2.** Propiedades físicas y química del suelo utilizado en los estudios de remolacha azucarera ubicado en el Campo Experimental Río Bravo del INIFAP.

**Table 2.** Physical and chemical properties of the soil used in the studies of sugar beet located at the INIFAP Río Bravo Experimental Station.

| MO (%)     | pH   | Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> ) | Arena | Arcilla (%) | Limo  | Clase textural | NO <sub>3</sub> -N | K extraíble (ppm) | P    |
|------------|------|---|-------|-------------|-------|----------------|--------------------|-------------------|------|
| Año (2010) |      |   |       |             |       |                |                    |                   |      |
| 1.56       | 8.37 | 0.58  | 61.8  | 18.2        | 20    | Franco arenoso | 23.5               | 2315              | 9.2  |
| Año (2011) |      |   |       |             |       |                |                    |                   |      |
| 1.44       | 8.36 | 0.81  | 61.8  | 17.8        | 20.36 | Franco arenoso | 24.0               | 2243              | 14.6 |

MO: materia orgánica. ♦ MO: organic matter.

**Cuadro 3.** Análisis de la varianza (cuadrados medios) de características agronómicas de remolacha azucarera observados en el ciclo de otoño-invierno de los años 2010 y 2011 en Río Bravo, Tamaulipas.

**Table 3.** Variance analysis (mean squares) of agronomic characteristics of sugar beet observed in the Autumn-Winter cycle of the years 2010 and 2011 in Río Bravo, Tam., Mexico.

| E.V. | gl | PFC        | (gr planta <sup>-1</sup> ) |            |         | MAC     | LC      | NH      | IPP      |
|------|----|------------|----------------------------|------------|---------|---------|---------|---------|----------|
|      |    |            | PFF                        | PFT        | PFC/PFF |         |         |         |          |
| G    | 8  | 317721.0** | 6195.9*                    | 395544.3** | 4.0**   | 8.0**   | 73.0*   | 74.9*   | 329.5*   |
| A    | 1  | 223240.9*  | 9527.6**                   | 325015.3*  | 0.01 ns | 0.02 ns | 291.9** | 90.0**  | 1848.4** |
| G*A  | 8  | 122683.7*  | 6843.7*                    | 86513.1 ns | 3.5*    | 3.4*    | 182.7*  | 5.7 ns  | 346.7*   |
| B    | 3  | 94289.2 ns | 1102.9 ns                  | 87055.0 ns | 1.7 ns  | 0.14 ns | 20.7 ns | 21.6 ns | 50.9 ns  |

  

| E.V. | gl | IPC     | (gr planta <sup>-1</sup> ) |         |          | °Brix   | RC     | RA      |         |
|------|----|---------|----------------------------|---------|----------|---------|--------|---------|---------|
|      |    |         | PSC                        | PSF     | PST      |         |        |         | PSC/PSF |
| G    | 8  | 485.1** | 644.9**                    | 26.5*   | 749.8*   | 7.8*    | 4.4 ns | 367.0** | 11.0**  |
| A    | 1  | 212.5*  | 775.5**                    | 520.4** | 1227.4** | 38.9**  | 325.8* | 116.0*  | 25.0**  |
| G*A  | 8  | 113.5*  | 1.4 ns                     | 25.8*   | 212.2*   | 3.8*    | 35.0*  | 113.2*  | 3.7*    |
| B    | 3  | 75.4 ns | 92.7 ns                    | 0.81 ns | 100.1 ns | 0.45 ns | 6.2 ns | 22.7 ns | 2.7 ns  |

F.V.: fuente de variación; G: genotipo; A: año; G\*A interacción y B: bloque. Peso fresco del camote (PFC), del follaje (PFF) y total (PFT), proporción raíz/follaje en base a peso fresco (PFC/PFF); máximo ancho (MAC) y largo del camote (LC), NH: número de hojas; incidencia de pudrición radicular de plántula (IPP) y camote (IPC); peso seco del camote (PSC), del follaje (PSF) y total (PST); proporción raíz/follaje en base a peso seco (PSC/PSF); RC: rendimiento de camote y rendimiento de azúcar (RA). Significancia estadística (\*)  $p < 0.01$ ; (\*\*)  $p < 0.001$ . ♦ F.V.: source of variation; G: genotype; A: year; G\*A interaction and B: block. Fresh weight of the root (PFC), of fodder (PFF) and total (PFT), proportion root/fodder based on fresh weight (PFC/PFF); maximum width or diameter (DR) and length of the root (LC), NH: number of leaves; incidence of root rotting of the seedling (IPP) and root (IPC); dry weight of the root (PSC), of fodder (PSF) and total (PST); proportion root/fodder based on dry weight (PSC/PSF); RC: yield of root and sugar yield (RA). Statistical significance (\*)  $p < 0.01$ ; (\*\*)  $p < 0.001$ .

el año y la localidad son factores que afectan significativamente la morfología de la raíz de remolacha; mientras que el año y el genotipo influyen en la acumulación de peso fresco y el contenido de sacarosa. En nuestro estudio, la variedad o genotipo se presentó mayor significancia ( $p < 0.001$ ) en distribución del peso fresco del follaje, diámetro máximo de la raíz, incidencia de la pudrición del camote y rendimiento del camote (Cuadro 3). Mientras que el año en peso fresco del follaje, largo del camote, número de hojas, incidencia de la pudrición radicular de plántulas, distribución del peso seco (raíz, follaje y total) y en el rendimiento de azúcar por hectárea. La interacción tuvo un efecto limitado en este experimento, aunque hubo significancia para algunas variables, el peso estadístico fue menor comparado con los factores principales. La explicación de resultados es posible atribuirla al contrastante entre el año 2010 y 2011, en términos de humedad relativa y precipitación. Los resultados históricos de precipitación para el periodo 1963-2002 para el Campo Experimental son de 648 mm y durante la etapa de crecimiento del cultivo de 238 mm (Silva *et al.*, 2007). Es decir, el año 2011 fue en promedio, muy seco, solo se registró 50% de

contrast between the years 2010 and 2011, in terms of relative humidity and precipitation. The historical results of precipitation for the period 1963-2002 for the Experimental Station are 648 mm and during the growth stage of the crop, 238 mm (Silva *et al.*, 2007). That is, the year 2011 was in average very dry and there was only 50% of the expected precipitation. The presence of water changes is a restrictive factor for the production of this crop, because there is varietal susceptibility to water stress, causing changes in the production of sugar and distribution of the biomass (Romano *et al.*, 2013).

Among the factors that limit the productive potential of sugar beet are phytosanitary problems (Pulkrábek *et al.*, 2012; Rozman *et al.*, 2015) and given the characteristics of agriculture in this region, monocrop of cereals (sorghum-corn), the presence of soil pathogens would be expected such as *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid (Williams-Alanís *et al.*, 2009), whose range of hosts is broad (Muñoz-Cabañas *et al.*, 2005), among which is sugar beet (Karadimos *et al.*, 2002). Throughout the cultivation cycle the presence of this pathogen was not observed, but root rotting was observed from the

la precipitación esperada. La presencia de cambios hídricos es un factor restrictivo para la producción de este cultivo, porque hay susceptibilidad varietal al estrés hídrico, causando cambios en la producción de azúcar y distribución de la biomasa (Romano *et al.*, 2013).

Entre los factores que limitan el potencial productivo de la remolacha azucarera están los problemas fitosanitarios (Pulkrábek *et al.*, 2012; Rozman *et al.*, 2015) y dadas las características de la agricultura en esta región, monocultivo de cereales (sorgo-maíz), se esperaría la presencia de patógenos del suelo como *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid (Williams-Alanís *et al.*, 2009), cuyo rango de hospederos es amplio (Muñoz-Cabañas *et al.*, 2005), entre los cuales está la remolacha azucarera (Karadimos *et al.*, 2002). A lo largo del ciclo del cultivo no se observó la presencia de este patógeno, pero desde el estado de plántula (aproximadamente 20 DDS) se observó la pudrición radicular, causada por *Rhizoctonia solani* Kuhn (Cuadro 4 y 5), principal enfermedad del cultivo en áreas comerciales el cual está presente en todo tipo de suelos (Schulze *et al.*, 2016); cuya alternativa de manejo más rentable es la resistencia genética (Hanson, 2010). En el presente estudio la enfermedad

stage of seedling (approx. 20 days after sowing, DAS), caused by *Rhizoctonia solani* Kuhn (Tables 4 and 5), main disease of the crop in commercial areas which is present in all sorts of soils (Schulze *et al.*, 2016), whose most profitable management alternative is genetic resistance (Hanson, 2010). In this study the disease caused the mortality of the plants. The means comparison showed that there are differences between years and varieties (Table 4 and 5). In the year 2010 it was higher (35%) in seedling stage, because precipitations of 67 mm were found after sowing, while in the year 2011 there was practically no record of precipitation and soil humidity depended on the risk of settling or pre-sowing. At the end of the cycle the results were inverted, in adult plants the incidence of damaged roots was 14% in the year 2011, because a precipitation of 84 mm was found during the stage of root filling until harvest, twice more than in the year 2010. In the optimal dates of sowing, the amount of precipitation should not be higher than 67 mm (Petkeviciene, 2009). The results showed that the most critical stage for the incidence of this disease was the stage of seedling and all the varieties were susceptible to the disease in this stage from 15 to 37%, which has been favored by

**Cuadro 4.** Promedio de incidencia de pudrición radicular en plántulas (*R. solani*) y características de producción de biomasa de remolacha azucarera observadas en Río Bravo, Tamaulipas, durante el periodo 2010-2011.

**Table 4.** Average of incidence of root rotting on seedlings (*R. solani*) and characteristics of biomass production of sugar beet observed in Río Bravo, Tam., during the 2010-2011 period.

|          | IPP<br>(%) | PFC                        | PFF      | PFT      | PFC/PFF | MAC    | LC      | NH      |
|----------|------------|----------------------------|----------|----------|---------|--------|---------|---------|
|          |            | (gr planta <sup>-1</sup> ) |          |          |         | (cm)   |         |         |
| Año      |            |                            |          |          |         |        |         |         |
| 2010     | 34.7 a     | 667.3 a                    | 196.4 a  | 863.7 a  | 3.4 a   | 8.8 a  | 22.6 b  | 22.0 a  |
| 2011     | 23.7 b     | 606.4 b                    | 183.6 b  | 790.0 b  | 3.4 a   | 8.8 a  | 24.7 a  | 20.3 b  |
| Variedad |            |                            |          |          |         |        |         |         |
| EBO 217  | 25.9 c     | 660.5 b                    | 177.0 ab | 837.5 b  | 3.8 ab  | 9.3 a  | 22.6 ab | 20.3 b  |
| EBO 5008 | 33.8 b     | 707.9 ab                   | 207.2 ab | 915.1 ab | 3.5 ab  | 9.3 a  | 25.5 ab | 24.0 a  |
| EBO 5011 | 29.3 bc    | 808.7 a                    | 210.9 a  | 1018.9 a | 4.0 a   | 9.1 a  | 25.9 a  | 21.5 b  |
| EBO 5024 | 25.5 c     | 543.4 c                    | 174.9 b  | 718.3 c  | 3.2 ab  | 8.3 b  | 23.0 ab | 21.9 b  |
| EBO 5025 | 37.2 a     | 694.0 b                    | 200.3 ab | 894.4 b  | 3.5 ab  | 9.0 ab | 23.5 ab | 19.6 b  |
| EBO 5092 | 36.5 a     | 529.0 de                   | 174.2 b  | 703.3 bc | 3.1 b   | 8.2 b  | 21.7 b  | 21.7 b  |
| EBO 5506 | 15.3 d     | 719.2 ab                   | 195.4 ab | 914.5 ab | 3.8 ab  | 9.3 a  | 24.4 ab | 18.0 c  |
| EBO 5520 | 24.3 c     | 603.3 b                    | 198.7 ab | 802.1 bc | 3.1 b   | 8.7 ab | 25.1 ab | 21.4 b  |
| EBO 5523 | 27.7 c     | 484.2 c                    | 177.0 ab | 661.2 d  | 2.8 c   | 7.9 c  | 21.7 b  | 20.2 ab |
| Medias   | 28.4       | 638.9                      | 190.6    | 829.5    | 3.4     | 8.8    | 23.7    | 21.0    |

IPP: Incidencia de pudrición radicular de plántula; peso fresco del camote (PFC), del follaje (PFF) y total (PFT), proporción raíz/follaje en base a peso fresco (PFC/PFF); máximo ancho (MAC) y largo del camote (LC), NH: número de hojas. Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). ♦ IPP: Incidence of root rotting of seedling; fresh weight of root (PFC), of fodder (PFF) and total (PFT), root/fodder proportion based on fresh weight (PFC/PFF), maximum width or diameter (DR) and length of root (LC), NH: number of leaves. Values with the same letter within each column are statistically equal (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 5.** Promedios de la incidencia de pudrición de camote (*R. solani*), y producción de biomasa y azúcares observados en remolacha azucarera en Río Bravo, Tamaulipas.

**Table 5.** Averages of the incidence of root rotting (*R. solani*), and production of biomass and sugars observed in sugar beet in Rio Bravo, Tam.

| Genotipo   | IPC (%) | PSC     | PSF    | PST     | PSC/PSF | °Brix  | RC       | RA     |
|------------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|--------|
|            |         |         |        |         |         |        |          |        |
| Año        |         |         |        |         |         |        |          |        |
| 2010       | 10.0 b  | 32.3 a  | 11.0 a | 43.5 a  | 3.8 a   | 19.3 a | 40.0 a   | 7.6 a  |
| 2011       | 13.8 a  | 29.4 b  | 8.4 b  | 37.8 b  | 3.1 b   | 17.0 b | 37.2 a   | 6.4 b  |
| Variedades |         |         |        |         |         |        |          |        |
| EBO 217    | 6.8 c   | 33.7 a  | 9.3 ab | 41.9 a  | 3.9 a   | 18.0 a | 41.5 b   | 7.4 b  |
| EBO 5008   | 4.6 c   | 31.3 a  | 10.2 a | 42.4 a  | 3.5 ab  | 18.5 a | 41.8 b   | 7.6 b  |
| EBO 5011   | 29.6 a  | 34.9 a  | 9.7 ab | 44.4 a  | 3.9 a   | 18.2 a | 40.4 b   | 7.5 b  |
| EBO 5024   | 2.7 c   | 32.9 a  | 10.8 a | 41.1 a  | 3.3 ab  | 18.4 a | 37.8 bc  | 6.9 bc |
| EBO 5025   | 18.8 ab | 24.7 b  | 9.4 ab | 34.1 b  | 2.9 b   | 17.8 a | 35.8 bc  | 6.5 bc |
| EBO 5092   | 11.9 bc | 33.6 a  | 9.5 ab | 41.7 a  | 4.0 a   | 17.7 a | 31.0 c   | 5.8 c  |
| EBO 5506   | 14.0 cb | 23.8 b  | 8.6 b  | 31.4 b  | 2.9 b   | 17.8 a | 54.0 a   | 9.7 a  |
| EBO 5520   | 8.5 bc  | 32.8 a  | 10.8 a | 42.2 a  | 3.1 ab  | 18.0 a | 38.2 bcd | 7.2 bc |
| EBO 5523   | 8.1 bc  | 29.8 ab | 8.6 b  | 37.8 ab | 3.7 ab  | 18.9 a | 29.1 c   | 5.3 c  |
| Media      | 11.7    | 30.8    | 9.7    | 39.7    | 3.5     | 18.1   | 38.9     | 7.1    |

IPP: Incidencia de pudrición del camote; peso seco del camote (PFC), del follaje (PFF) y total (PFT), proporción raíz/follaje en base a seco (PFC/PFF); °Brix: producción de sacarosa (%); RC: rendimiento de camote y RA: producción de azúcar estimada. Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). ♦ IPP: Incidence of root rotting; dry weight of root (PFC), of fodder (PFF) and total (PFT), root/fodder proportion based on dry weight (PFC/PFF); °Brix: sucrose production (%); RC: root yield and RA: estimated sugar production. Values with the same letter within each column are statistically equal (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

causó la mortalidad de las plantas. La comparación de medias demostró que hay diferencias entre años y variedades (Cuadro 4 y 5). En el año 2010 fue más alta (35%), en estado de plántula, debido a que después de la siembra se registraron precipitaciones de 67 mm, mientras que, en el año 2011, prácticamente no hubo registro de precipitación y la humedad en el suelo dependió del riego de asiento o pre siembra. Al final del ciclo se invirtieron los resultados, en plantas adultas la incidencia de raíces dañadas fue de 14% en el año 2011, debido a que durante la etapa de llenado de raíz hasta cosecha se registró una precipitación de 84 mm, dos veces más que en el año 2010. En las fechas óptimas de siembra, la cantidad de precipitación no debe ser superior a 67 mm (Petkeviciene, 2009). Los resultados mostraron que la etapa más crítica para la incidencia de esta enfermedad fue la etapa de plántula y todas las variedades fueron susceptibles a la enfermedad en esta etapa desde 15 a 37%, la cual ha sido favorecida por la capacidad del suelo para retener humedad en esta región. Se debe tener en consideración que el resto de las variables como diámetro y longitud de raíz, peso fresco; número de hojas (Cuadro 4), se cuantificaron al momento de la cosecha, es decir, que el efecto del daño en plántula

the soil capacity to retain humidity in this region. It should be taken into consideration that the rest of the variables such as root diameter and length, fresh weight, number of leaves (Table 4), were quantified at harvest; that is, the effect of the damage in the seedling was observed only until the harvest, because the yield per hectare was estimated based on the amount of plants harvested per plot (Ahmad *et al.*, 2016).

In beet the amount of sugar and bagasse is expressed in terms of fresh matter; its concentration can also increase, although in terms of dry matter, the sugar content is reduced at the expense of the increase in fiber (Hoffmann, 2010). The results from production and distribution of fresh weight in most of the variables showed statistical dependency on the factor year, but with variations of lower magnitude. On the other hand, the response between variables was statistically contrasting (Table 4 and 5), which was not expected because they are commercial materials and the genetic base of the modern genotypes is narrow (Panella *et al.*, 2015). The highest variation in the production has been observed as a result of the location, rather than an effect of the year within the same location (Hoffmann *et al.*, 2009).

se observó solo hasta cosecha, porque el rendimiento por hectárea se estimó a partir de la cantidad de plantas cosechadas por parcela (Ahmad *et al.*, 2016).

En remolacha la cantidad de azúcar y bagazo se expresan en términos de materia fresca; la concentración de ésta también puede aumentar, pero en términos de materia seca, el contenido de azúcar se reduce a expensas del aumento en fibra (Hoffmann, 2010). Los resultados de producción y distribución de peso fresco, en la mayoría de las variables presentaron dependencia estadística del factor año, pero con variaciones de menor magnitud. Por otra parte, la respuesta entre variedades fue estadísticamente contrastante (Cuadro 4 y 5), lo cual no se esperaba porque se trata de materiales comerciales y la base genética de los genotipos modernos es estrecha (Panella *et al.*, 2015). La mayor variación en la producción se ha observado por efecto de la localidad, más que efecto del año dentro de una misma localidad (Hoffmann *et al.*, 2009).

Se ha observado que en años donde hay restricción hídrica, causada por sequía hay una disminución en la acumulación de peso seco (Stevanato *et al.*, 2010), esta tendencia se observó en este estudio al realizar la comparación entre ambos años (Cuadro 5). La susceptibilidad a plagas y enfermedades es una forma de medir el grado de adaptación de un cultivo. En 2010 se obtuvo mayor producción de azúcar estimada por hectárea, mayor proporción raíz/follaje (en base a peso seco) aunque no hubo diferencias para rendimiento de camote (datos en base a peso fresco) (Cuadro 5). Todas las variedades mostraron susceptibilidad a la pudrición de raíz (6 a 30% de incidencia). Esta respuesta se debe a que la resistencia genética en este cultivo es incompleta (Jacobsen *et al.*, 2005). Asimismo, no existieron diferencias en la producción de sacarosa (°Brix) entre variedades. Se ha reportado que el daño por enfermedades radiculares afecta la cantidad y la calidad de azúcar en remolacha (Bolton *et al.*, 2010), pero esta asociación está relacionada con el grado de daño al camote, el cual en las variedades más susceptibles causa deformaciones y agrietamientos (Buddemeyer y Marlander, 2005). La variedad EBO 5506 superó en 30% el rendimiento de camote (50 t ha<sup>-1</sup>) y producción de azúcar estimada (9.7 t ha<sup>-1</sup>) en comparación al resto de las variedades (Cuadro 5). Este resultado puede estar relacionado con su tolerancia a *R. solani* en etapas iniciales del cultivo; la variedad EBO 5506 mostró

It has been observed that in years when there is water restriction, caused by drought, there is a decrease in the accumulation of dry weight (Stevanato *et al.*, 2010), this trend was observed in this study when performing the comparison between both years (Table 5). The susceptibility to pests and diseases is a way of measuring the degree of adaptation of a crop. In 2010 a higher estimated sugar production per hectare was obtained, higher root/fodder proportion (based on dry weight) although there were no differences for root yield (data based on fresh weight) (Table 5). All the varieties showed susceptibility to root rotting (6 to 30% of incidence). This response is because the genetic resistance in this crop is incomplete (Jacobsen *et al.*, 2005). Likewise, there are no differences in sucrose production (°Brix) between varieties. It has been reported that damage from root diseases affects the amount and the quality of sugar in beet (Bolton *et al.*, 2010), but this association is related to the degree of damage to the root, which in the most susceptible varieties causes deformations and cracking (Buddemeyer and Marlander, 2005). The EBO 5506 variety outperformed in 30% the root yield (50 t ha<sup>-1</sup>) and estimated sugar production (9.7 t ha<sup>-1</sup>), compared to the rest of the varieties (Table 5). This result can be related to its tolerance to *R. solani* in initial stages of the crop; the EBO 5506 variety showed 15% of incidence of rotting in seedlings, almost twofold less than the average (28.4%). In fact, the variety EBO 5008 had the lowest incidence (4.6%), but it yielded nearly 12 tons less than the most productive variety (EBO 5506). A variety is considered resistant when it has a severity of 8%, although the risk increases when environmental factors favor the presence of the pathogen, such as the soil properties (Schulze *et al.*, 2016).

When performing Pearson's correlations, it was observed that the production and distribution of fresh biomass is associated significantly ( $p < 0.05$ ) to maximum width ( $r = 0.81$ ) and length of the root ( $r = 0.84$ ). Sugar beet root yield and sugar production ha<sup>-1</sup> it was also related with the diameter of the root ( $r = 0.76$ ). The presence of beet root damage at the end of the crop cycle was not related with any variable of sugar yield and production. It is possible to attribute this result to the low pressure of the disease (Koch *et al.*, 2018), which did not cause an effect in the mobilization and accumulation of photoassimilates.

15% de incidencia de pudrición de plántulas, casi dos veces menos que el promedio (28.4%). Incluso la variedad EBO 5008 tuvo la incidencia más baja (4.6%), pero rindió casi 12 toneladas menos que la variedad más rendidora (EBO 5506). Una variedad se considera resistente cuando tiene una severidad de 8%, pero el riesgo aumenta cuando factores ambientales favorecen la presencia del patógeno, tales como las propiedades del suelo (Schulze *et al.*, 2016).

Al realizar las correlaciones de Pearson, se observó que la producción y distribución de biomasa fresca se asoció significativamente ( $p < 0.05$ ) al máximo ancho ( $r = 0.81$ ) y largo del camote ( $r = 0.84$ ). En rendimiento de raíz y producción de azúcar  $\text{ha}^{-1}$  también se relacionó con el diámetro del camote ( $r = 0.76$ ). La presencia de daño a la raíz al final del ciclo del cultivo no estuvo relacionada con ninguna variable del rendimiento y producción de azúcar. Este resultado, es posible atribuirlo a la baja presión de la enfermedad (Koch *et al.*, 2018), la cual, no causó efecto en la movilización y acumulación de fotoasimilados. El número de hojas estuvo asociado con el peso seco del camote y peso total ( $r = 0.67$ ). Las variedades más prometedoras para la producción de azúcar en términos de producción y distribución de biomasa en este estudio, fueron las que alcanzan el máximo ancho del camote ( $8.7 \pm 0.48$  cm), baja incidencia de pudrición radicular en estado de plántula y menor acumulación de peso seco o fibra ( $39 \pm 4.0$ ), mientras que las variedades que tienden a tener mayor número de hojas ( $21 \pm 1.5$ ) no producen grandes cantidades de azúcar. Contrario a lo observado por Tsialtas y Maslaris (2010), los cuales no encontraron relación entre el ancho de la raíz y el rendimiento y la calidad del jugo.

### Rentabilidad del cultivo

Bajo un esquema de agricultura comercial, la región norte de Tamaulipas, tiene cerca de 290 mil hectáreas de riego, se caracteriza por el monocultivo de sorgo y maíz, en menor superficie el algodón (FIRA, 2016). El cultivo de remolacha es una alternativa viable por el grado de mecanización durante todo el proceso productivo, desde la siembra hasta cosecha. Este es un factor relevante para optimizar los costos de producción y la eficiencia en la obtención de bioetanol como fuente de energía (Reineke *et al.*, 2013). Cabe hacer mención que para los propósitos de este estudio bioetanol y etanol, son sinónimos. La

The number of leaves was associated with the dry weight of the root and total weight ( $r = 0.67$ ). The most promising varieties for sugar production in terms of production and distribution of biomass in this study were those that reach the maximum width of the root ( $8.7 \pm 0.48$  cm), low incidence of beet root rotting in the stage of seedling, and lower accumulation of dry weight or fiber ( $39 \pm 4.0$ ), while the varieties that tend to have a higher number of leaves ( $21 \pm 1.5$ ) do not produce large amounts of sugar. This is contrary to what was observed by Tsialtas and Maslaris (2010), who did not find a relation between the width of the beet root and the yield and quality of juice.

### Profitability of the crop

Under a scheme of commercial agriculture, the northern region of Tamaulipas has close to 290 thousand hectares of irrigation, characterized by the monocrop of sorghum and corn, and in smaller surface cotton (FIRA, 2016). Cultivating sugar beet is a viable alternative due to the degree of mechanization during the entire productive process, from sowing to harvesting. This is a relevant factor to optimize the production costs and the efficiency in obtaining bioethanol as source of energy (Reineke *et al.*, 2013). It should be mentioned that for the purposes of this study, bioethanol and ethanol are synonyms. Sugarcane, corn and sorghum are C4 plants with high efficiency to convert atmospheric  $\text{CO}_2$  and water into soluble sugars and polymers like starch, cellulose and hemicellulose through photosynthesis. In the conversion of sugar to ethanol, corn has an efficiency of 87%, while sugarcane of 91% (Lopes *et al.*, 2016), sugar beet 94% (Hinkova and Z. Bubnik, 2001), and sweet sorghum 99% (Laopaiboon *et al.*, 2009). Obtaining ethanol from sucrose from the stalk or root juice is direct, while starch from the grain requires hydrolysis, decreasing the effectiveness of the process (Lopes *et al.*, 2016). In short, it can be said that obtaining ethanol from plant sources is related to the amount of biomass or weight (leaf, stalk, juice or grain) and the availability of carbohydrates during the fermentation process.

The breakdown of production costs of sugar beet in the autumn-winter 2018 cycle from the technological package is shown in Table 6, and was elaborated under the following assumptions: 1)

caña de azúcar, maíz y sorgo son plantas C4 con alta eficiencia para convertir CO<sup>2</sup> atmosférico y el agua en azúcares solubles y polímeros como almidón, celulosa y hemicelulosa a través de fotosíntesis. En la conversión de azúcar a etanol, el maíz tiene una eficiencia de 87%, mientras que la caña 91% (Lopes *et al.*, 2016). La remolacha azucarera 94% (Hinkova y Z. Bubnik, 2001) y el sorgo dulce 99% (Laopaiboon *et al.*, 2009). La obtención de etanol a partir de la sacarosa del jugo de tallo o raíz es directa, mientras, que el almidón del grano requiere hidrólisis, disminuyendo la eficacia del proceso (Lopes *et al.*, 2016). En breves palabras se puede decir, que la obtención de etanol proveniente de fuentes vegetales está relacionada con la cantidad de biomasa o peso (hoja, tallo, jugo o grano) y la disponibilidad de carbohidratos durante el proceso de fermentación.

El desglose de los costos de producción de la remolacha azucarera en el ciclo OI-2018 del paquete tecnológico se muestra en el Cuadro 6, y fue elaborado bajo los siguientes supuestos: 1) Agricultor arrendatario; 2) Esquema de riego rodado, variante al propuesto por Pinales *et al.*, (2012); 3) se incluye el seguro agrícola, costo indirecto; y 4) Servicio de maquila por las labores agrícolas.

En el Cuadro 6, se presenta la estructura del costo de producción de remolacha y el promedio asciende a 23 658 \$ ha<sup>-1</sup>. Se observa que la compra de semilla representa 38.4% del costo total, porcentaje notoriamente mayor, al promedio de 10% reportado para los Estados Unidos (Ali, 2004). El resultado anterior sobre la estructura de costos también difiere al encontrado por Montes *et al.* (2013), quienes reportan que la cosecha y transporte representa el 58% del costo total de sorgo dulce (para producir etanol) en la misma región. La diferencia en el porcentaje y concepto se da porque en el sorgo dulce la semilla es generada por instituciones públicas (Montes *et al.*, 2010), mientras que la semilla de remolacha sería importada con la dependencia tecnológica que esto implica; asimismo, los precios estarían sujetos a la paridad del dólar. El costo de producción de sorgo dulce en esta región se divide en los siguientes componentes a) Costos del cultivo; 2) Costos de cosecha y transporte; 3) Costo del proceso y; 4) Valor de los subproductos (Montes *et al.*, 2010). En el caso de la remolacha, el costo del fertilizante representó 14.4% del costo total, este resultado es similar al encontrado en sorgo dulce en el Noreste de Tamaulipas. La rotación de cultivos es

Tenant farmer; 2) Rolling irrigation plan, variation to the one proposed by Pinales *et al.* (2012); 3) Agricultural insurance included, indirect cost; and 4) lease services for agricultural practices.

Table 6 presents the production cost structure of sugar beet production and the average amount cost of 23 658 MXN pesos ha<sup>-1</sup>. It is observed that purchasing seed represents 38.4% of the total cost, notoriously higher percentage than the average 10% reported for the United States (Ali, 2004). This result on the cost structure also differs from the one found by Montes *et al.* (2013), who report that harvest and transport represent 58% of the total cost of sweet sorghum (to produce ethanol) in the same region. The difference in the percentage and concept happens because in sweet sorghum the seed is generated by public institutions (Montes *et al.*, 2010), while the beet seed would be imported, with the technological dependency that this implies; likewise, the prices would be subject to dollar parity. The production cost of sweet sorghum in this region is divided into the following components: a) Cultivation costs; 2) Harvest and transport costs; 3) Costs of the process; and 4) Value of byproducts (Montes *et al.*, 2010). In the case of beet, the cost of the fertilizer represented 14.4% of the total cost, result similar to the one found in sweet sorghum in northeastern Tamaulipas. Crop rotation is a common practice associated with sugar beet and can have implications in the availability of nitrogen during the whole cultivation cycle (Hurisso *et al.*, 2015). Most of the beets are cultivated for three consecutive years, and later up to five rotations are performed, with cereals of small grain. The climate conditions, soil properties, presence of pests and diseases differ regionally; therefore, these are factors that condition the interval of the crop (Koch *et al.*, 2018). The previous crop also influences the level of nitrogen available and the net yields (Li *et al.*, 2015). Most of the agricultural research in sugar beet has been centered on searching for alternatives to make the fertilization *versus* the availability of water more efficient, particularly nitrogen (Hurisso *et al.*, 2015) because of its direct impact on productivity, cultivation costs and energetic balance (Koga, 2008).

Phytopathological control, preparation of the land, irrigation and harvesting, represented 13.6, 10.8, 8.7 and 7.0% of the total production cost of sugar beet, respectively, while the cultivation tasks and the insurance only represent 3.4 and 1.9% of the

**Cuadro 6.** Costo del paquete tecnológico para cultivar remolacha azucarera en el Noreste de Tamaulipas.

**Table 6.** Cost (Mexican pesos) of the technological practices used to grow sugar beet in northeastern Tamaulipas, Mexico.

| Concepto                           | Costo<br>\$ ha <sup>-1</sup> | Concepto              | Costo<br>\$ ha <sup>-1</sup> | Concepto                        | Costo<br>\$ ha <sup>-1</sup> |
|------------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Preparar terreno                   | 2550                         | Cultivos              | 800                          | Riegos                          | 2050                         |
| Rastra                             | 400                          | Tumba bordos          | 250                          | Cuota                           | 500                          |
| Barbecho-subsuelo                  | 800                          | 2° Cultivo            | 300                          | Melgas                          | 200                          |
| Rastra                             | 400                          | Cultivo-bordeo        | 250                          | Regaderas                       | 200                          |
| Campera                            | 300                          |                       |                              | Riego (1)                       | 250                          |
| Bordeo                             | 350                          | Control fitosanitario | 3214                         | Melgas                          | 200                          |
| Corrida de calles                  | 300                          | Malezas               |                              | Riego (2)                       | 250                          |
|                                    |                              | Clortal-Dimetil 75%   | 600                          | Regaderas                       | 200                          |
| Siembra                            | 9538                         | Aplicación            | 300                          | Tumba                           | 250                          |
| Semilla (3-4 kg ha <sup>-1</sup> ) | 9088                         | Plagas                |                              | Cosecha                         | 1650                         |
| Siembra                            | 450                          | Metamidosfos C.E.     | 700                          | Deshojado                       | 400                          |
|                                    |                              | Endosulfan            | 560                          | Descoronado                     | 400                          |
| Fertilización                      | 3402                         | Aplicación            | 300                          | Arranque                        | 500                          |
| Urea                               | 2282                         | Enfermedades          |                              | Carga o flete                   | 350                          |
| Superfosfato triple                | 1120                         | Propiconazole         | 454                          |                                 |                              |
|                                    |                              | Aplicación            | 300                          |                                 |                              |
|                                    |                              |                       |                              | Seguro agrícola                 | 454                          |
|                                    |                              |                       |                              | Renta tierra                    | 5000                         |
|                                    |                              |                       |                              | Costo total sin renta de tierra | 23 658                       |

una práctica común asociada con remolacha azucarera y puede tener implicaciones en la disponibilidad del nitrógeno, durante todo el ciclo de cultivo (Hurisso *et al.*, 2015). La mayoría de las remolachas se cultivan tres años consecutivos, posteriormente, se realizan hasta cinco ciclos de rotaciones, con cereales de grano pequeño. Las condiciones climáticas, propiedades del suelo, presencia de plagas y enfermedades difieren regionalmente, por lo tanto, estos son factores que condicionan, el intervalo del cultivo (Koch *et al.*, 2018). El cultivo anterior también influye en el nivel de nitrógeno disponible y en los rendimientos netos (Li *et al.*, 2015). La mayor parte de la investigación agrícola en remolacha azucarera se ha centrado en buscar alternativas para hacer más eficiente la fertilización *versus* la disponibilidad de agua, sobre todo del nitrógeno (Hurisso *et al.*, 2015) por su impacto directo en la productividad, costos del cultivo y balance energético (Koga, 2008).

El control fitosanitario, la preparación del terreno, los riegos y la cosecha, representaron 13.6, 10.8, 8.7, y 7.0% del costo total de producción de remolacha azucarera respectivamente; mientras que, las labores de cultivo y el seguro, solo representan 3.4 y 1.9%, del costo total. Estos resultados difieren a los encontrados por otros autores, en otros países; por ejemplo, en países donde el cultivo no se siembra a gran escala,

total cost. These results differ to those found by other authors, in other countries; for example, in countries where the crop is not sown at large scale, such as Turkey, the highest cost is from workforce, land rental and fertilizers (Erdal *et al.*, 2007). The use of inputs, irrigation, the size and location of the farm were the main factors that affect levels of cost, in countries such as the United States agrochemicals represent 22.9% (Ali, 2004). The difference in the costs structure is also explained by the technology used; sweet sorghum harvesting is currently manual, but it can be harvested mechanically with equipment used in sugarcane (Montes *et al.*, 2013). In beet, all the harvesting operations are mechanized, with it being technology adopted in most of the producing countries (Ali, 2004).

Table 7 presents the root yield in the different varieties of sugar beet. In this experiment there were significant and contrasting differences in the yield, whose values range between 30 and 54 t ha<sup>-1</sup> with an average of 38.9 t ha<sup>-1</sup>; the estimated sugar production ranged between 5.8 and 9.7 t ha<sup>-1</sup>. In Eastern Europe countries values were obtained between 2.2 and 5.5 t ha<sup>-1</sup>, in USA of 6.7 t ha<sup>-1</sup> and in Germany of 10 t ha<sup>-1</sup> (FAO, 2010).

In terms of sugar production in this experiment 18% was obtained in average between varieties



como Turquía el mayor costo es la mano de obra, renta de la tierra y los fertilizantes (Erdal *et al.*, 2007). El uso de insumos, el riego, el tamaño de la granja y la ubicación de la granja fueron los principales factores que afectaron niveles de costo, en países como los Estados Unidos, los agroquímicos representan 22.9% (Ali, 2004). La diferencia en la estructura de costos también se explica por la tecnología utilizada, la cosecha del sorgo dulce actualmente es en forma manual, pero se puede cosechar mecánicamente con equipo utilizado en caña de azúcar (Montes *et al.*, 2013). En remolacha, todas las operaciones de cosecha son mecanizadas, siendo una tecnología adoptada en la mayoría de los países productores (Ali, 2004).

En el Cuadro 7 se presenta el rendimiento de camote en las diferentes variedades de remolacha. En este experimento hubo diferencias significativas y contrastantes en el rendimiento, cuyos valores oscilaron entre 30 y 54 t ha<sup>-1</sup> con un promedio de 38.9 t ha<sup>-1</sup>; la producción estimada de azúcar osciló entre 5.8 a 9.7 t ha<sup>-1</sup>. En países de Europa Oriental se obtienen valores entre 2.2 a 5.5 t ha<sup>-1</sup>; en EUA de 6.7 t ha<sup>-1</sup> y en Alemania de 10 t ha<sup>-1</sup> (FAO, 2010).

En términos de producción de azúcar en este experimento se obtuvo 18% en promedio entre las variedades (concentración de sacarosa en base a °Brix). En relación al rendimiento de remolacha azucarera a nivel mundial, este varía dependiendo de los años y la región (Tsialtas y Maslaris, 2010). En Europa Occidental se obtienen en promedio 56 t ha<sup>-1</sup> anuales,

(sucrose concentration based on °Brix). In relation to the yield of sugar beet globally, it will vary depending on the years and the region (Tsialtas and Maslaris, 2010). In Western Europe an average of 56 t ha<sup>-1</sup> is obtained annually, in the United States and in Canada 56 t ha<sup>-1</sup>, while the lowest is found in Eastern Europe, of 23 t ha<sup>-1</sup> (OIA, 2013). The environment contributes to explaining 80% of the variance for all the productive parameters of beet: root yield, sugar production and impurities such as concentration of betaine and amino acids; in some countries there are high root yields due to the excess irrigation, at the expense of the sucrose content (Hoffmann *et al.*, 2009).

Considering the price of 35.5 USD t<sup>-1</sup>, Table 7 shows the income obtained per hectare for the different varieties. The price of the prime material of beet was determined using as reference the international price of sugar, which is fixed based on the market and by government agreements (Domínguez, 2005). In producing countries, beet is grown under hire, integrating agriculture with the industry and has an indirect added value in several sectors, as for example the sale of pulp for balanced meals (Řezbová *et al.*, 2013). It is important to mention that the production value of this crop is based on the content of extractable sucrose and the level of impurities of the juice, plus a prime from early harvest, which is defined after processing (Ali, 2004).

**Cuadro 7.** Valor de la producción de remolacha azucarera en el noreste de Tamaulipas.

**Table 7.** Production value of sugar beet in northeastern Tamaulipas, Mexico.

| Variedad | Rendimiento raíz<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | Valor producción<br>(pesos t <sup>-1</sup> ) | Valor total<br>producción<br>(\$) | Costo producción<br>(\$) | Utilidad**<br>(\$) |
|----------|---|--|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|
| EBO 217  | 41.5                                      | 679.6  | 28 205.4                          | 23 657.8                 | 4547.6             |
| EBO 5008 | 41.8                                      | 679.6  | 28 409.3                          | 23 657.8                 | 4751.5             |
| EBO 5011 | 40.4                                      | 679.6  | 27 457.8                          | 23 657.8                 | 3800.0             |
| EBO 5024 | 37.8                                      | 679.6  | 25 690.7                          | 23 657.8                 | 2032.9             |
| EBO 5025 | 35.8                                      | 679.6  | 24 331.4                          | 23 657.8                 | 673.6              |
| EBO 5092 | 31.0                                      | 679.6  | 21 069.1                          | 23 657.8                 | -2588.7            |
| EBO 5506 | 54.0                                      | 679.6  | 36 701.0                          | 23 657.8                 | 13 043.2           |
| EBO 5520 | 38.2                                      | 679.6  | 25 962.5                          | 23 657.8                 | 2304.7             |
| EBO 5523 | 29.1                                      | 679.6  | 19 777.7                          | 23 657.8                 | -3880.1            |
| Media    | 38.9                                      | 679.6  | 26 438.3                          | 23 657.8                 | 2780.5             |

\*Con un valor de 35.50 USD, última fecha de actualización (08/07/2017) USDA-NASS; \*\*Utilidad en base al valor de la materia prima sin considerar ajustes por contenido de azúcar e impurezas, después del proceso de extracción. ♦ \*With a value of 35.50 USD, last date of updating (08/07/2017) USDA-NASS; \*\*Gain based on the value of the prime material without considering adjustments by content of sugar and impurities, after the extraction process.

en Estados Unidos y Canadá de  $56 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que el más bajo se encuentra en Europa Oriental de  $23 \text{ t ha}^{-1}$  (OIA, 2013). El ambiente contribuye a explicar 80% de la varianza para todos los parámetros productivos de la remolacha: rendimiento de raíz, producción de azúcar e impurezas como la concentración de betaína y aminoácidos, en algunos países hay altos rendimientos de raíz por el exceso de riego, a expensas del contenido en sacarosa (Hoffmann *et al.*, 2009).

Considerando el precio de  $35.5 \text{ USD t}^{-1}$ , en el Cuadro 7 se muestra el ingreso obtenido por hectárea para las diferentes variedades. El precio de la materia prima de remolacha se determina usando como referencia el precio internacional del azúcar, el cual se fija en base al mercado y por acuerdos gubernamentales (Domínguez, 2005). En los países productores, la remolacha se cultiva bajo contrato, integrando la agricultura con la industria y tiene un valor agregado indirecto en varios sectores; como por ejemplo la venta de la pulpa para alimentos balanceados (Řezbová *et al.*, 2013). Es importante mencionar que el valor de la producción en este cultivo se basa en el contenido de sacarosa extraíble y en el nivel de impurezas del jugo, más una prima por cosecha temprana, el cual se determina después del procesamiento (Ali, 2004).

El ingreso obtenido por hectárea se ubicó en un rango que va de  $19\,091$  a  $35\,426 \text{ \$ ha}^{-1}$ . El ingreso más bajo, corresponde a la variedad EBO 5523 y el más alto a la variedad EBO 5506. El ingreso promedio de las variedades estudiadas sería de  $25\,520 \text{ \$ ha}^{-1}$ , sensiblemente mayor al ingreso por sembrar sorgo de grano y maíz; utilizando el esquema GMF (tecnología con riego de gravedad), el ingreso esperado sería de  $15\,741 \text{ \$ ha}^{-1}$ , con una utilidad de  $1983 \text{ \$ ha}^{-1}$  para sorgo; mientras que para el maíz amarillo de alta productividad sería de  $31\,680 \text{ \$ ha}^{-1}$ , con una utilidad de  $8758 \text{ \$ ha}^{-1}$  para el ciclo OI- 2017-2018 en el Norte de Tamaulipas (FIRA, 2018). La remolacha bajo el esquema de riego por gravedad es una mejor opción por su rentabilidad. Es importante considerar lo siguiente en el ámbito de los biocombustibles; la tecnología disponible a nivel mundial para extracción de etanol a partir de maíz, es del almidón del grano (Lopes *et al.*, 2016). Esto implica restricciones sociales y económicas en países como México, por eso se han buscado cultivos alternativos como el sorgo dulce (Montes *et al.*, 2017) y la remolacha azucarera (Alvarado *et al.*, 2011).

The income obtained per hectare was found in a range of  $19\,091$  to  $35\,426 \text{ \$ ha}^{-1}$ . The lowest income corresponds to the EBO 5523 variety and the highest to the EBO 5506 variety. The average income of the varieties studied would be  $25\,520 \text{ \$ ha}^{-1}$ , sensibly higher than the income from sowing grain sorghum and corn; using the GMF scheme (gravity irrigation technology), the income expected would be  $15\,741 \text{ \$ ha}^{-1}$ , with a utility of  $1983 \text{ \$ ha}^{-1}$  for sorghum, while for high productivity yellow corn it would be  $31\,680 \text{ \$ ha}^{-1}$ , with a utility of  $8758 \text{ \$ ha}^{-1}$  for the autumn-winter 2017-2018 cycle in northern Tamaulipas (FIRA, 2018). Beet under the gravity irrigation scheme is a better option due to its profitability. It is important to consider the following in the sphere of biofuels: the technology available worldwide for ethanol extraction from corn is from the grain starch (Lopes *et al.*, 2016). This implies social and economic restrictions in countries like Mexico, which is why alternative crops have been sought such as sweet sorghum (Montes *et al.*, 2017) and sugar beet (Alvarado *et al.*, 2011).

The profitability analysis indicates that only six varieties are competitive at the level of market prices, observed in the year of analysis. The yield under the mean ( $38.9 \text{ t ha}^{-1}$ ) in three varieties, determined that the income was lower than the production cost determined; with negative profitability, these varieties were not competitive. The activity begins to be profitable when the yield exceeded  $36.1 \text{ t ha}^{-1}$ .

The research showed that varieties with adaptation problems and disease problems had yields lower than  $36.1 \text{ t ha}^{-1}$ ; therefore, they do not represent a commercial option at current market prices. Table 7 shows that the varieties EBO 5025, EBO, 5023 and EBO 5092, with yields of  $35.8$  and  $31.0 \text{ t ha}^{-1}$ , presented negative profitability of  $-172$ ,  $4,567$  and  $-3321 \text{ \$ ha}^{-1}$ . These results indicate that root diseases must be considered; in the case of sugar beet, crop rotation is a regular practice (Hurisso *et al.*, 2015), for the integrated management of root diseases like *R. solani* (Buhre *et al.*, 2009).

The division between the income and the production cost generates the benefit-cost relation; it is an indicator that allows evaluating the viability of the sugar beet crop in northeastern Tamaulipas. The data from Table 7 show that in six of the varieties, the cost-benefit relation was higher than 1; that is, there was a recovery of the cost and in addition there

El análisis de rentabilidad indica que solo seis variedades son competitivas al nivel de precios de mercado, observados en el año del análisis. El rendimiento por debajo de la media (38.9 t ha<sup>-1</sup>) en tres variedades, determino que el ingreso fuera menor al costo de producción de producción determinado, rentabilidades negativas, estas variedades no fueron competitivas. La actividad empieza a ser rentable cuando el rendimiento superó las 36.1 t ha<sup>-1</sup>.

La investigación mostró que las variedades con problemas de adaptación con problemas de enfermedades tuvieron rendimientos menores de 36.1 t ha<sup>-1</sup>; por lo tanto, no representan una opción comercial a los precios actuales del mercado. En el Cuadro 7 se observa que las variedades EBO 5025, EBO, 5023 y EBO 5092, con rendimiento de 35.8 y 31.0 t ha<sup>-1</sup>, presentaron rentabilidad negativa de -172, 4567 y -3321 \$ ha<sup>-1</sup>. Estos resultados indican que se debe considerar un riesgo las enfermedades de raíz, en el caso de la remolacha azucarera es una práctica regular, la rotación del cultivo (Hurriss *et al.*, 2015), para el manejo integrado de las enfermedades de raíz como *R. solani* (Buhre *et al.*, 2009).

La división entre el ingreso y el costo de producción genera la relación beneficio-costos, este es un indicador, que permite evaluar, la viabilidad del cultivo de remolacha azucarera en el Noreste de Tamaulipas. Los datos del Cuadro 7, muestran que, en seis de las variedades, la relación beneficio-costos fue mayor a 1, es decir que hubo recuperación del costo y además se obtuvo una ganancia por peso invertido. La mayor relación beneficio-costos es de 1.5 y se obtuvo con la variedad EBO 5506; una ganancia de 50 centavos por cada peso invertido en el cultivo.

## CONCLUSIONES

En este estudio se observó que la precipitación fue el factor climático con mayor variabilidad estacional. Se registraron diferencias entre las variedades de remolacha en la producción de biomasa fresca, biomasa seca, producción de azúcar y rendimiento de raíz, siendo la mejor opción aquellas variedades que acumulan menor peso seco o menos fibra. En términos de adaptación la mayor limitante observada fue la presencia de la pudrición de la plántula ocasionada por *R. solani*, la cual tuvo efecto en los resultados finales, por la pérdida de población en etapas tempranas del crecimiento; el efecto fue menor durante la etapa de llenado de raíz. El insumo más importante en los

was a profit per peso invested. The highest benefit-cost relation is 1.5 and it was obtained with the EBO 5506 variety, a profit of 50 cents for each peso invested in the crop.

## CONCLUSIONS

In this study it was observed that precipitation was the climate factor with highest seasonal variability. Differences were found between the sugar beet varieties in the production of fresh biomass, dry biomass, sugar production and root yield, with the best option being those varieties that accumulate lower dry weight or less fiber. In terms of adaptation the greatest limitation observed was the presence of rotting of the seedling caused by *R. solani*, which had the effect in the final results, from the loss of population in early stages of growth; the effect was lower during the stage of root filling. The most important input in the production costs of the crop was the value of the seed. Under the conditions of this study it is possible to reach a commercially viable yield, although it depends on the variety selected and its tolerance to root diseases, which can be induced by the amount and distribution of the precipitation.

—End of the English version—



costos de producción del cultivo fue el valor de la semilla. Bajo las condiciones de este estudio es posible llegar a un rendimiento comercialmente viable, pero depende de la variedad seleccionada y su tolerancia a enfermedades de raíz, las cuales pueden ser inducidas por la cantidad y distribución de la precipitación.

## Agradecimientos

Esta investigación fue realizada gracias a los fondos del «Proyecto de Desarrollo de Tecnologías Sustentables de Producción de Insumos Competitivos para la Obtención de Biocombustibles en México» SAGARPA-INIFAP.

## LITERATURA CITADA

Ahmad, I., B. Ahmad, S. Alia, H. Q. Fang, T. Liu, M. Kamrana, Y. Wub, M. U. Rahmanc, and S. Faisala. 2016. Organic

- and inorganic fertilization influenced on yield and quality of sugar beet genotypes. *Russian Agricultural Sciences* 42: 218–223.
- Alemán-Nava G, V. H. Casiano-Flores, D. L. Cárdenas-Chávez, R. Díaz-Chávez, N. S., J. F Dallemand, N. Ornelas-Soto, R. García-Arrazola, R. 2015. Renewable energy research progress in Mexico: A review. *Biofuels Bioproducts and Biorefining* 9: 8–20
- Ali, M. B. 2004. Characteristics and production costs of U.S. sugarbeet farms. (Statistical bulletin (United States. Dept. of Agriculture). No. 974-8.1. Dept. of Agriculture. Economic Research Service. 42 p.
- Alvarado, P. J. I., A. E. Casillas, P. M, Camarillo, E. X. M. Ochoa, y C. A. Zamarripa. 2011. Producción de remolacha azucarera en el Valle de Mexicali, B. C. INIFAP-CIANO. CEVM. Folleto Técnico No. 19. 28 p.
- Anónimo. 1970. Ensayo de rendimiento de cinco variedades de remolacha forrajera, sembradas en ocho diferentes fechas de siembra. Informe 69-70 de invierno del Centro de Investigaciones Agrícolas del Noreste (CIANE). México pp. 86-89.
- Banxico (Banco de México). 2018. <http://www.banxico.org.mx/portal-mercado-cambiarior/index.html>: Consulta: 08-02-18
- Bhadoria, P. B. S., B. Steingrobe, N. Claassen, H. Leibersbach. 2002. Phosphorus efficiency of wheat and sugar beet seedlings grown in soils with mainly calcium, or iron and aluminium phosphate. *Plant and Soil* 264: 41-52.
- Biancardi, E., J. M. McGrath, L. Panella, R. Lewellen, and P. Stevanato. 2011. Sugar Beet. *In: Root Tuber Crops* Vol. 7. Bradshaw, J. E. (ed). Springer. 173-219.
- Bolton, M. D., L. Panella, L. Campbell, and M. Khan. 2010. Temperature, moisture, and fungicide effects in managing *Rhizoctonia* root and crown rot of sugar beet. *Phytopathology* 100: 689–697.
- Buddemeyer, J., and B. Marlander. 2005. Genotypic reaction of sugar beet to *Rhizoctonia solani* root and crown rot—susceptibility, yield and quality at different intensity level of infestation. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 112: 105–117.
- Buhre, C., C. Kluth, K. Bürcky, B. Märlander, and M. Varrelmann. 2009. Integrated control of root and crown rot in sugar beet: Combined effects of cultivar, crop rotation, and soil tillage. *Plant Disease* 93: 155-161.
- Cattanach, A.W., Dexter, A.G., and Oplinger, E.S. 1991. Sugarbeets. *Alternative field crops manual*. North Dakota State University. <http://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/sugarbeet.html> Consulta: 11, enero, 2018.
- Christenson, D. R., and A.P. Draycott. 2006. Nutrition—phosphorus, sulphur, potassium, sodium, calcium, magnesium and micronutrients—liming and nutrient deficiencies. *In: Sugar Beet*. Draycott A.P (ed). Oxford, UK: Blackwell, Publishing Ltd. pp: 158-220
- Evans, E., and Messerschmidt, U. 2017. Review: sugar beets as a substitute for grain for lactating dairy cattle. *Journal Animal Science Biotechnology* 8: 25
- Domínguez, R. L. 2005. Desarrollo regional y competitividad: La agroindustria azucarera en México. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades* 15: 227-250.
- Dohm, J. C., A. E. Minoche, D. Holtgräwe, S. Capella-Gutiérrez, F. Zakrzewski, O. Rupp, T. R. Sörensen, R. R. Reinhardt, A. Goesmann, T. Kraft, B. Schulz, P. F. Stadler, T. Schmidt, T. Gabaldón, H. Lehrach, B. Weisshaar and H. Himmelbauer. 2014. The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*). *Nature* 505: 546–549.
- Dutra, E. D, A. G. B. Neto, R. B. de Souza, M. A. de M. Junior, J. N. Tabosa, R. S. C. Menezes. 2013. Ethanol production from the stem juice of different sweet sorghum cultivars in the state of Pernambuco, Northeast of Brazil. *Sugar Technology* 15: 316–321.
- Erdal, G., K. Esengün, H. Erdal, and O. Gündüz. 2007. Energy use and economic analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy* 32: 35-41
- Espinosa-Calderón A., M. Tadeo-Robledo, y A. Turrent-Fernández. 2010. Concentración de la oferta de semillas mejoradas de maíz. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2010/03/13>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2010. Sugar Beet White Sugar. *Agribusiness Handbook*. Roma, Italia. 55 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016. FAOSTAT – Production Quantities by Country. <http://fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> Consulta: 12- Enero- 2018.
- Finkenstadt, V. L. 2014. Review on the complete utilization of the sugarbeet. *Sugar and Technology* 16: 339–346.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2016. Panorama Agroalimentario. El sorgo. 32 p.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en relación con la Agricultura). Sistema de costos Agrícolas. Sorgo en Tamaulipas. 2018. <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/TemasUsuario.jsp> Consulta: 22-08-2018.
- Frese L, B Desprez, and D. Ziegler. 2001. Potential of genetic resources and breeding strategies for base-broadening in Beta. *In: Cooper HD, Spillane C and Hodgkin T (eds) Broadening the Genetic*
- Gutiérrez, B., M. S. González, y A. Salih. 2006. Caracterización de aislamientos de *Rhizoctonia solani* (Kühn) que inducen pudriciones radicales en cultivares de caña de azúcar (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioagro* 18: 63-72.
- Hamada, Y. M. 2011. Water resources reallocation in upper and middle Egypt. *European Water* 33: 33-44.
- Hanson, L. E. 2010. Interaction of *Rhizoctonia solani* and *Rhizopus stolonifer* causing root rot of sugar beet. *Plant Disease* 94: 504-509.
- Hinkova, A. and Z. Bubnik. 2001. Sugar beet as a raw material for bioethanol production. *Czechian Journal of Food Sciences*. 19: 224–234.
- Hoffmann, C. M. 2011. Root quality of sugarbeet. *Sugar and Technology* 12: 276–287.
- Hoffmann, C. M., T. Huijbregts, N. van Swaaij, and R. Jansen. 2009. Impact of different environments in Europe on yield and quality of sugar beet genotypes. *European Journal Agronomy* 30: 17–26.
- Hoffmann, C.M. 2010. Sugar accumulation in sugar beet under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 196: 243–252.
- Hurisso, T.T., J. B. Norton, E. J. Mukhwana, and U. Norton. 2015. Soil organic carbon and nitrogen fractions and sugar beet sucrose yield in furrow-irrigated agroecosystems. *Soil Science Society American Journal* 79: 876–888.
- Jacobsen, B., K. Kephart, N. Zidack, M. Johnston, and J. Ansley.

2005. Effect of fungicide and fungicide application timing on reducing yield loss to Rhizoctonia crown and root rot, Sugar beet. Research and Extension Reports 35: 224-226.
- Karadimos, D.A., G. Karaoglanidis, G. Karaoglanidis, and K. Klonari. 2002. First report of charcoal rot of sugar beet caused by *Macrophomina phaseolina* in Greece. Plant Disease 86: 1051-1051.
- Kenter, C., C. M. Hoffmann, and B. Marlander. 2006. Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.) European Journal of Agronomy 24: 62-69.
- Koch, H-J., K. Trimpler, A. Jacobs and N. Stockfisch. 2018. Crop rotational effects on yield formation in current sugar beet production – results from a farm survey and field trials Frontiers in Plant Science. 9:1-11.
- Koga, N. 2008. An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugar beet. Agriculture, Ecosystems and Environment 125: 101-110.
- Laopaiboon, L., S. Nuanpeng, P. Srinophakun, P. Klanrit, and P. Laopaiboon. 2009. Ethanol production from sweet sorghum juice using very high gravity technology: effects of carbon and nitrogen supplementations. Bioresource Technology 100: 4176-4182.
- Li, L., F. J. Larney, D. A. Angers, D. C. Pearson, and R. E. Blackshaw. 2016. Surface soil quality attributes following 12 years of conventional and conservation management on irrigated rotations in southern Alberta. Soil Sci. Soc. Am. J. 79:930-942.
- Lopes, M. L., S. C. de L. Paulillo, A. Godoy, R. A. Cherubin, M. S. Lorenzi, F. H. C. Giometti, C. D. Bernardino, H. B. de Amorim, and H. V. de Amorim. 2016. Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry. Brazilian Journal of Microbiology. 47 (Suppl 1). 64-76.
- McMichael, A. J., Rosalie, E. Woodruff, and S.n Hales. 2006. Climate change and human health: present and future risks. Lancet 367: 859-69.
- Mekdad, A.A.A., and M. M. Rady, 2016. Response of *Beta vulgaris* L. to nitrogen and micronutrients in dry environment. Plant Soil and Environmental 62: 23-29.
- Montes, G. N., M. Espinosa, R. M. E. Cisneros, L. F. Ortiz, Ch, E. Ramírez R., y S. Uribe, G. 2017. Producción de biomasa y azúcares de sorgo dulce [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para la obtención de bioetanol en Tam. INIFAP-CIRNE-CERIB. Folleto Técnico. No. 66. 35 p.
- Montes, G. N., E. Vargas, V., J. R Salinas, G., M. Espinosa R., y R. Loreda, P. 2013. Tecnología de Producción de Sorgo Dulce para la Elaboración de Bioetanol en Tamaulipas. INIFAP-CIRNE-CERIB. Folleto No. 21. 26 p.
- Montes, G. N., V. Pecina, Q., M.E. Cisneros, y M. García, G. 2010. RB Cañero: Sorgo dulce *Sorghum bicolor* (L.) Moench para la producción de etanol. INIFAP-CIRNE-CERIB. Folleto Técnico No. 43. 31 p.
- Muñoz-Cabañas, R. M., S. J Hernández D., and N. Mayek, P. 2005. Análisis patogénico y genético de *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. en diferentes hospedantes. Revista Mexicana de Fitopatología 23:1-18.
- Ochoa, E. X. M., A. Borbón, L. Montoya, I. Alvarado, J. Macías, N. A. Aguilera y A. Zamarripa. 2011. Tecnología para producir remolacha azucarera en el sur de sonora. INIFAP. CIR-NOROESTE. CIANO. Folleto Técnico No.78. 30 p.
- OIA. Organización Internacional del Azúcar. 2013. Cambio climático y cultivos azucareros. Mecas (13) 07.
- Olof, B. N. 2006. Chapter 4. Genetics and Breeding. Sugar Beet. In: Sugar Beet. Draycott F.A (ed). Formerly of Broom's Barn Research Station, Bury St Edmunds, Suffolk, UK. Blackwell Publishing. pp: 50-112.
- Padilla, D.G., A. Zamarripa, C., A. R Guajardo, P., N. Montes, G., A. González, A., X. M. Ochoa, M., I. Sánchez, C., A. Ruiz, C., y V. Serrano, A. 2009. Potencial productivo de insumos bioenergéticos en México. 55. Reunión Anual de la Sociedad PCCMCA. Memoria. Campeche, Mex. 112 p.
- Panella, L., S. R. Kaffka, R. T. Lewellen, J. M. McGrath, M. S. Metzger, and C. A. Strausbaugh. 2014. Chapter 13. Sugar-beet. Book: Yield Gains in Major U.S. Field Crops Published by: American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., and Soil Science Society of America, Inc. Yield Gains in Major U.S. Field Crops Stephen Smith, Brian Diers, James Specht, and Brett Carver, editors. 33:357-396
- Pathak A D, K. Raman, S. S. Kumar R., S. Sangeeta and P. R Singh. 2014. Sugar beet: A historical perspective in Indian context. Sugar and Technology 16: 125-132.
- Petkeviciene, B. 2009. The effects of climate factors on sugar beet early sowing timing. Agronomy Research 7 (Special issue I): 436-443.
- Pinales, Q. J. F., N. Montes, J. Martínez, y A. Zamarripa. 2012. Guía técnica para la producción de remolacha azucarera con riego por goteo en el norte de Nuevo León. INIFAP-CIRNE. CEGT. Folleto Técnico No. 11. 25 p.
- Pulkrábek, J., M. Kavka, V. Rataj, J. Humpál, L. Nozdrovický, Z. Trávníček, and V. Pačuta. 2012. The assessment of the economic risks level of sugar beet growing for the farm economy. Josef. Agric. Econ. – Czech. 58: 41-48.
- Reineke, N. H. Stockfisch, and B.Märländer. 2013. Analyzing the energy balances of sugar beet cultivation in commercial farms in Germany. European Journal of Agronomy 45: 27-38.
- Řezbová, H., A. Belová, O. Škubna. 2013. Sugar beet production in the European Union and their future trends Agris on-line. Papers in Economics and Informatics 5: 165-178.
- Richardson, K. 2010. Traditional Breeding in Sugar Beet. Sugar and Technology 12:181-186.
- Romano, A., A. Sorgona, A. Lupini, F. Araniti, P. Stevanato, G. Cacco, and M. R. Abenavoli. 2013. Morpho-physiological responses of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes to drought stress. Acta Physiology of Planta 35: 853-865.
- Rozman, C., A. Škraba, K. Pažek and M. Kljajić. 2015. The development of sugar beet production and processing simulation model – a system dynamics approach to support decision-making processes. Organizacija 47: 99-105.
- SAS Institute. 2010. SAS/SAT user's guide. Version 9.1. SAS Institute. Cary, N.C, USA. <https://support.sas.com/documentation/cdl/en/proc/61895/HTML/default/viewer.htm#procwhatsnew902.htm>. Consulta: 23, 08, 2018.
- Schulze, S., H-J. Koch, B. Märländer, and M. Varrelmann. 2016. Effect of sugar beet variety and nonhost plant on *Rhizoctonia solani* AG2-2IIIb soil inoculum potential measured in soil dna extracts. Phytopathology 106:1047-1054.
- SIAP. 2017. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera de la SAGARPA. Estadísticas agropecuarias. <http://infosiap>.

- siap.gob.mx:8080/agricola\_siap\_gobmx/AvanceNacional-SinPrograma.do. Consulta: 12, Oct, 2017.
- Silva, S. M. M., M. A. Cano, G., G. Díaz, P., A. Serrano, V., J. A. Ruis C., and G. Medina G. 2007. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Tamaulipas (1961-2003). INIFAP-CIRNE-CERIB. Río Bravo. Libro Técnico No. 2. 307 p.
- Stevanato, P., M. Bertaggia, G. Concheri, and E. Biancardi. 2010. Chapter 12. Drought adaptive traits for sugar beet improvement. *In: Water Shortages: Environmental, Economic and Social Impacts*. Briggs, A C. (ed). Nova Science Publishers, Inc. USA. pp: 1-11.
- Sultan K., and A. Ertek. 2015 Yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) at different water and nitrogen levels under the climatic conditions of Kırsehir, Turkey. *Agricultural Water Management* 158: 156–165.
- Trenberth, K. E. 2011. Changes in precipitation with climate change. *Climate and Research* 47: 123–138.
- Tsialtas, T., and N. Maslaris. N. 2010. Sugar beet root shape and its relation with yield and quality. *Journal Sugar and Technology* 12: 47-52.
- USDA-NASS (United States Department of Agriculture. National Statistics Service). 2018. [https://www.nass.usda.gov/Data\\_and\\_Statistics/Consulta:02\\_03](https://www.nass.usda.gov/Data_and_Statistics/Consulta:02_03), 2018.
- Williams-Alanís, H., V. Pecina-Quintero, N. Montes-García, O. Palacios-Velarde, G. Arcos-Cavazos, y V. A. Vidal-Martínez. 2009. Reacción de variedades de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para grano a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. *Revista Mexicana de Fitopatología* 27: 148-155.