



# Efecto de la variedad y fecha de siembra en el potencial productivo de remolacha azucarera

Effect of variety and seedtime on the productive potential of sugar beet

**José Jiménez León<sup>1</sup>, Agustín Rascón Chu<sup>2</sup>, Jesús López Elías<sup>1</sup> y Alfonso Sánchez Villegas<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora. Rosales y Luis Encinas s/n Colonia Centro, Hermosillo, Sonora, México. C.P. 83000.

<sup>2</sup> Coordinación de Alimentos de Origen Vegetal del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Carretera a la Victoria Km 0.6. Hermosillo, Sonora, México. C.P. 83304.

## RESUMEN

La remolacha azucarera es un cultivo tradicionalmente de zonas templadas, aunque el desarrollo de nuevas variedades, permite su explotación en regiones tropicales y subtropicales. Sin embargo, para obtener buenos rendimientos y alta calidad, es fundamental evaluar variedades y fechas de siembra antes de su establecimiento. El objetivo del presente estudio fue evaluar el potencial productivo de tres variedades de remolacha azucarera (Coronado, Syngenta y SesVanderHaven) en dos fechas de siembra en el Campo Experimental de la Universidad de Sonora, bajo un diseño en parcelas divididas. La variedad y fecha de siembra tuvieron un efecto significativo en el diámetro del tubérculo, sólidos solubles totales (SST) y producción de follaje. La variedad Coronado sembrada en el mes de noviembre presentó la mayor producción de tubérculos ( $109.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y mayor contenido de SST (19.3 °Brix), el mayor rendimiento de follaje ( $25.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en peso seco se obtuvo en el cultivar Coronado sembrado en el mes de octubre. Los rendimientos de tubérculos y SST obtenidos bajo las condiciones agroecológicas del presente estudio, son semejantes a los valores mayores reportados en la literatura, por lo que se concluye que bajo las condiciones climáticas en las que se desarrolló este experimento, es factible el cultivo de las tres variedades evaluadas en las dos fechas de siembra propuestas con rendimientos comparables a las explotaciones comerciales.

**Palabras clave:** *Beta vulgaris*; tubérculo; rendimiento.

## ABSTRACT

Sugar beet is traditionally grown in temperate zones, although the development of new varieties allows its exploitation in tropical and subtropical regions. However, in order to obtain good yields and high quality, it is essential to evaluate varieties and sowing dates before establishment. The objective of the present study was to evaluate the productive potential of three sugar beet varieties (Coronado, Syngenta, and SesVanderHaven) in two sowing dates in the Experimental Field of the University of Sonora, under split-plot design. The variety and sowing date had a significant effect on tuber diameter, total soluble solids (TSS) and foliage production. The Coronado variety sowing in November had the highest tubers production ( $109.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) and highest TSS content (19.3

°Brix), while the highest foliage production ( $25.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) in dry weight was obtained in the Coronado cultivar sowing in October. The tubers yields and TSS obtained under the agro-ecological conditions of this study are similar to the highest values reported in the literature, so it is concluded that under the climatic conditions of this study, it is feasible to cultivate the three varieties evaluated in the two dates of sowing proposed with yields comparable to commercial exploitations.

**Keywords:** *Beta vulgaris*; tuber; yield.

## INTRODUCCIÓN

La remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) pertenece a la familia *Chenopodiaceae*. Su producción mundial en la primera década del siglo XXI fue de aproximadamente 227 millones de toneladas por año, en un área de 4.2 millones de hectáreas (Kiyimaz y Ertek, 2015). Esta especie, tiene un alto contenido de sacarosa (14-20 %) y a nivel internacional, aporta el 20 % de la producción total de azúcar en el mundo (Mubarak *et al.*, 2016).

El ciclo de cultivo de la remolacha azucarera es relativamente corto ya que sus tubérculos se pueden cosechar entre 115 y 150 días después de la siembra (Armenta *et al.*, 2012; Mubarak *et al.*, 2016). En general, su rendimiento oscila entre 60 y 90  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  durante el ciclo otoño-invierno (Alvarado *et al.*, 2011). Se le considera como un cultivo de zonas templadas, no obstante, su explotación se ha extendido hacia los trópicos y subtropicales, donde se cultiva en los meses de invierno, esto gracias al desarrollo de nuevas variedades (Cosyn *et al.*, 2011). Sin embargo, el comportamiento agronómico (diámetro, longitud, peso fresco del tubérculo y porcentaje de azúcar) de la remolacha azucarera varía de acuerdo a la variedad y fecha de siembra, por lo que estas deben de ser evaluadas bajo las condiciones agroecológicas de cada localidad en la que se pretenda su establecimiento y así seleccionar las variedades más adecuadas para cada región (Mohamed y Yasin, 2013), así que para obtener los mayores rendimientos y calidad de los productos hortofrutícolas, los principales factores que se deben de considerar son la selección de variedades y fecha de siembra (Macías Duarte *et al.*, 2012), esto debido a que el rendimiento y calidad de los cultivos es el producto de varios factores que ocurren durante el crecimiento y desarrollo de las plantas, resultado de la genética y condiciones ambientales.

\*Autor para correspondencia: Alfonso Sánchez Villegas

Correo electrónico: [asanchez@ciad.mx](mailto:asanchez@ciad.mx)

Recibido: 25 de junio de 2019

Aceptado: 17 de enero de 2020



tales (Singh et al., 2015). Debido a lo anterior el objetivo del presente estudio fue evaluar el potencial productivo de tres variedades de remolacha azucarera en dos fechas de siembra bajo condiciones ambientales del Campo Experimental de la Universidad de Sonora.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal y área de estudio

Se utilizaron tres variedades de remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.): Coronado, Syngenta y SesVanderHaven (SVH), las cuales fueron proporcionadas por la empresa Destiladora del Noroeste, S.A de C.V. El cultivo se realizó en un módulo de riego por goteo en cintilla, ubicado en el Campo Experimental de la Universidad de Sonora: 29°00'48" LN y 111° 08'07" LO y 151 msnm, caracterizado por una precipitación media anual de 321 mm, evapotranspiración potencial de 2704 mm, temperatura media anual de 23.1 °C, con temperaturas extremas en invierno y verano de -3.5 °C y 49 °C, respectivamente (CONAGUA, 2014). El suelo es de textura franco arenosa, con 50.6 % de arena, 28.0 % de limo y 21.4 % de arcilla; con capacidad de campo de 22.7 %, punto de marchitez permanente de 10.8 % y saturación de 47.4 %, v/v; la conductividad eléctrica del agua de riego fue de 0.57 dS·m<sup>-1</sup>. Se utilizaron camas de 6 m de longitud con espaciamiento de 1 m para cada parcela experimental. La siembra de las tres variedades se realizó manualmente el 23 de octubre y 23 de noviembre de 2015 a doble hilera con una separación de estas a 30 cm y de 12 cm entre plantas, lo cual da una densidad de plantación de 166,667 plantas·ha<sup>-1</sup>. La fertilización con nitrógeno y fósforo fue de 100-60 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No se observaron enfermedades y se tuvo un control manual de malezas durante todo el cultivo. La única plaga que se observó al final del cultivo fue la rata de campo (*Rattus* sp), sin causar daños significativos. La primera cosecha de las tres variedades evaluadas se realizó el 23 de marzo y la segunda el 23 de abril de 2016, en ambos casos, 150 días después de la siembra.

Las temperaturas máximas, mínimas y medias fueron monitoreadas durante todo el ciclo de cultivo mediante una estación meteorológica colocada en el Campo Experimental y que es controlada por INIFAP (<http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/variables.aspx>).

### Determinaciones realizadas en los tubérculos cosechados

Las variables que se evaluaron al momento de la cosecha en el campo fueron: diámetro y longitud del tubérculo, lo cual se realizó con una cinta métrica; el peso fresco de éste y de la hoja fue determinado con una balanza digital Ohaus (modelo Voyager, Switzerland). El contenido de humedad se determinó mediante la técnica No. 7.003 propuesta por la AOAC (1990), para lo cual el follaje y tubérculo de las cinco plantas seleccionadas por repetición en cada uno de los tratamientos se picaron finamente y se mezclaron homogéneamente, posteriormente se tomó una muestra de 5 g y se

secaron en una estufa Yamato (Modelo DX 600, Japón). Los datos de los pesos obtenidos, se extrapolaron a rendimiento por hectárea. La cuantificación de los sólidos solubles totales, se realizó con dos gotas del extracto filtrado del tubérculo mediante un refractómetro digital ATAGO PR-101 (Japón).

### Análisis estadístico

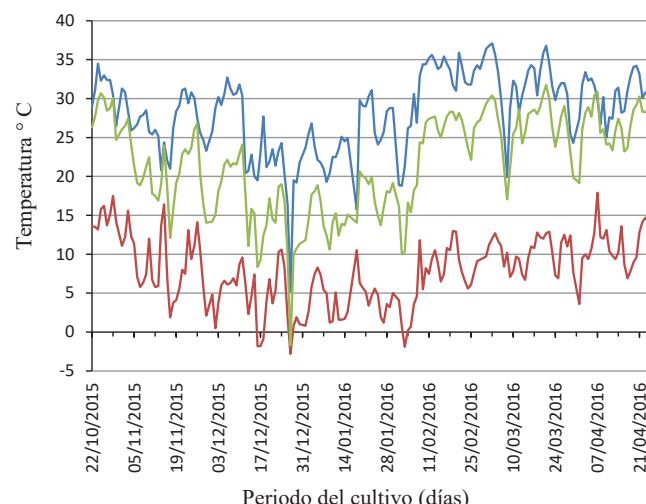
Se realizó un análisis de varianza con significancia del 95 % para un experimento en parcelas divididas, donde las fechas de siembra se consideraron como las parcelas grandes y las variedades como las parcelas chicas; todo con un diseño en bloques al azar con tres repeticiones, dando un total de 18 lotes experimentales. La unidad experimental corresponde a cinco plantas por repetición tomadas al azar en cada uno de los tratamientos. Cuando el análisis de varianza encontró diferencias significativas, se utilizó una comparación de medias según la prueba de rangos múltiples de Tukey. El análisis estadístico se realizó mediante el paquete estadístico SAS (1994).

## RESULTADOS

En la Figura 1 se observa el comportamiento de las temperaturas máximas, mínimas y medias durante el ciclo del cultivo, pudiéndose apreciar que la temperatura osciló entre los -2.5 y 30.0 °C, con un valor promedio de 17.9 °C, con temperaturas más elevadas en el mes de octubre.

### Tamaño del tubérculo

Con relación al tamaño del tubérculo, se puede apreciar una diferencia significativa ( $p<0.05$ ) por efecto de la variedad en el diámetro equatorial del tubérculo; la variedad Coronado registró los valores de mayor diámetro (10.9 cm) seguido de Syngenta (10.3 cm) y los menores resultados se obtuvieron en el cultivar SesVanderHaven (9.6 cm) (Tabla 1). La fecha de siembra también afectó significativamente ( $p<0.05$ ) el diámetro del tubérculo, ya que los valores



**Figura 1.** Temperaturas máximas, mínimas y medias del aire durante el periodo de cultivo de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris*).

**Figure 1.** Maximum, minimum and average air temperatures during the growing period of sugar beet (*Beta vulgaris*).

mayores se registraron en la siembra de octubre (10.8 cm), mientras que los diámetros de menor tamaño se obtuvieron en la fecha de noviembre (9.7 cm). En la interacción variedad-fecha de siembra no se observó una diferencia significativa ( $p>0.05$ ), oscilando estos valores entre 9.0 cm en la variedad SVH sembrada en noviembre y 11.7 cm en la variedad Coronado en la siembra de octubre.

En lo que se refiere a la longitud del tubérculo, ésta variable no se vio afectada estadísticamente ( $p>0.05$ ) por la variedad, registrando valores de 37.6, 37.2 y 39.1 cm para los cultivares Coronado, Syngenta y SVH respectivamente, para las fechas de siembra ( $p>0.05$ ) estos valores fueron de 38.1 cm para octubre y 37.8 cm en noviembre, con respecto a la interacción variedad-fecha de siembra ( $p>0.05$ ), los valores oscilaron entre 35.8 cm para la variedad Coronado al ser sembrada en octubre y 40.6 cm en el cultivar SVH en la siembra de noviembre.

**Tabla 1.** Tamaño del tubérculo, sólidos solubles totales y rendimiento de tres variedades de remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) en dos fechas de siembra.

**Table 1.** Yield, size and total soluble solids of three varieties of sugar beet (*Beta vulgaris*) at two seedtimes.

Tratamiento	Diámetro del tubérculo (cm)	Longitud del tubérculo (cm)	SST (°Brix)	Rendimiento del tubérculo (t·ha <sup>-1</sup> )
<b>Variedad</b>				
V1=Coronado	10.9±1.5 <sup>a</sup>	37.6±5.4 <sup>a</sup>	18.3±1.6 <sup>a</sup>	101.3±36.3 <sup>a</sup>
V2= Syngenta	10.3±1.3 <sup>ab</sup>	37.2±4.4 <sup>a</sup>	17.1±2.0 <sup>b</sup>	94.1±39.7 <sup>a</sup>
V3= SesVander Haven	9.6±1.3 <sup>b</sup>	39.1±5.5 <sup>a</sup>	18.2±2.7 <sup>ab</sup>	88.5±38.9 <sup>a</sup>
<b>Fecha de siembra</b>				
F1= Octubre	10.8±1.4 <sup>a</sup>	37.8±5.8 <sup>a</sup>	17.5±2.2 <sup>b</sup>	93.7±46.0 <sup>a</sup>
F2= Noviembre	9.7±1.3 <sup>b</sup>	38.1±4.1 <sup>a</sup>	18.2±2.2 <sup>a</sup>	95.5±29.0 <sup>a</sup>
<b>Interacción: variedad-fecha de siembra</b>				
V1F1	11.7±1.4 <sup>a</sup>	35.8±5.6 <sup>a</sup>	17.4±1.4 <sup>ab</sup>	93.3±43.1 <sup>a</sup>
V1F2	10.1±1.2 <sup>a</sup>	39.3±4.8 <sup>a</sup>	19.3±1.1 <sup>a</sup>	109.2±27.1 <sup>a</sup>
V2F1	10.5±1.0 <sup>a</sup>	37.0±4.2 <sup>a</sup>	18.1±2.0 <sup>ab</sup>	95.6±50.3 <sup>a</sup>
V2F2	10.1±1.5 <sup>a</sup>	37.4±4.7 <sup>a</sup>	16.0±1.5 <sup>b</sup>	92.5±27.1 <sup>a</sup>
V3F1	10.3±1.4 <sup>a</sup>	40.6±6.6 <sup>a</sup>	17.0±2.8 <sup>b</sup>	92.2±47.6 <sup>a</sup>
V3F2	9.0±0.8 <sup>a</sup>	37.6±3.8 <sup>a</sup>	19.3±2.2 <sup>a</sup>	84.7±29.0 <sup>a</sup>

SST = Sólidos solubles totales. Valores promedio con letras distintas en una misma columna son estadísticamente diferentes ( $p<0.05$ ).

### Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de SST (Tabla 1) resultó con diferencias estadísticas significativas ( $p<0.05$ ) entre las variedades evaluadas, fechas de siembra e interacción variedad-fecha de siembra. Las variedades con mayor contenido de SST resultaron Coronado y SesVanderHaven con 18.3 y 18.2 °Brix respectivamente, mientras que Syngenta registró el menor contenido de esta variable con 17.1 °Brix. La siembra en el mes de noviembre permitió una mayor acumulación de SST (18.2 °Brix) con respecto a la fecha de octubre (17.5 °Brix),

mientras que en la interacción variedad-fecha de siembra osciló de 16.0 °Brix en la variedad Syngenta a 19.3 °Brix en los cultivares SesVanderHaven y Coronado, sembradas en el mes de noviembre.

### Rendimiento de tubérculo por hectárea

El rendimiento del tubérculo expresado en toneladas por hectárea ( $t·ha^{-1}$ ) no se vio afectado significativamente ( $p>0.05$ ) por la variedad, fecha de siembra e interacción variedad-fecha de siembra. Los rendimientos obtenidos en cada una de las variedades estudiadas fueron de 101.3, 94.1 y 88.5  $t·ha^{-1}$ , en Coronado, Syngenta y SesVanderHaven respectivamente; mientras que los rendimientos obtenido por fecha de siembra, fueron similares entre sí, con 95.5 y 93.7  $t·ha^{-1}$  para la fechas de siembra de noviembre y octubre respectivamente, en lo que se refiere a la interacción variedad-fecha de siembra, el rendimiento osciló entre 84.7 y 109.2  $t·ha^{-1}$  en la variedad SesVanderHaven y Coronado respectivamente cuando estas fueron sembradas en el mes de noviembre (Tabla 1).

### Producción de follaje

En lo que respecta a la producción de follaje en peso fresco por planta, esta presentó diferencias significativas ( $p<0.05$ ) entre variedades, fechas de siembra utilizadas e interacción variedad-fecha de siembra (Tabla 2). El mayor contenido de follaje en base fresca se registró en la variedad Syngenta, seguido de Coronado y ZesVanderHaven con 877.3, 802.8 y 740.8 g por planta respectivamente. En lo referente a las fechas de siembra, los mayores resultados de esta variable se registraron en el mes de octubre con 1170.7 g por planta, mientras que en la siembra de noviembre ésta fue de 443.3 g por planta. En lo que concierne a la interacción variedad-fecha de siembra se puede observar (Tabla 2) que las tres variedades evaluadas tuvieron una mayor producción de follaje cuando fueron sembradas en el mes de octubre, siendo estos valores de 1222.0, 1188.7 y 1101.3 g por planta en las variedades Syngenta, Coronado y SVH respectivamente.

En lo que se refiere al peso seco por planta, las variedades evaluadas no presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p>0.05$ ) entre ellas, registrando los valores mayores en la variedad Coronado con 124.0 g por planta, seguidos por el cultivar Syngenta con 117.7 g por planta y los valores menores se obtuvieron con la variedad SVH con 113.0 g por planta. Esta variable se vio afectada estadísticamente tanto por la fecha de siembra, así como por la interacción variedad-fecha de siembra. Los valores reportados para las fechas de siembra evaluadas fueron de 146.9 y 89.6 g por planta, para los meses de octubre y noviembre respectivamente. En lo que respecta a la interacción variedad-fecha de siembra los mayores valores se obtuvieron en el mes de octubre logrando valores de 152.6 g por planta en la variedad Coronado y 144.0 g por planta, tanto para la variedad Syngenta como en la variedad SVH, mientras que los menores resultados se registraron en el mes de noviembre, los

**Tabla 2.** Comportamiento del follaje de tres variedades de remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) en dos fechas de siembra.**Table 2.** Foliage behavior of three varieties of sugar beet (*Beta vulgaris*) at two seedtimes.

Tratamiento	Peso fresco por planta (g)	Peso seco por planta (g)	Rendimiento (bs) (t·ha <sup>-1</sup> )
Variedad			
V1=Coronado	802.8±443.1 <sup>ab</sup>	124.0±41.7 <sup>a</sup>	20.7±5.1 <sup>a</sup>
V2= Syngenta	877.3±414.4 <sup>a</sup>	117.7±36.9 <sup>a</sup>	19.6±4.2 <sup>a</sup>
V3= SesVanderHaven	740.8±425.7 <sup>b</sup>	113.±39.0 <sup>a</sup>	18.8±3.8 <sup>a</sup>
Fecha de siembra			
F1= Octubre	1170.7±285.4 <sup>a</sup>	146.9±29.2 <sup>a</sup>	24.5±4.8 <sup>a</sup>
F2= Noviembre	443.3±128.2 <sup>b</sup>	89.6±23.5 <sup>b</sup>	14.9±3.8 <sup>b</sup>
Interacción: variedad-fecha de siembra			
V1F1	1188.7±280.4 <sup>a</sup>	152.6±31.1 <sup>a</sup>	25.4±5.2 <sup>a</sup>
V1F2	417.0±95.3 <sup>b</sup>	95.3±29.5 <sup>b</sup>	15.9±4.9 <sup>b</sup>
V2F1	1222.0±279.9 <sup>a</sup>	144.0±29.3 <sup>a</sup>	24.0±4.9 <sup>a</sup>
V2F2	532.7±151.3 <sup>b</sup>	91.3±21.7 <sup>b</sup>	15.2±3.6 <sup>b</sup>
V3F1	1101.3±301.2 <sup>a</sup>	144.0±28.30 <sup>a</sup>	24.0±4.7 <sup>a</sup>
V3F2	380.3±78.5 <sup>c</sup>	82.0±17.1 <sup>b</sup>	13.7±2.8 <sup>b</sup>

bs= base seca. Valores promedio con letras distintas en una misma columna son estadísticamente diferentes ( $p<0.05$ ).

cuales fueron de 95.3, 91.3 y 82.0 g por planta en la variedad Coronado, Syngenta y SVH, respectivamente.

El rendimiento de follaje por hectárea en base seca (Tabla 2), no presentó diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre variedades, las cuales fueron de 20.7, 19.6 y 18.8 t·ha<sup>-1</sup> para Coronado Syngenta y SVH respectivamente, pero si entre las fechas de siembra e interacción variedad-fecha de siembra. Los valores de esta variable para los meses de octubre y noviembre fueron de 24.5 y 14.9 t·ha<sup>-1</sup> respectivamente. Con respecto a la interacción variedad-fecha de siembra ( $p<0.05$ ), los mayores resultados se registraron en el mes de octubre, siendo estos de 25.4, t·ha<sup>-1</sup> en la variedad Coronado y con el mismo rendimiento de 24.0 t·ha<sup>-1</sup> en las variedades Syngenta y SVH, mientras que los valores menores se lograron en el mes de noviembre, registrando 15.9, 15.22 y 13.7 t·ha<sup>-1</sup> para las variedades Coronado, Syngenta y SVH.

## DISCUSIÓN

El cultivo de remolacha sembrada el 23 de octubre estuvo expuesta a mayores temperaturas, lo que provocó, una mayor acumulación de grados calor (índice térmico relacionado con el desarrollo y producción de los cultivos) con respecto a la siembra del 23 de noviembre, condición que probablemente contribuyó a las diferencias observadas en el presente estudio. La fecha de siembra en remolacha azucarera es de suma importancia ya que ésta involucra el efecto de todas las condiciones ambientales sobre el crecimiento y rendimiento, las cuales difieren ampliamente de una región a otra e influye ampliamente en la germinación, crecimiento, rendimiento y calidad del tubérculo (Brar *et al.*, 2015). Tsialtas

y Maslaris (2014) citan que temperaturas elevadas demeritan la fotosíntesis e incrementa la fotorrespiración, lo que repercute en la acumulación de fotosintatos, por lo que la fecha de siembra influye en el crecimiento y producción de los cultivos.

Con respecto al tamaño del tubérculo, en el presente estudio se obtuvieron diámetros (9.0-11.7 cm) y longitudes (37.6-40.6 cm) inferiores a los reportados por Ochoa *et al.* (2011), estos autores citan diámetros entre 15 a 20 cm y longitudes de los tubérculos de 60 cm. Estas diferencias en tamaño, muy probablemente se deban a las variedades utilizadas y condiciones en las que se desarrolló el cultivo como son tipo de suelo, temperatura, tipos y numero de riegos, fertilización, etc. Ahmad *et al.* (2012) citaron el diámetro del tubérculo de nueve variedades de remolacha, los cuales fluctuaron entre 8.65 y 10.05 cm, valores ligeramente inferiores a los obtenidos en el presente estudio, en el cual se utilizó una densidad de plantación (16,666 plantas por hectárea) superior a lo reportado comercialmente, al respecto, se ha indicado que la densidad de plantación es otro factor que influye en el diámetro del tubérculo, ya que de esta depende la disponibilidad de nutrientes, agua y luz para que la planta lleve a cabo una fotosíntesis adecuada, lo que repercute en cantidad y calidad del tubérculo (Singh *et al.*, 2015).

La respuesta en la acumulación de SST en el presente estudio difiere entre variedades y fecha de siembra, así como en la interacción de estos factores. En el Tabla 1 se puede observar que las variedades Coronado y SVH presentaron la mayor concentración de esta variable cuando fueron sembradas en noviembre, mientras que Syngenta produjo el mayor contenido de SST en la siembra de octubre. La mayor acumulación de SST en el mes de noviembre, probablemente se deba a que la germinación y los primeros estadios del cultivo estuvieron expuestos a condiciones más favorables de temperatura que las sembradas en octubre. Los resultados del presente estudio coinciden con los de Brar *et al.* (2015) ya que estos autores reportaron que hay una mayor acumulación de azúcares en remolacha azucarera cuando fue sembrada el 15 de noviembre, con respecto a las siembras el 15 de septiembre y 15 de octubre.

Cabe mencionar que la remolacha azucarera es una especie que está reportada como resistente a la salinidad, sin embargo, se ha observado que el estrés salino, influye en su contenido de azúcar. Lo anterior se debe a que la planta requiere de carbohidratos para realizar el ajuste osmótico (Rajabi *et al.*, 2014). Adicionalmente, Ahmad *et al.* (2012) indicaron que la acumulación de azúcar en la remolacha azucarera es dada por la influencia del clima, tal como la luz, temperatura y longitud del día.

La producción de tubérculo obtenido en el presente estudio (84.7-109.2 t·ha<sup>-1</sup>) se considera elevado, en comparación con lo reportado por Hassanli *et al.* (2010) y Yonts (2006). Estos investigadores registraron entre 43.6 y 79.9 t·ha<sup>-1</sup> al cultivar remolacha azucarera bajo diferentes formas de riego. El método de cultivo también influye en el rendimiento de esta especie, Quintero *et al.* (2008) documentaron una pro-

ducción entre 67.2 y 192.3 t·ha<sup>-1</sup> en dos sistemas de cultivo, al ras del suelo o sobre heras de 50 cm de altura, respectivamente. Estos mismos autores citan que una cosecha media a nivel mundial, oscila entre 60 y 90 t·ha<sup>-1</sup>, lo cual indica que los rendimientos obtenidos en el presente estudio son superiores a la media mundial. La fertilización nitrogenada también tiene un efecto positivo en el peso individual del tubérculo, lo cual repercute directamente en la producción por hectárea (Stevens *et al.*, 2011). Las prácticas agrícolas tienen una gran influencia en el rendimiento y calidad de la remolacha azucarera, sin embargo, estas deben de ser modificadas de acuerdo a la región para lograr el mayor beneficio del cultivo. Entre las prácticas con mayor influencia en la producción agrícola de remolacha azucarera, destacan la selección de variedades, fecha de siembra, método y densidad de plantación, así como la profundidad de siembra, fertilización y riego (Singh *et al.*, 2015).

El rendimiento de follaje (t·ha<sup>-1</sup>) en bs, no se vio afectado estadísticamente ( $p>0.05$ ) por las variedades estudiadas, mientras que la fecha de siembra tuvo una gran influencia ( $p<0.05$ ) sobre la producción de esta variable, obteniendo las mayores valores en la siembra de octubre, en donde se registraron las temperaturas más elevadas. Así mismo la producción de follaje de estas variedades difiere con la fecha de siembra ya que todas las variedades evaluadas, produjeron la mayor cantidad de follaje cuando fueron sembradas en el mes de octubre. La producción de follaje además de la variedad, depende de otros factores agrícolas como es la fertilización, riegos, tipo de suelos y densidad de plantación entre otros factores ambientales (Singh *et al.*, 2015). Estos autores reportaron que una óptima densidad de plantas por unidad de área, permite un óptimo desarrollo del follaje, mayor cantidad de agua y nutrientes disponibles para la planta, lo que se traduce en mayor cantidad y calidad de tubérculos de remolacha.

Se debe resaltar que en nuestros resultados se observó una reducción del 46.2 % en la producción del follaje en la siembra de noviembre, lo cual no alteró estadísticamente el rendimiento del tubérculo en t·ha<sup>-1</sup>, pero elevó la cantidad de SST de 17.5 en la fecha de octubre a 18.2 °Brix en la fecha de siembra de noviembre. Esto probablemente se debe a que la hoja fue más eficiente para fotosintetizar los compuestos orgánicos necesarios para el crecimiento de la planta y producción de azúcares en el mes más frío, ya que con una menor cobertura foliar, produjo la misma cantidad de tubérculos y mayor contenido de SST (Tabla 1).

Debido al alto rendimiento y a su valor nutrimental (Venegas-González *et al.*, 2019), el follaje de esta especie es de gran importancia en ganadería ya que es utilizado como alimento para animales (Abd El Tawab *et al.*, 2017) por su elevado contenido energético y como estimulante en la producción de leche en ganado vacuno, además de presentar una alta digestibilidad y de suplementar la calidad nutrimental de los forrajes (Lafaux *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2015).

## CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos, se concluye que es factible el cultivo de las tres variedades evaluadas en las dos fechas de siembras propuestas en el presente estudio, con rendimientos comparables a las explotaciones comerciales. La variedad Coronado presentó la mayor producción de tubérculos, follaje y contenido de SST, mientras que los menores resultados de estas variables se registraron en la variedad SesVanderHaven. La fecha de siembra de noviembre produjo la menor producción de follaje y mayor contenido de SST. La reducción del 46.2 % del peso del follaje en la siembra de noviembre no afectó negativamente la producción de tubérculos y acumulación de SST. Se recomienda continuar con la evaluación de variedades, densidades de plantación y fechas de siembra para aumentar el rendimiento de tubérculos, sin sacrificar la producción de azúcar por unidad de superficie.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONACYT por el apoyo económico al proyecto CB-2015-01-254297, al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. y a la Universidad de Sonora por la facilidades otorgadas para realizar el presente estudio, así como a la empresa Destiladora del Noroeste, S.A. de C.V. por proveer la semilla utilizada.

## REFERENCIAS

Abd El Tawab, A. M., Mohsen Hassan, A. A., Ellatif Khattab, M. S. A., Hefny Matloup, O., Abdelkader Farahat, E. S., Samir Khalel, M., Abdelfattah Morsy, T. y Tawfeek Fouad, M. 2017. Productive performance of lactating frisian cows fed sugar beet leaves silage treated with lactic acid bacteria. International Journal of Zoological Research 13: 74-82.

Ahmad, S., Zubair, M., Iqbal, N., Mahmood, N. y Mahmood, K. 2012. Evaluation of sugar hybrid varieties under Thal-Kumbi soil series of Pakistan. International. International Journal of Agriculture & Biology 4: 605-608.

Al-Jbawi, E., Al Geddawi, S. y Alesha, G. 2015. Quality changes in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) roots during storage period in piles. International Journal of Environment 4: 77-85.

Alvarado Padilla, J.I., Ávila Casillas, E., Camarillo Pulido, M., Ochoa Espinoza, X. M y Zamarripa Colmenero, A. 2011. Producción de Remolacha Azucarera en el Valle de Mexicali, B.C. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noroeste. Folleto Técnico No. 19. Mexicali, BC. ISBN: 9786074256758.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15 ed. Association of Official Analytical Chemist. Arlington, VA.

Armenta Cejudo, A., Rodríguez Hernández, R., Ochoa Espinoza X., Borbón García, A., Cantúa, Ayala, J.A., Valenzuela Herrera, V., Valenzuela Borbón, R. y Montoya Coronado, L. 2012. Análisis económico del sorgo dulce y remolacha azucarera con los cultivos tradicionales del Valle del Yaqui. En: Uso de la biodiversidad para bioenergía y biocombustibles en la zona árida de México. Castellanos Villegas, A. E. y M. Esqueda Valle (ed), pp. 209-230. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.



Brar, N.S., Dhillon, B.S., Saini, K. y Sharma, P. 2015. Agronomy of sugarbeet cultivation-A review. *Agricultural Reviews* 36: 184-197.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2014. Estadísticas del agua en México, edición 2014. SEMARNAT-CONAGUA. México, D. F.

Cosyn, S., Van der Woude, K., Sauvenier, X. y Evrard, J.N. 2011. Sugar beet: A complement to sugar cane for sugar and ethanol production in tropical and subtropical areas. *International Sugar Journal* 113: 120-123.

Hassanli, A.M., Ahmadirad, S. y Beecham, S. 2010. Evaluation of influence of irrigation methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management* 97:357-362.

INIFAP, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/variables.aspx=27797>.

Kaffka S.R., and Grantz D.A. Sugar Crops. In: Neal Van Alfen, editor-in-chief. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, Vol. 5, San Diego: Elsevier; 2014. pp. 240-260.

Kiymaz, S. y Ertek, A. 2015. Yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) at different water and nitrogen levels under the climatic conditions of Kırşehir, Turkey. *Agricultural Water Management* 158: 156-165.

Lafaux, M.P., Bastidas, J.A. y Insuasty, E. 2015. Efecto de la vovinaza en la composición nutricional del tubérculo de remolacha forrajera (*Beta vulgaris*) en el municipio de Pasto, Departamento de Nariño. *Revista Ciencia Animal* 9: 209-221.

Macías Duarte, R., Grijalva Contreras, R.L. y Robles Contreras, F. 2012. Efecto de la variedad y fecha de trasplante sobre el rendimiento y calidad de lechuga. *Biotecnia*. XV (2): 21-24.

Mirzaei, M.R. y Abdollahian-Noghabi, M. 2012. Study of sugar beet growth pattern in Hamedan, Iran. *Journal of Sugar Beet* 27: 1-9.

Mohamed, H.Y. y Yasin, M.A.T. 2013. Response of some sugar beet varieties to harvesting dates and foliar application of boron and zinc in sandy soils. *Egyptian Journal of Agronomy* 35: 227-252.

Mubarak, M.U., Zahir, M., Ahmad, S. y Wakee, A. 2016. Sugar beet yield and industrial sugar contents improved by potassium fertilization under scarce and adequate moisture conditions. *Journal of Integrative Agriculture* 15: 2620-2626.

Ochoa, X.M., Borbón, A., Montoya, L., Alvarado, I., Macías, J., Aguilera, N.A. y Zamarripa, A. 2011. *Tecnología para producir remolacha azucarera en el sur de sonora*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Ed. Lope Montoya Coronado. 30 p.

Quintero, Q.R., Mateus, C.L., Muñoz, L.G. y Torrez, J.M. 2008. Obtención de bioetanol carburante a partir de la remolacha forrajera (*Beta vulgaris* L.) como alternativa para biomasa premontano-montano bajo. *Clepsidra* 12: 47-53.

Quintero, Q.R. y Hanssen, H. 2006. La remolacha forrajera (*Beta vulgaris* L.) como cultivo energético y viable para la producción de bioetanol carburante en la sabana de Bogotá-Colombia. *Clepsidra* 3: 105-111.

Rajabi A., Khayamim, S., Abbasi, Z. y Ober, E. 2014. *Salt Stress and Sugar Beet Improvement: Challenges and Opportunities*. In: Ahmad P., Wani M., Azooz M., Phan Tran L.S. (Eds.) *Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes*. Springer, New York, NY. Pp 121-150.

SAS. 1994. *SAS/STAT User's Guide*. Release 6.08 Version. Cary: SAS Institute Inc. 705 p.

Singh Brar, N., Singh, B., Saint, K.S. y Sharma, P.K. 2015. Agronomy of sugarbeet cultivation-A review. *Agricultural Reviews*. 36: 184-197.

Stevens, W.B., Evans, R.G., Jabro, J.D. y Iversen, W.M. 2011. Sugarbeet productivity as influenced by fertilizer band depth and nitrogen rate in strip tillage. *Journal of Sugar Beet Research* 48: 137-154.

Venegas-González, J., Méndez-Inocencio, C., Martínez-Mendoza, E.K., Ceja-Torres, L.F. y Rodríguez-Torres, M.D. 2019. Producción orgánica de *Beta vulgaris* Subespecie cicla con inoculantes microbianos. *Biotecnia XXI*: 121-126.

Yonts, C.D. 2006. Sugar beet response to irrigation method and polymer placed in the seed furrow. *Journal of Sugar Beet Research* 43: 155-166.