

# Fertilización inorgánica en remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) en el norte de Tamaulipas

## Chemical fertilization in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in the north of Tamaulipas

Noé Montes García<sup>1</sup>, Ma. Eugenia Cisneros López<sup>1‡</sup>, Arturo Díaz Franco<sup>1</sup>,  
Martín Espinosa Ramírez<sup>1</sup>, Flor Elena Ortiz Cháirez<sup>1</sup> y Alberto Julián Valencia Botín<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, C.E. Río Bravo. Carretera Matamoros-Reynosa km 61. 88900 Río Bravo, Tamps., México.

<sup>‡</sup> Autora responsable (cisneros.maria@inifap.gob.mx)

<sup>2</sup> Centro Universitario de la Ciénega, Universidad de Guadalajara. Av. Universidad 2000 1115, Col. Linda Vista. 47810 Ocotlán, Jalisco, México.

### RESUMEN

La remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) es una fuente de azúcares. En México, se han hecho ensayos de adaptación para la obtención de biomasa, azúcar y etanol. La fertilización es un factor que influye en su producción. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la fertilización inorgánica, en el rendimiento y producción de sólidos solubles bajo condiciones de riego. Se establecieron experimentos en campo en condiciones de riego, el 25 febrero del 2010 y 3 de marzo del 2011, en Río Bravo, Tamaulipas. La variedad utilizada fue EBO-809 Tipo N (Normalreich: medianamente rica en azúcar), con 13 dosis de (N-P) en el rango de 150-00-00 a 300-200-00, incluyendo el testigo sin fertilización. Urea fuente de (N) y superfosfato triple de (P). Se evaluó peso fresco ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), índice de clorofila SPAD, sólidos solubles ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) e incidencia de pudrición radicular causada por *Rhizoctonia solani* (Kühn) (%). El factor con mayor valor estadístico fue la dosis de fertilización (T), explicó el 70% de la varianza, 24% el año (A) y no hubo interacción ( $T \times A$ ). La pudrición de raíz se asoció negativamente con el rendimiento. La presencia de lluvia invernal atípica en el año 2010, promovió mayor incidencia de la enfermedad. No hubo diferencias entre las dosis de fertilización, aunque todas superaron al testigo. El valor crítico debe ser superior al testigo y  $\leq$  a  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ . La concentración de sacarosa no estuvo relacionada al rendimiento, al índice SPAD e incidencia de *R. solani*; además fue inversamente proporcional a la dosis de nitrógeno.

**Palabras clave:** biomasa, raíz, rendimiento, *R. solani*, sacarosa, SPAD.

### SUMMARY

Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) is a source of sugars. In Mexico, trials have been carried out to evaluate adaptation of the crop as a potential source of biomass, sugar and ethanol. Fertilization is a factor that influences production. The objective of the study was to evaluate the effect of inorganic fertilization on yield and production of soluble solids under irrigation conditions. An irrigation field experiment was established on February 25, 2010 and March 3, 2011, in Río Bravo, Tamaulipas. The variety used was EBO-809 Type N (Normalreich: moderately rich in sugar), with 13 doses of (N-P) from 150-00-00 to 300-200-00, and the control without fertilization. Urea was the source of (N) and triple superphosphate of (P). Fresh weight ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), chlorophyll index (SPAD), soluble solids ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) and incidence of root rot (%) were evaluated. The factor with the highest statistical value was the fertilization dose (T), explaining 70% of the variance 24% the year (A), and there was no interaction ( $T \times A$ ). Root rot was attributable by *Rhizoctonia solani* (Kühn), which is negatively associated with yield, due to atypical winter rainfall in 2010. There were no differences between treatments with N-P fertilization. The critical value of N was superior to the control and  $\leq$  to  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ . The concentration of sugars was not related to yield, SPAD or *R. solani* incidence; moreover, it was inversely proportional to the nitrogen dose.

#### Cita recomendada:

Montes García, N., M. E. Cisneros López, A. Díaz Franco, M. Espinosa Ramírez, F. E. Ortiz Cháirez y A. J. Valencia Botín. 2019. Fertilización inorgánica en remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) en el norte de Tamaulipas. Terra Latinoamericana 37: 15-25.  
DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i1.390>

Recibido: febrero de 2018.

Aceptado: noviembre de 2018.

Publicado en Terra Latinoamericana 37: 15-25.

**Index words:** *biomass, root, R. solani, sucrose, sugar beet, SPAD, yield.*

## INTRODUCCIÓN

La remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) es una planta perteneciente a la familia Chenopodiaceae, cuya raíz se desarrolla y se cosecha principalmente para la producción de azúcar. La remolacha junto con la caña de azúcar, son las fuentes comerciales más importantes de sacarosa o azúcar (Domínguez, 2005). La pulpa de la remolacha azucarera y la melaza son co-productos que se utilizan como suplementos alimenticios para el ganado, también es una fuente alternativa para elaborar etanol (Cosyn *et al.*, 2011; Finkenstadt, 2014).

Los principales países productores de remolacha azucarera son Rusia (16%), Francia (13%), Estados Unidos (12%) y Alemania (9%) (Rozman *et al.*, 2014), también se cultiva en Chile, Canadá y Colombia (FAO-STAT, 2010). El rendimiento promedio mundial es de 40.8 Mg ha<sup>-1</sup> (FAO, 2013). En México, la remolacha azucarera no es un cultivo extensivo, por lo tanto, no hay reportes de producción (SIAP, 2017). En el país se han hecho ensayos preliminares para evaluar la adaptación del cultivo como fuente potencial de biomasa, azúcar y etanol en el sur de Sonora (Ochoa *et al.*, 2011), Valle de Mexicali (Alvarado *et al.*, 2011) y norte de Nuevo León (Pinales *et al.*, 2012).

La incidencia de plagas, enfermedades y la fertilización son factores que limitan el cultivo (Pulkrábek *et al.*, 2012; Rozman *et al.*, 2014). *Rhizoctonia solani* es una enfermedad de importancia agronómica. En áreas de riego o en suelos con problemas de drenaje y compactación (Harven y Rush, 2002; Buhre *et al.*, 2009). La pudrición de plántulas se presenta en remolacha azucarera (Skonieczek *et al.*, 2016) y en estados avanzados del crecimiento, daño a la corona y raíz, puede llegar a afectar la producción hasta en 60% en materiales susceptibles (Bolton *et al.*, 2010).

Las exigencias nutricionales de la remolacha azucarera son elevadas, es decir, la fertilización debe considerar el ciclo vegetativo de crecimiento largo, para optimizar el nitrógeno (Marchetti y Castelli, 2011). Esto implica, disponer de nutrientes con asimilación rápida de acción prolongada y persistente (Hergert, 2010); además, del análisis de suelo previo al establecimiento del cultivo para definir la dosis de fertilización. El balance nutricional de la planta tiene

efecto en la producción de biomasa y sacarosa; además entre estas variables no existe una correlación (Tsialtas y Maslaris, 2008). La productividad del cultivo se estima en cantidad de sacarosa por hectárea; por ello es importante obtener el máximo rendimiento, sin mermar la concentración de azúcar (Rozman *et al.*, 2014). Ésta ha sido una de las metas de mejoramiento genético de la remolacha, buscar genotipos eficientes en el aprovechamiento de la fertilización, sobre todo del nitrógeno (Panella *et al.*, 2014). Christenson y Draycott (2007) indican que hay gran diversidad de dosis en la fertilización inorgánica NPK de remolacha azucarera; en áreas tradicionales de Europa la fertilización oscila entre valores de N (100 ≤ 200), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (65 ≤ 160) y K<sub>2</sub>O (40 ≤ 290); región superior del medio oeste de EUA es 85-65-15 y la región de los Grandes Lagos es 100-65-220; en otras regiones donde el cultivo no es tradicional las dosis como en Japón son de 171-315-160 y Marruecos de 240-120-250. En la región del norte de Tamaulipas, no se tiene un antecedente previo a este experimento sobre fertilización en el cultivo de remolacha. Los suelos de la región se practica el mono cultivo de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] y maíz [*Zea mays* (L.)] en aproximadamente 250 mil hectáreas bajo el sistema de riego (SIAP, 2017). En general son pobres en materia orgánica (< 2.5%), presentan degradación por erosión hídrica, eólica y compactación (Espinosa *et al.*, 2011). El objetivo de estudio fue evaluar el efecto de la fertilización inorgánica, en el rendimiento, producción de sólidos solubles o azúcares y evaluar la posible incidencia de enfermedades radiculares en el cultivo de remolacha azucarera bajo condiciones de riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se establecieron en campo, en condiciones de riego y durante el ciclo temprano de otoño-invierno. La fecha de siembra fue el 25 de febrero de 2010 y 3 de marzo de 2011, en el Campo Experimental Río Bravo, dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Se localiza en las coordenadas geográficas 25° 57' 54" N y 98° 01' 03" O; altitud de 50 m; dentro de la red estaciones meteorológicas del INIFAP está localizada la estación climatológica del Campo Experimental Río Bravo con 39 años de registro (desde 1963 al 2002) los resultados promedio para la precipitación fueron de 648 mm y la temperatura

media anual de 23.5 °C (Silva *et al.*, 2007), del periodo 2004-2011, la precipitación promedio fue de 550 mm y la temperatura media anual de 23 °C. Los experimentos se establecieron en el lote b1, en cual consta de 2 hectáreas y se dividió en sección a y b, para este experimento. Previa a la siembra en enero del 2010 y febrero del 2011 se muestreo el suelo para determinar sus propiedades físicas y químicas. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. No hubo cultivo previo en este lote, en el ciclo anterior. La parcela experimental fue de 7.5 × 0.81 m. El manejo agronómico consistió en el desvare del terreno; el barbecho se realizó en agosto 2009 y 2010 a una profundidad de 30 cm; también se realizó un rastreo cruzado o doble. Se emparejo el suelo para un mejor manejo de los riegos. La siembra se efectuó utilizando 10 semillas tipo monogem m<sup>-1</sup> a dos centímetros de profundidad; después se aclareo para tener una densidad aproximada de 62 mil plantas ha<sup>-1</sup>. La variedad utilizada fue EBO-809 del tipo Tipo N (Normalreich: medianamente rica en azúcar). Se utilizaron trece dosis (kg ha<sup>-1</sup>), incluyendo el testigo sin fertilización: 150-00-00, 150-100-00, 150-200-00, 200-00-00, 200-150-00, 200-200-00, 250-00-00, 250-100-00, 250-150-00, 250-200-00, 300-00-00, 300-150-00 y 300-200-00. 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. La primera aplicación fue con el 50% de urea y el 100% de superfosfato de calcio, antes de la siembra, el resto del nitrógeno se aplicó 30 días después. En la etapa de 16 hojas formadas a los 110 dds, se determinó el índice de clorofila con el SPAD-502 (Minolta Co. Lt) en 10 plantas (n = 40) con hojas completamente expandidas. La recolección de las plantas se efectuó en el mes de junio-julio, consistió en las siguientes operaciones: deshojado, descoronado y arranque. Se determinó el rendimiento en base al peso fresco individual de las raíces por metro cuadrado del surco central. Los resultados del rendimiento se reportaron en toneladas por hectárea. En 10 bulbos se tomó una muestra de la pulpa de la parte central para determinar sólidos solubles (°Brix), utilizando 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<sup>2</sup> = 0.89) principalmente sacarosa (Dutra *et al.*, 2013). Incidencia de la pudrición radicular por *Rhizoctonia solani* se cuantificó al

momento de la cosecha, como el número de raíces que presentaron lesiones a la corona, en forma de manchas oscuras, los datos se expresaron en porcentaje.

Los análisis estadísticos se realizaron con SAS 9.3 (SAS, 2010) utilizando proc GLM en un modelo de bloques al azar con arreglo factorial, los factores fueron dosis de fertilización (13 niveles) y año (2010 y 2011), las medias se diferenciaron mediante Tukey. Los datos se analizaron en forma combinada con información de los dos años. Con las variables, rendimiento, sólidos solubles, índice de clorofila y porcentaje de pudrición, se hicieron correlaciones simples de Pearson. Entre grupos de dosis de fertilización con y sin fosforo se hicieron contrastes ortogonales. También regresiones entre las dosis solo de nitrógeno, incluyendo el testigo y las cuatro variables. Se tomaron datos climáticos de humedad, temperatura ambiental y precipitación durante el ciclo del cultivo de la estación automática, perteneciente a la Red de Estaciones Climáticas del INIFAP, ubicada en el Campo Experimental Río Bravo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Campo experimental Río Bravo (Cuadro 1) 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. En áreas tropicales se ha observado que hay potencial para la producción de azúcar a partir de remolacha, donde las temperaturas máximas son similares a estos valores (Pathak *et al.*, 2014). En estos experimentos se registraron variaciones importantes en la cantidad de precipitación. En el año 2010 llovió tres veces más (384.2 mm), en comparación al año 2011 (100.2 mm); además el año 2010 fue un año más húmedo (79% HR). Durante el ciclo del cultivo (febrero-julio) se acumuló casi el 75% de la lluvia registrada durante todo el año (Cuadro 1). Los registros de las condiciones climáticas en el área experimental tanto de temperatura y humedad, indicaron que son aptos para el cultivo. En estudios previos se ha reportado que la remolacha azucarera requiere para el establecimiento, temperaturas que oscilan entre los 22 y 25 °C, además se desarrolla satisfactoriamente en altitudes de 500 m (Tsialtas y Maslaris, 2014). La temperatura media diaria óptima del aire para el crecimiento de la raíz principal de 18 °C, pero al final de la temporada, el crecimiento es independiente de

**Cuadro 1. Datos de temperatura ambiente, precipitación y humedad relativa. Campo Experimental Río Bravo, Tamaulipas.**  
**Table 1. Data on ambient temperature, precipitation and relative humidity. Experimental Station, Río Bravo, Tamaulipas.**

Mes	Año 2010					Año 2011				
	TMáx	TMín	TMed	PP	HR	TMáx	TMín	TMed	PP	HR
	----- °C -----					----- °C -----				
				mm	%				mm	%
Febrero	23.1	10.4	16.4	67.2	81.7	22.3	10.8	16.1	1.4	73.5
Marzo	25.6	12.3	18.8	4.6	68.8	27.5	15.5	21.1	2.2	72.5
Abril	28.0	18.2	22.8	52.8	81.3	31.1	20.4	25.4	0.0	75.9
Mayo	31.5	21.7	26.3	53.8	80.1	31.3	22.0	26.2	3.4	78.2
Junio	34.4	24.0	28.6	41.8	79.5	34.5	23.1	28.2	84.2	74.6
Julio	33.5	24.3	28.2	164	82.1	34.9	24.2	29.1	9.0	74.0
Promedio	29.3	18.5	23.5	384.2 <sup>†</sup>	78.9	30.3	19.3	24.3	100.2 <sup>†</sup>	74.8

T = temperatura ambiente (Máx = máxima, Mín = mínima, Med = media); PP = precipitación mensual; <sup>†</sup> = precipitación acumulada; HR = humedad relativa.  
 T = ambient temperature (Máx = maximum, Mín = minimum, Med = medium); PP = monthly precipitation; <sup>†</sup> = accumulated precipitation; HR = relative humidity.

la temperatura, además se ha observado que el aumento de la materia seca de la raíz primaria depende de la cantidad de agua disponible en el suelo (Kenter *et al.*, 2006).

En el presente estudio los resultados de los análisis de suelo mostraron (Cuadro 2), un contenido de materia orgánica de 1.5%, de nitrógeno (NO<sub>3</sub>-N) entre 13.2-14.9 (mg kg<sup>-1</sup>), fósforo (6.9-8.6 mg kg<sup>-1</sup>) y rico en potasio (1171-1782 mg kg<sup>-1</sup>), según Hashemi y Abbaslou (2016), por esta razón no se aplicó K en este ensayo. La remolacha azucarera se adapta a diferentes tipos de texturas; desde arenosos de textura gruesa con, arcillosos, arcillo-limosos, franco-arcilloso y limosos; pero en suelos pedregosos presenta problemas de desarrollo (Hanse *et al.*, 2011). Es un cultivo susceptible al pH del suelo, cuando los valores son menores a 5.3 (von Tucher *et al.*, 2017). El rendimiento total óptimo se logra cuando el pH del suelo está cerca de la neutralidad (Christenson y Draycott, 2007). En suelos con menos de 1% de materia orgánica, conductividad eléctrica de 5.3 dS m<sup>-1</sup> y pH de 7.9, el cultivo se desarrolla (Mekdad y Rady, 2016). Alvarado *et al.* (2011) reportan bajo las condiciones de un suelo aluvial y salino del Valle

de Mexicali, BCN, con conductividad eléctrica de 19.3 dS m<sup>-1</sup> y pH de 6.5 a 8, la remolacha produce en forma experimental 67 Mg ha<sup>-1</sup> de raíz. Conforme a lo anterior se considera, que las condiciones del suelo de la localidad de Río Bravo fue apto para el desarrollo del cultivo.

Hubo efecto significativo del tratamiento (T) o dosis de fertilización en las variables evaluadas (Cuadro 3). Este factor presentó mayor valor estadístico y contribuyó a explicar el 70% de la varianza total. El segundo factor año (A), con 24% de la varianza, y significativo para concentración de sacarosa e incidencia de la pudrición radicular. No hubo efecto significativo de la interacción año por tratamiento, es decir el rendimiento, producción de azúcares e índice de clorofila respondieron de forma similar a la tasa de N cada año de estudio (Cuadro 3). Gehl y Boring (2011) encontraron efecto significativo de la dosis de N, año y localidad en el rendimiento de la remolacha. Tsialtas *et al.* (2013), reportan que el factor más importante es la localidad y las interacciones entre los factores año, genotipo y localidad tuvieron menor valor estadístico en estas variables.

**Cuadro 2. Análisis de suelo, lote B1, Campo Experimental Río Bravo.**  
**Table 2. Soil analysis, lot B1, Río Bravo Experimental Station.**

Lote	pH	CE	MO	Arena	Arcilla	Limo	Textura	NO <sub>3</sub> -N	P <sup>†</sup>	K
		dS m <sup>-1</sup>	-----	-----	-----	-----		-----	-----	-----
			%					mg kg <sup>-1</sup>		
B1a (2010)	8.34	0.66	1.13	59.8	22.2	18	Franco	13.2	8.6	1782
B1b (2011)	8.25	0.35	1.12	66.0	18.0	16	Franco-arenoso	14.9	6.9	1171

CE = conductividad eléctrica; MO = materia orgánica; NO<sub>3</sub>-N = nitrato; P<sup>†</sup> = fósforo extraíble; K = potasio.  
 CE = electrical conductivity; MO = organic matter; NO<sub>3</sub>-N = nitrate; P<sup>†</sup> = removable phosphorus; K = potassium.

**Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de la varianza.****Table 3. Mean squares of the analysis of variance.**

Fuente de variación	Rendimiento de raíz	Sólidos solubles	Concentración de clorofila	Pudrición de raíz
	Mg ha <sup>-1</sup>	°Brix	SPAD	%
Año (A)	1785530.0 ns	327.3**	20.0 ns	18590.2**
Tratamiento (T)	1700165235.0**	137.9*	122.5**	81581.8*
A × T	55540975.0 ns	41.8 ns	15.0 ns	1743.9 ns

Significancia estadística= \*\*0.001; \*0.01; ns = no significativo. Statistical significance = \*\*0.001; \*0.01; NS = not significant.

Al momento de la cosecha se inspeccionaron las raíces dañadas; se determinó según los síntomas externos, como: lesiones circulares u ovals en la corona, de color café oscuro, que el agente asociado fue *R. solani* (Harveson y Rush, 2002). La incidencia varió con el año y el tratamiento de fertilización (Cuadro 3). Este es un patógeno de importancia agronómica para remolacha a nivel mundial ya que afecta el rendimiento y la calidad azucarera. El mejor esquema de manejo es la introducción de cultivares resistentes para reducir la incidencia de la enfermedad (Buhre *et al.*, 2009).

En promedio no hubo diferencias significativas entre años (2010 y 2011) en el rendimiento de raíz y la concentración de clorofila (Cuadro 4). La disponibilidad de agua (precipitación o riego) es el factor del ambiente que más influye en la remolacha, se requieren cerca de 500-550 mm durante el ciclo del cultivo ya que está relacionada con la efectividad de la fertilización inorgánica; en segundo lugar, la temperatura máxima óptima, la cual se estima en 25 °C (Tsialtas y Maslaris, 2014). La disponibilidad de agua no fue una limitante en este trabajo, porque se dispuso de riego, para cubrir la demanda del cultivo y esto se observó en los resultados del rendimiento de raíz promedio de dos años (41.5 Mg ha<sup>-1</sup>); el cual se considera un rendimiento aceptable, ya que el promedio mundial

es de 47 Mg ha<sup>-1</sup>, en algunos países la media es mayor, como en EUA de 57 Mg ha<sup>-1</sup> (FAO, 2013). Hoffmann *et al.* (2009), tampoco observaron diferencias en dos años de evaluación en la producción raíz, las mayores diferencias las encontraron entre localidades.

En promedio en este experimento la producción de raíz fue de 41.7 Mg ha<sup>-1</sup> y 9.6 °Brix (Cuadro 4). En otras localidades de México a nivel experimental se han obtenido rendimientos y producción de azúcares de 90 a 100 Mg ha<sup>-1</sup> y 14 a 18 °Brix, con fecha de siembra de octubre a marzo y densidad de 100 mil plantas ha<sup>-1</sup>, en el sur de Sonora y Valle de Mexicali respectivamente (Alvarado *et al.*, 2011; Ochoa *et al.*, 2011); de 66 a 69 Mg ha<sup>-1</sup> y 14.8 a 17 °Brix, con fecha de siembra de septiembre-octubre con una densidad de 100 mil plantas ha<sup>-1</sup>, en General Terán N.L. (Pinales *et al.*, 2012). En comparación con estos datos, en este experimento se utilizó 38% menos de población. DeBruyn *et al.* (2017), no observaron efecto de la interacción año, densidad de población y fecha de cosecha en la producción de remolacha azucarera. En general el promedio de sacarosa es menor a lo esperado, la variedad EBO-809, puede tener hasta 17.5 °Brix en el sur de Sonora (Ochoa *et al.*, 2011). La remolacha azucarera tiene adaptación a una amplia gama de condiciones climáticas, crece en zonas templadas del hemisferio norte a latitudes de 30

**Cuadro 4. Comparación entre dos años en la producción de remolacha. Río Bravo, Tamaulipas.****Table 4. Comparison of two years in beet production. Río Bravo, Tamaulipas.**

Año	Rendimiento de raíz	Sólidos solubles	Concentración de clorofila	Pudrición de raíz
	Mg ha <sup>-1</sup>	°Brix	SPAD	%
2010	41.8 a <sup>†</sup>	7.8 b	37.0 a	32.6 a
2011	41.5 a	11.3 a	37.2 a	5.9 b
Media	41.6	9.5	37.1	19.3

<sup>†</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

<sup>†</sup> Values in the each column with same letters are statistically equal (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

a 60° N; con una longitud de día largo (Hoffmann y Kenter, 2018). El rendimiento de azúcar se incrementa cuando incrementa la temperatura base ( $T_{base} = 3\text{ °C}$ ) y la longitud de la estación de crecimiento (Webster *et al.*, 2016). El área de Río Bravo, Tamaulipas, se sitúa 25° 57' 54" N; 98° 01' 03" O, en el límite de la mejor región de adaptación del cultivo, en un área subtropical. La calidad de producción también es influida por la fecha de siembra y la duración de la estación de crecimiento (Hoffmann y Kluge-Severin, 2011). En la comparación de medias entre años hubo una diferencia significativa del 31% en la producción de sólidos solubles o °Brix, pero no para el rendimiento de raíz (Cuadro 4). En regiones donde la remolacha es un cultivo comercial como el centro de Europa (Trimpler *et al.*, 2017) se han reportado diferencias estadísticas entre años en la concentración de sacarosa en una misma localidad (Tsialtas y Maslaris, 2008). Lo cual coincide con los datos aquí presentados (Cuadro 4). En otros estudios se ha reportado que el mayor efecto, en la producción de azúcares, se puede atribuir a la localidad, la interacción año  $\times$  localidad y la magnitud de los cambios se observó más en esta variable que en el rendimiento de raíz (Hoffmann *et al.*, 2009). Una de las causas de estas respuestas, se puede atribuir, a los cambios en el contenido de azúcar en proporción inversa al peso de raíz, porque el exceso de humedad incrementa el contenido de agua en la raíz, a expensas de los azúcares (Tsialtas y Maslaris, 2014). En este experimento se registró una variación importante en la cantidad de precipitación, en el año 2010, llovió tres veces más (384 mm), que en el año 2011 (100 mm). Monreal *et al.* (2007) encontraron que los cambios hídricos en la planta provocan la movilización de carbohidratos almacenados para suministrar energía, lo que disminuye la producción de sacarosa porque aumenta la respiración y la síntesis de compuestos que son impurezas. El índice SPAD en promedio de los dos años fue de 37 (Cuadro 4). Tsialtas *et al.* (2013) en remolacha azucarera, han descrito el SPAD como un parámetro constante entre años, el valor óptimo es de 38, se considera un carácter altamente heredable con poca influencia del ambiente.

La región del norte de Tamaulipas, tiene un clima con lluvia invernal, el registro histórico promedio (1961-2004) que abarca de febrero a julio es de 293 mm (Silva *et al.*, 2007), corresponde a la etapa del cultivo. Con relación a la precipitación histórica, el año 2010 superó a la media con 89 mm, mientras que el

2011 estuvo por debajo con 192 mm. Esto ocasionó que la incidencia de la pudrición radicular fuera de 33% en el año 2010 y al año siguiente de 6% (Cuadro 4). En general, la incidencia de *Rhizoctonia* y la pudrición de la corona es inducida por condiciones cálidas y húmedas, pero los efectos ya sea de la temperatura o la humedad del suelo en la infección de remolacha azucarera no ha sido cuantificados, porque el primer objetivo es tener la fecha óptima de siembra, usando como referencia las condiciones atmosféricas como temperatura (Bolton *et al.*, 2010).

Hubo diferencias significativas entre los tratamientos con fertilización y el testigo en la producción de remolacha (Cuadro 5). El testigo absoluto sin fertilizar rindió 27.9 Mg ha<sup>-1</sup> inferior al resto de los 12 tratamientos con N-P, que en promedio dieron una producción de raíz de 42.8 Mg ha<sup>-1</sup> y representa una diferencia significativa del 34.9%; además al comparar los tratamientos con y sin fósforo, no hubo diferencia significativa (Cuadro 5). Mekdad y Rady (2016) reportaron que la fertilización con N a dosis de 350 kg ha<sup>-1</sup>, fue estadísticamente superior a la dosis 200 kg ha<sup>-1</sup> en el rendimiento de raíz y calidad del jugo, no se observó interacción entre dosis de nitrógeno y variedad. La dosis 300-200-00 tuvo el mayor índice de clorofila (39.5), la mayor diferencia estadística se obtuvo con el testigo (35.8). Los resultados de este experimento comprobaron un principio básico de la fertilización en remolacha azucarera, donde el nitrógeno, se ha reportado como el nutriente más importante, en comparación al fósforo (Davis y Westfal, 2009); porque, la acumulación de nitrato en hojas, particularmente en los peciolo, ocurre durante la temporada de crecimiento del cultivo (Oliveira *et al.*, 1993). En un estudio, al comparar el efecto de la dosis de nitrógeno con el rendimiento, la mayor diferencia se obtiene entre el testigo (0 kg ha<sup>-1</sup>) y 240 kg ha<sup>-1</sup> N, ninguna diferencia hay al aplicar dosis de 60 a 240 kg ha<sup>-1</sup> (Gehl y Boring, 2011), además, no hay respuesta a la fertilización nitrogenada en la concentración de sacarosa y clorofila (Tsialtas y Maslaris, 2008).

En las regiones del mundo, tales como el centro de Europa (Trimpler *et al.*, 2017), estados como Dakota y Michigan en EUA (Panella *et al.*, 2014), donde la remolacha es un cultivo histórico, la adición de fósforo tiene un efecto limitado en el rendimiento y no se ha observado interacción N  $\times$  P (DeBruyn *et al.*, 2017), incluso esto ocurre con el potasio (Hergert, 2010);

**Cuadro 5. Comparación entre las dosis de fertilización N-P en la producción de remolacha. Río Bravo, Tamaulipas<sup>†</sup>.**  
**Table 5. Comparison of fertilization doses N-P in beet production. Río Bravo, Tamaulipas<sup>†</sup>.**

N-P	Rendimiento de raíz	Sólidos solubles	Concentración de clorofila	Pudrición de raíz
kg ha <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>	°Brix	SPAD	%
000-000	27.9 b <sup>**</sup>	10.4 ab	35.8 b	26.2 a
150-000	41.9 a	9.8 b	38.5 ab	19.8 ab
150-100	42.3 a	9.8 b	36.4 ab	25.8 a
150-200	42.8 a	8.9 b	37.9 ab	19.0 ab
200-000	42.4 a	9.7 b	38.3 ab	17.7 ab
200-100	42.7 a	11.0 a	38.9 ab	24.9 a
200-200	42.5 a	9.1 b	36.3 ab	18.6 ab
250-000	44.0 a	9.5 b	36.7 ab	20.3 ab
250-100	41.6 a	8.9 b	38.6 ab	17.5 b
250-200	42.9 a	8.9 b	37.8 ab	13.9 c
300-000	43.6 a	9.7 b	38.0 ab	16.0 bc
300-100	43.7 a	9.5 b	37.8 ab	15.6 bc
300-200	43.5 a	9.0 b	39.5 a	15.4 bc
Media <sup>†</sup>	41.7	9.6	37.7	19.3

<sup>†</sup>Datos de los tratamientos son promedio de dos años. <sup>\*\*</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

<sup>†</sup>Treatment data are two-year average. <sup>\*\*</sup>Values in the each column with same letters are statistically equal (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

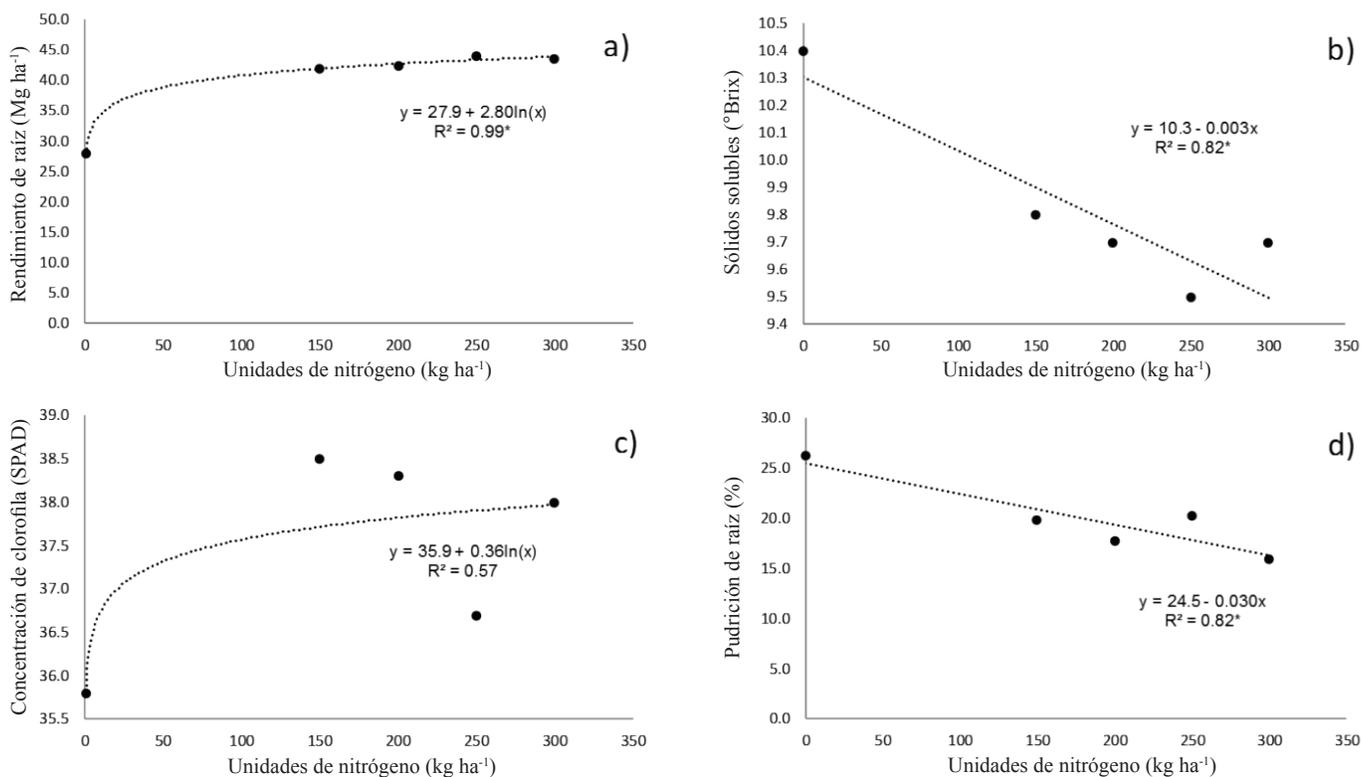
debido a que la remolacha tiene baja demanda de este nutriente, cerca de 60 a 70 kg ha<sup>-1</sup>, además, se ha observado, que el cultivo responde mejor, cuando el suelo tiene alto nivel de K (> 800 mg kg<sup>-1</sup>), respecto a fertilización con K (Milford *et al.*, 2000). En este estudio no se observaron efectos negativos con las mayores dosis de fertilización (300-00-00, 300-100-00 y 300-200-00) en el rendimiento y concentración de sólidos solubles (Cuadro 5), Anderson y Peterson (1988); Pocock *et al.* (1990), han encontrado que, el exceso de nitrógeno puede disminuir el rendimiento y concentración de sacarosa. La dosis reportada para el nitrógeno varía en un rango de 110 a 220 kg ha<sup>-1</sup> y máxima de 495 kg ha<sup>-1</sup> (Tsialtas y Maslaris, 2008; Hergert, 2010; DeBruyn *et al.*, 2017). A nivel experimental en el Valle de Mexicali, se recomiendan 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno y 70 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (Alvarado *et al.*, 2011); también se ha reportado la fórmula 150-75-00, en el General Terán, N.L. (Pinales *et al.*, 2012). En este experimento se pudo observar que el nivel crítico de nitrógeno se ubica en 150 kg ha<sup>-1</sup> (150-00-00), ya que a medida que se adicionó N, los cambios no fueron significativos (Cuadro 5); incluso no se han encontrado diferencias significativas entre el testigo absoluto y una dosis de 60 kg ha<sup>-1</sup> (Tsialtas y

Maslaris, 2008). Desde un punto de vista fisiológico en remolacha azucarera el N es tiene un rol como agente regulador de la asimilación de nitratos (Patterson *et al.*, 2010). El balance nutricional es importante en este cultivo. La fertilización es un factor que influye en la distribución de los constituyentes de la raíz, tales como el peso seco, agua, total de sólidos solubles e insolubles y compuestos derivados del nitrógeno (Draycott y Christenson, 2003). Un desbalance de N aumenta el nivel de impurezas, como aminoácidos, azúcares invertidos, sodio y potasio (Mekdad y Rady, 2016), los cuales, disminuyen la cantidad de sacarosa que se extrae durante el proceso industrial (Campbell y Fugate, 2015); pero también la proporción NPK y la etapa fenológica en la cual se aplica el N, afectan el balance nutricional de la planta (Barlóg *et al.*, 2014).

En este experimento se hicieron correlaciones entre las variables. El rendimiento de raíz y la acumulación de azúcares, no tuvieron una correlación significativa ( $r = 0.06$ ) y fueron independientes. Esta respuesta se puede atribuir a los cambios en el peso fresco de la raíz han sido asociados con la acumulación de agua en el parénquima y su estructura anatómica, más que, con la síntesis de azúcares solubles (Doney *et al.*, 1981; Barlóg *et al.*, 2014).

Los cambios en el rendimiento o peso fresco de raíz (Figura 1a) y la concentración de clorofila (Figura 1c), respecto al incremento de nitrógeno, mostraron una respuesta cuadrática, es decir sin nitrógeno aplicado, el rendimiento fue bajo, a medida que aumenta el nitrógeno, hay un aumento en ambas variables, hasta alcanzar el valor de 150 kg ha<sup>-1</sup>, después los cambios fueron menores. Esta es una respuesta típica de la fertilización nitrogenada (Tsialtas y Maslaris, 2008). En remolacha se han propuesto diferentes modelos para encontrar el óptimo de fertilización N, porque la respuesta para el rendimiento de raíz varía entre localidades y años, en algunos casos es lineal y en otros cuadrático (Gehl y Boring, 2011). Hubo una relación inversamente proporcional entre sólidos solubles y adición de nitrógeno (Figura 1b), en párrafos anteriores se ha expuesto la causa de este resultado, el cual puede estar asociada con la acumulación de peso fresco y azúcares solubles en el parénquima de la raíz de la remolacha (Doney *et al.*, 1981). En este experimento, hubo correlación

significativa ( $P < 0.01$ ) entre el rendimiento y la incidencia de la pudrición radicular ( $r = -0.56$ ), pero no entre incidencia de *R. solani* y concentración de sacarosa ( $r = 0.47$ ), esto puede ser debido, a que la evaluación no consideró datos de severidad, solo número de raíces infectadas. En genotipos muy susceptibles la enfermedad está asociada a la degradación de la calidad del jugo (Harveson y Rush, 2002). En la Figura 1d, se observaron cambios significativos de la incidencia de *R. solani* con la dosis de fertilización, conforme se incrementó la cantidad de nitrógeno la incidencia disminuyó (Figura 1d). En trabajos pioneros sobre la ecología y epidemiología de *R. solani* bajo condiciones de campo, Papavizas *et al.* (1975), encontraron correlación positiva entre la densidad de inóculo y el nitrógeno total, NH<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, precipitación, color y conductividad eléctrica del suelo; también se ha observado que la expresión de la enfermedad puede ser más severa en algunos genotipos susceptibles a deficiencia de N (Hecker y Ruppel, 1980).



**Figura 1. Relación entre la fertilización nitrogenada en remolacha azucarera con el rendimiento (a), sólidos solubles (b), índice de clorofila (c) y pudrición de raíz por *R. solani* (d). Datos promedio 2010-2011.**

**Figure 1. Relationship between nitrogenous fertilization in sugar beet with yield (a), soluble solids (b), chlorophyll index (c) and root rot by *R. solani* (d). Average data 2010-2011.**

## CONCLUSIONES

El factor con mayor valor estadístico fue la dosis de fertilización (T), explicó el 70% de la varianza, 24% el año (A) y no hubo interacción (T × A). La pudrición de raíz por *R. solani* se asoció negativamente con el rendimiento. La presencia de lluvia invernal atípica en el año 2010, ocasionó una mayor incidencia de *R. solani*. No hubo diferencias en el rendimiento entre las dosis de fertilización N-P, aunque fueron superiores respecto al testigo. El valor crítico de N fue la dosis 150 kg ha<sup>-1</sup>. La concentración de sacarosa no estuvo relacionada al rendimiento, índice de clorofila SPAD e incidencia de *R. solani*; además fue inversamente proporcional a la dosis de nitrógeno. En futuros ensayos es necesario evaluar el efecto genotipo por dosis de nitrógeno a tasas menores de 150 kg ha<sup>-1</sup>, incluso explorar combinaciones entre NPK tanto en el ciclo otoño-invierno como primavera-verano en localidades de la Región Norte de Tamaulipas.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero proporcionado por el convenio de colaboración 2008 suscrito con la SAGARPA para el “Desarrollo de tecnologías sustentables de producción de insumos competitivos para la obtención de biocombustibles en México” y su Anexo Técnico Número Uno que corresponde al proyecto de investigación “Estudio de insumos para la obtención de biocombustibles en México”.

## LITERATURA CITADA

- Alvarado P., J. I., E. Avila C., M. Camarillo P., X. M. Ochoa E. y A. Zamarripa C. 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. Campo Experimental Valle de Mexicali. Folleto Técnico No. 19. Mexicali, B. C., México. ISBN: 978-607-425-675-8.
- Anderson, F. N. and G. A. Peterson. 1988. Effect of incrementing nitrogen application on sucrose yield of sugarbeet. *J. Agron.* 80: 709-712. doi:10.2134/agronj1988.00021962008000050002x.
- Barlóg, P., W. Grzebisz, W. Szczepaniak, and K. Peplinski. 2014. Sugar beet response to balanced nitrogen fertilization with phosphorus and potassium. Part II. Dynamics of beet quality. *Bulg. J. Agri. Sci.* 20: 1326-1333.
- Bolton, M. D., L. Panella, L. Campbell, and M. F. Khan. 2010. Temperature, moisture, and fungicide effects in managing *Rhizoctonia* root and crown rot of sugar beet. *Phytopathology* 100: 689-697. doi: 10.1094/PHYTO-100-7-0689.
- 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 Dis.* 93: 155-161.
- Campbell, G. L. and K. K. Fugate. 2015. Relationships among impurity components, sucrose, and sugar beet processing quality. *J. Sugar Beet Res.* 52: 2-21.
- Christenson, D. R. and A. P. Draycott. 2007. Nutrition-phosphorus, sulphur, potassium, sodium, calcium, magnesium and micronutrients-liming and nutrient deficiencies. pp. 185-220. In: A. P. Draycott (ed.). *Sugar Beet*. Blackwell, Publishing Ltd. Oxford, UK.
- Cosyn, S., K. van der Woude, X. Sauvenier, and J. N. Evrard. 2011. Sugar beet: A complement to sugar cane for sugar and ethanol production in tropical and subtropical areas. *Int. Sugar J.* 113: 120-123.
- Davis, J. G and D. G. Westfall. 2009. Fertilizing sugar beets. *Crop Series. Soil. No.* 0.542. [https://dSPACE.library.colostate.edu/bitstream/handle/10217/182863/AEXT\\_ucsu2062205422009.pdf?sequence=1](https://dSPACE.library.colostate.edu/bitstream/handle/10217/182863/AEXT_ucsu2062205422009.pdf?sequence=1) (Consulta: mayo 6, 2017).
- DeBruyn, A. H., I. P. O'Halloran, J. D. Lauzon, and L. L. Van Eerd. 2017. Effect of sugar beet density and harvest date on most profitable nitrogen rate. *Agron. J.* 109: 2343-2357. doi:10.2134/agronj2017.03.0141.
- Domínguez R., L. 2005. Desarrollo regional y competitividad: La agroindustria azucarera en México. *Rev. Cienc. Soc. Human.* 15: 227-250.
- Doney, D. L., R. E. Wyse, and J. C. Theurer. 1981. The relationship between cell size, yield, and sucrose concentration of the sugarbeet root. *Can. J. Plant Sci.* 61: 447-453. doi: 10.4141/cjps81-060.
- Draycott, A. P. and D. R. Christenson. 2003. *Nutrients for sugar beet production: Soil-plant relationships*. CABI Publishing. Wallingford, UK. ISBN-13: 978-0851996233.
- Dutra, E. D., A. Gomes B. N., R. Barros de Souza, M. A. de Moraes J., J. Nildo T., and R. S. Cezar M. 2013. Ethanol production from the stem juice of different sweet sorghum cultivars in the state of Pernambuco, Northeast of Brazil. *Sugar Tech.* 15: 316-321. doi: 10.1007/s12355-013-0240-y.
- Espinosa R., M., E. Andrade L., P. Rivera O. y A. Romero D. 2011. Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles Geogr.* 53-54: 77-88.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2013. 2013 Statistical Yearbook Europe and Central Asia. 307 pag. <http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e.PDF> (Consulta: agosto 10, 2007).
- FAO-STAT. 2010. *Statistics of the Food Agriculture Organization*. <http://www.faostat.fao.org> (Consulta: octubre 20, 2010).
- Finkenstadt, V. L. 2014. A review on the complete utilization of the sugarbeet. *Sugar Tech.* 16: 339-346. doi: 10.1007/s12355-013-0285-y.
- Gehl, R. J and T. J. Boring. 2011. In-season prediction of sugarbeet yield, quality, and nitrogen status. *Agron. J.* 103: 1012-1018. doi: 10.2134/agronj2011.0040.
- Hanse, B., G. D. Vermeulen, F. Tijink, H. J. Koch, and B. Märlander. 2011. Analysis of soil characteristics, soil management and sugar yield on top and averagely managed farms growing sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in the Netherlands. *Soil Tillage Res.* 117: 61-68.

- Harveson, R. M. and C. M. Rush. 2002. The influence of irrigation frequency and cultivar blends on the severity of multiple root diseases in sugar beets. *Plant Dis.* 86: 901-908.
- Hashemi, S. S. and H. Abbaslou. 2016. Potassium reserves in soils with arid and semi-arid climate in southern Iran a perspective based on potassium fixation. *Iran Agr. Res.* 35: 88-95. doi: 10.22099/IAR.2016.3849.
- Hecker, R. J and E. G. Ruppel. 1980. Rhizoctonia root rot of sugarbeet as affected by rate and nitrogen fertilizer carrier. *J. Sugar Beet Res.* 20: 571-577.
- Hergert, W. G. 2010. Sugar beet fertilization. *Sugar Tech.* 12: 256-266. doi: 10.1007/s12355-010-0037-1.
- Hoffmann, C. M. and S. Kluge-Severin. 2011. Growth analysis of autumn and spring sown sugar beet. *Eur. J. Agron.* 34: 1-9. doi: 10.1016/j.eja.2010.09.001.
- Hoffmann, C. M. and C. Kenter. 2018. Yield potential of sugar beet - have we hit the ceiling? *Front. Plant Sci.* 9: 289. doi: 10.3389/fpls.2018.00289.
- 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. *Eur. J. Agron.* 30: 17-26.
- Kenter, C., C. M. Hoffmann, and B. Märlander. 2006. Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.) *Eur. J. Agron.* 24: 62-69. doi: 10.1016/j.eja.2005.05.001.
- Marchetti, R. and F. Castelli. 2011. Mineral nitrogen dynamics in soil during sugarbeet and winter wheat crop growth. *Eur. J. Agron.* 35: 13-21. doi: 10.1016/j.eja.2011.03.003.
- Mekdad, A. and M. M. Rady. 2016. Response of *Beta vulgaris* L. to nitrogen and micronutrients in dry environment. *Plant Soil Environ.* 62: 23-29.
- Milford, G. F. J., M. J. Armstrong, P. J. Jarvis, B. J. Houghton, D. M. Bellett-Travers, J. Jones, and R. A. Leigh. 2000. Effect of potassium fertilizer on the yield, quality and potassium offtake of sugar beet crops grown on soils of different potassium status. *J. Agric. Sci.* 135: 1-10.
- Monreal, E. T., E. Jiménez, R. Remesal, S. Morillo Velarde, S. García Maurino, and C. Echevaría. 2007. Proline content of sugar beet storage roots: Response to water deficit and nitrogen fertilization at field conditions. *Environ. Exp. Bot.* 60: 257-267.
- 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. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIR-NOROESTE. Campo Experimental Norman E. Borlaug. Folleto Técnico No.78.
- Oliveira, M. D., C. F. Carranca, M. M. Oliveira, and M. R. Gusmão. 1993. Diagnosing nutritional status of sugarbeet by soil and petiole analysis. pp. 147-151. *In:* M. A. C. Fragoso, M. L. Van Beusichem, and A. Houwers. (eds.). Optimization of plant nutrition. Developments in Plant and Soil Sciences. Springer. Dordrecht. Online ISBN 978-94-017-2496-8.
- Panella, L., S. R. Kaffka, R. T. Lewellen, J. M. McGrath, M. S. Metzger, and C. A. Strausbaugh. 2014. Sugarbeet. Chapter 13. pp: 357-396. *In:* S. Smith, B. Diers, J. Specht, and B. Carver (eds.). Yield gains in major U.S. field crops. CSSA special publication 33. ASA, CSSA, and SSSA. Madison, WI, USA.
- Papavizas, G. C., P. B. Adams, R. D. Lumsden, J. A. Lewis, R. L. Dow, W. A. Ayers, and J. G. Kantzes. 1975. Ecology and epidemiology of *Rhizoctonia solani* in field soil. *Phytopathology* 65: 871-877. doi: 10.1094/Phyto-65-871.
- Pathak, A. D., R. Kapur, S. Solomon, R. Kumar, S. Srivastava, and P. R. Singh. 2014. Sugar beet: A historical perspective in Indian context. *Sugar Tech.* 16: 125-132. doi: 10.1007/s12355-014-0304-7.
- Patterson, K., T. Cakmak, A. Cooper, I. Lager, A. G. Rasmusson, and M. A. Escobar. 2010. Distinct signaling pathways and transcriptome response signatures differentiate ammonium- and nitrate-supplied plants. *Plant Cell Environ.* 33: 1486-1501. doi: 10.1111/j.1365-3040.2010.02158.x.
- Pinales Q., J. F., N. Montes G., J. Martínez M. y A. Zamarripa C. 2012. Guía técnica para la producción de remolacha azucarera con riego por goteo en el norte de Nuevo León. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental General, Terán, N.L. Folleto Técnico No. 11. ISBN: 978-607-425-389-4.
- Pocock, T. O., G. F. J. Milford, and M. J. Armstrong. 1990. Storage root quality in sugarbeet in relation to nitrogen uptake. *J. Agric. Sci.* 115: 355-362.
- 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. *Agric. Econ. – Czech.* 58: 41-48.
- Rozman, C., A. Škraba, K. Pažek, and M. Kljajić. 2014. The development of sugar beet production and processing simulation model – a system dynamics approach to support decision-making processes. *Organizacija* 47: 99-105. doi: 10.2478/orga-2014-0011.
- SAS Institute. 2010. SAS/SAT user's guide. Version 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera de la SAGARPA) 2017. Estadísticas agropecuarias. <http://www.siap.gob.mx> (Consulta: diciembre 8, 2017).
- Silva S., M. M., G. Medina G., J. A. Ruiz C., V. Serrano A., G. Díaz P. y M. Á. Cano G. 2007. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Tamaulipas (1961-2003). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental Río Bravo. Libro Técnico No. 2. México, D. F. ISBN: 978-970-43-0310-5.
- Skonieczek, P., M. Nowakowski, J. Piszczek, M. Żurek, and Ł. Matyka. 2016. Influence of selected *Rhizoctonia solani* isolates on sugar beet seedlings. *J. Plant Prot. Res.* 56: 116-121.
- Trimpler, K., N. Stockfisch, and B. Märlander. 2017. Efficiency in sugar beet cultivation related to field history. *Eur. J. Agron.* 91: 1-9. doi: 10.1016/j.eja.2017.08.007.
- Tsialtas, J. T. and N. Maslaris. 2008. Sugar beet response to N fertilization as assessed by late season chlorophyll and leaf area index measurements in a semi-arid environment. *Int. J. Plant Prod.* 2: 57-70.
- Tsialtas, J. T. and N. Maslaris. 2014. The effect of temperature, water input and length of growing season on sugar beet yield in five locations in Greece. *J. Agric. Sci.* 152: 177-187.

- Tsialtas, J. T., D. Baxevas, and N. Maslaris. 2013. Chlorophyll meter readings, leaf area index, and their stability as assessments of yield and quality in sugar beet cultivars grown in two contrasting environments. *Crop Sci.* 54: 265-273.
- von Tucher, S., D. Hörndl, and U. Schmidhalter. 2017. Interaction of soil pH and phosphorus efficacy: Long-term effects of P fertilizer and lime applications on wheat, barley, and sugar beet. *Ambio* 47(Suppl 1): 41-49.
- Webster, T. M., T. L. Grey, B. T. Scully, W. C. Johnson III, R. F. Davis, and T. B. Brenneman. 2016. Yield potential of spring-harvested sugar beet (*Beta vulgaris*) depends on autumn planting time. *Ind. Crops Prod.* 83: 55-60.