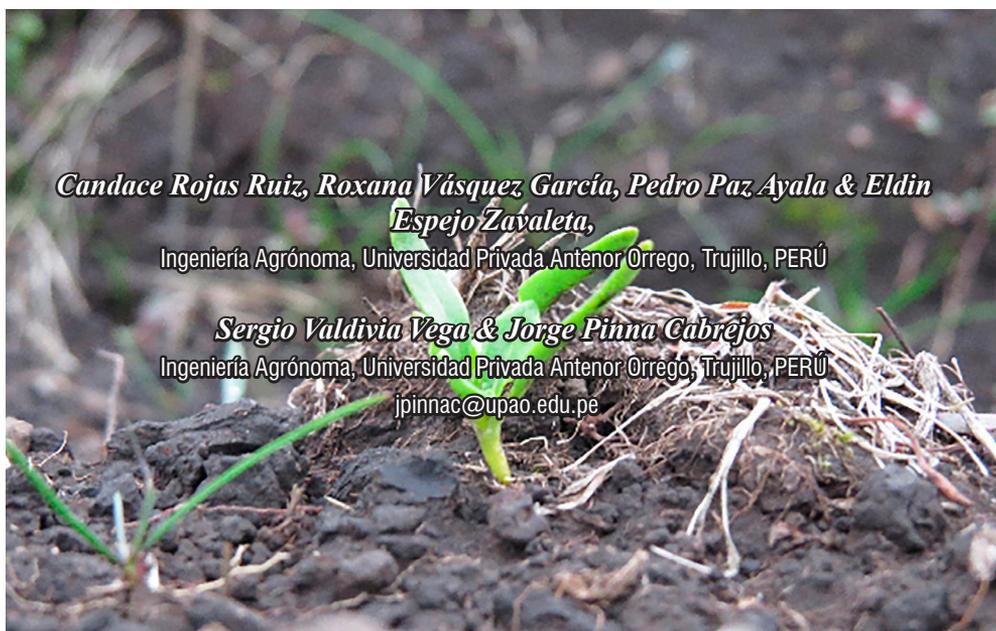


Desarrollo de la “remolacha azucarera” y de la “remolacha forrajera” *Beta vulgaris* L. (Amaranthaceae) sembradas directamente en zonas altoandinas del norte del Perú

Development of “sugar beet” and “fodder beet” *Beta vulgaris* L. (Amaranthaceae) directly sowed in northern Peruvian highlands



Candace Rojas Ruiz, Roxana Vásquez García, Pedro Paz Ayala & Eldin Espejo Zúñiga,

Ingeniería Agrónoma, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, PERÚ

Sergio Valdivia Vega & Jorge Pinna Cabreros

Ingeniería Agrónoma, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, PERÚ

jpinnac@upao.edu.pe



Resumen

En la "jalca" y puna, zona ecológica de pradera muy húmeda montana, donde se presentan heladas en cualquier momento, se realizaron dos experimentos con "remolacha azucarera" (uno con dos cultivares, y el otro con uno) y uno con "remolacha forrajera", sembradas directamente. Los con azucarera se realizaron en el caserío de Huaynas, distrito de Huaso, provincia de Julcán, a 3887 m s.n.m., y en el caserío de Chinchinvara, distrito de Huaso, provincia de Julcán, a 3564 m s.n.m.; y el con forrajera en el caserío de El Bado, distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, a 3718 m s.n.m. Se estudiaron 0, 100, y 200 kgN ha⁻¹ en la "remolacha azucarera", en bloques completos al azar, con 12 repeticiones; y en la forrajera las densidades de 100 000, 150 000 y 200 000 plantas por hectárea en bloques completos al azar, con 9 repeticiones. Hubo diferencias significativas entre los tratamientos en uno de los experimentos con azucarera, y no en el otro. La "remolacha forrajera" no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. El desarrollo vegetativo de la remolacha, ya sea azucarera o forrajera, fue similar hasta los tres meses. Pasada esa edad, solo la forrajera continuó su crecimiento, lo que se debe a que se le regó. Las plantas de "remolacha azucarera" mostraron resistencia a las heladas esporádicas de la época de lluvias y a las muy frecuentes de la época de escasez. Los rendimientos obtenidos con la "remolacha azucarera" son extremadamente bajos (menos de 6.6t ha⁻¹) debido al estrés hídrico presentado durante el ciclo vegetativo del cultivo. La "remolacha forrajera", a pesar de haber pasado todo el invierno y soportado en dicha época heladas casi diarias, ha producido rendimientos adecuados (entre 37,65t ha⁻¹ y 62,95t ha⁻¹) porque se practicó el riego complementario.

Palabras clave: *Beta vulgaris*, remolacha azucarera, remolacha forrajera, zona altoandina, jalca, Perú.

Abstract

In the highlands, in Puna and Jalca region: a very humid montane grassland, where freezing is normal at any moment, two experiments with sugar beet crop (one with two cultivars, and one with one cultivar) and one experiment with fodder beet were made, all of them directly sowed. Experiments with sugar beet were made at Huaynas Village, Huaso District, Julcan Province, at 3887 m a.s.l., and at Chinchinvara Village, Huaso District, Julcan Province, at 3564 m a.s.l.; and with fodder beet at El Bado Village, Quiruvilca District, Santiago de Chuco Province, at 3718 m a.s.l. Doses of 0, 100 and 200 kgN ha⁻¹ were studied in sugar beet, in random complete blocks with 12 replications; and in fodder beet 100 000, 150 000 and 200 000 plants per hectare in random complete blocks with 9 replications. Significantly differences between treatments were found in one experiment with sugar beet, but no differences were found in the other one. No statistical differences were found in fodder beet. Until three months, development of crops was similar in sugar and fodder beets. After that age, just fodder beet continued its development because it was irrigated. Sugar beet plants showed resistance to sporadic freezing of rainy season and to very frequent freezing of dry season. Sugar beet yields are very low (less than 6.6t ha⁻¹) because of the water stress during its development. Fodder beet had normal yields (between 37.65t ha⁻¹ and 62.95t ha⁻¹), in spite of its development in winter season enduring freezing almost every day, because it had complementary irrigation.

Keywords: *Beta vulgaris*, sugar beet, fodder beet, Andean highlands, Jalca region, Peru.

Citación: Rojas, C.; R. Vásquez; P. Paz; E. Espejo; S. Valdivia & J. Pinna. 2018. Desarrollo de la "remolacha azucarera" y de la "remolacha forrajera" *Beta vulgaris* L. (Amaranthaceae) sembradas directamente en zonas altoandinas del norte del Perú. *Arnaldoa* 25 (3): 989-1002. DOI: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25311>

Introducción

El cultivo de la “remolacha azucarera” en el Perú no se lleva a cabo aún en forma industrial, pero a partir de 1980 se inició su estudio en la costa (suelos salinos; Valdivia *et al.*, 2001) dando como corolario que las empresas, en esa época CAP Casa Grande y Paramonga desarrollaran su cultivo en extensiones que se podrían considerar como semi-industriales. En dicha época, el citado cultivo estuvo a nivel de promoción; y se han obtenido rendimientos que sobrepasan los obtenidos en países donde la “remolacha” es tradicional (más de 70 t ha⁻¹ de “remolacha” con un contenido de azúcar del 13%). Mucho más recientemente, se han desarrollado cultivos semi-industriales en suelos extremadamente salinos en la Empresa Pomalca, y en suelos no salinos en la Empresa Casa Grande, no habiendo sembrado superficies mayores, ni continuado con su cultivo, por falta de semilla.

Si bien en la costa los estudios están muy avanzados (Reynoso *et al.*, 2001; Valdivia *et al.*, 2010 (a); Valdivia *et al.*, 2010 (b); Valdivia *et al.*, 2016), es en la sierra donde es necesario iniciar en forma sistemática los estudios de “remolacha azucarera” ya que en Europa y Estados Unidos se desarrolla en ecologías parecidas a la de dicha región. En las zonas tradicionalmente azucareras se obtenían rendimientos variables, de 41 a 85 t ha⁻¹ en México (IMPA, 1975), de 65 t ha⁻¹ en Texas (Whiteley & Cowley, 1969) - el promedio nacional en 1968 en Estados Unidos fue de 44,7 t ha⁻¹ (Theis, 1971) -, de 53 a 66 t ha⁻¹ en Bélgica (Van Ruymbeke & De Leenheer, 1973); todos ellos económicamente rentables a pesar de tratarse de países altamente desarrollados como los Estados Unidos y Bélgica. Actualmente los rendimientos son

mayores, en ecologías similares, siendo siempre económicamente rentables; por ejemplo, la temperatura mínima durante los meses de desarrollo de dicho cultivo en la zona de Texas es de: 5.6, 0.6, -2.8, -2.8, -2.8, -2.2, 9.4, 12.8, 19.4 grados centígrados y la máxima de: 33.5, 30, 31, 30, 28.3, 33, 36.5, 40.5 (Whiteley & Cowley, 1969).

En la sierra peruana, la zona ecológica “pradera muy húmeda montana” conocida como puna y en el norte como “jalca”, se caracteriza por un clima muy húmedo y frío, relieve semi accidentado (praderas) a muy accidentado (montañas), siendo su vegetación natural a base de gramíneas (ONERN, 1973). Las temperaturas de Quiruvilca, que se encuentra a 4 000 m.s.n.m. e inserta en dicha zona ecológica, según ONERN (1973) varían para la máxima de 12.4 a 15,8 °C ($\bar{x} = 13,0$), para la mínima de 1,4 a 4,7 ($\bar{x} = 3,0$) y para la promedio de 7,7 a 10,0 ($\bar{x} = 8,2$). La precipitación en Quiruvilca es de 1 388,9 mm/año (ONERN, 1973) con una precipitación de alrededor de 60 mm/mes, la que aumenta en los meses de Octubre a Mayo a 100-200 mm/mes, manifestando el problema de la presencia de heladas en cualquier momento y durante cualquier época del año (inclusive en verano, época de lluvias); lo que permite el normal desarrollo de la “remolacha azucarera”, ya que Reinsdorf & Koch (2013) indican que la “remolacha” se desarrolló bien a una temperatura promedio de 9,1 °C y 756 mm de precipitación en Kiel, y 9,4 °C y 635 mm en Göttingen (Alemania).

Es bien conocido que la “remolacha” es altamente resistente a las heladas, pudiendo germinar en un alto rango de temperaturas del suelo, entre 1,7 y 30 °C (Robbins & Price, in Whiteley & Cowley, 1969). Al respecto la FAO (2010) afirma que la “remolacha azucarera” puede

germinar de -6 a -7 °C y florear o fructificar de -2 a -3 °C (tanto la forrajera como la azucarera), resistiendo cuando tiene dos hojas verdaderas -7 u -8 °C; habiendo problemas cuando las plantas son recién nacidas si la temperatura es de -2 °C y sube rápidamente. Sin embargo, Kaspari (2014) afirma que la "remolacha" puede germinar a 5 °C, pero toma alrededor de 40 días, y que puede reducirse a 5 o 6 días, si la temperatura aumenta hasta 21 o 27 °C; aunque El-Sarag & Moselhy (2013) afirman que la "remolacha azucarera" es esencial en las rotaciones de invierno en Egipto, Holst & Scott (1970) indican que temperaturas superiores a -4,4 °C no afectan al cultivo, ni a la cantidad de sacarosa. Por su parte, Senf (in Morillo-Velarde, 2013) indica que el tamaño óptimo de la "remolacha" para tolerar las heladas, es de 0,5 - 1,5 cm de diámetro de las raíces, concordando con Kockelmann y Meyer (in Morillo-Velarde, 2013), quienes afirman que el diámetro es de 1-2 cm en la parte alta de la raíz; y de acuerdo con Reinsdorf & Koch (2013), y Reinsdorf *et al.* (2013) quienes indican que dichas plantas pueden tolerar hasta -4,5 °C en dicho lugar, lo que corresponde a temperaturas del aire de -15 °C (en suelos desnudos) y de -21 °C (en suelos cubiertos), mientras que con diámetros mayores, la helada afecta desde -1.5 °C. Una temperatura en la corona inferior a -6 °C (-17 °C en el aire) indica muerte por helada (Reinsdorf & Koch, 2013). Sin embargo Webster *et al.* (2016) afirman que en Estados Unidos una temperatura de -9 °C mata la "remolacha azucarera". Reinsdorf *et al.* (2013) concluyen que la concentración de los solutos K⁺, Na⁺, y N amino contribuyen a la alta tolerancia a las heladas de la "remolacha", aunque no así la concentración de azúcares. Por otro lado, la betaína, los amino ácidos,

y la "osmolalidad" se correlacionan positivamente con la tolerancia a las heladas de la "remolacha", y la prolina actúa negativamente (Loel & Hoffmann, 2015). Estos resultados coinciden con los de Allard *et al.* (1998) para el trigo, en cuanto a la betaína, la que induce la respuesta de los genes responsables de la resistencia a las heladas.

La zona ecológica en cuestión cubre una muy importante extensión en la sierra peruana, por lo que significaría un aumento en la superficie cultivada peruana muy grande, ya que solamente en la cuenca de los ríos Moche, Chao y Virú es de 53,600 ha y en la del Chicama es de 4,000 ha (ONERN, 1973); si se elimina el 50% por limitaciones topográficas, se tendría solamente en la Región La Libertad alrededor de 30,000 ha que se ganarían a la agricultura; si se considera un 10% bajo riego, se tendrían de inmediato 3,000 ha de nuevas tierras agrícolas, con un costo muy inferior al que se obtiene para aumentar la superficie cultivada en la costa mediante las irrigaciones. Si se considera la cantidad de hectáreas que se ganarían en todo el Perú, donde hay zonas muy extensas entre 3,800 y 4,200 m.s.n.m. como son las pampas de Junín y la meseta del Collao, no sería difícil incorporar a la agricultura peruana alrededor de 1'000,000 de hectáreas vía la "remolacha azucarera", siendo de inmediato alrededor de 100,000 ha bajo riego.

El principal problema que podría presentar el cultivo de la "remolacha" en el Perú, podría ser la no producción de semilla, por las características de longitud del día, lo que también ha sido despejado, ya que Pinna y Valdivia (2000) han logrado la floración de la "remolacha" sin necesidad de modificar la longitud de la luz del día.

Según Whiteley & Cowley (1969) la “remolacha” es muy sensible a la fuerte acidez, no desarrollándose a un pH de 4.5 y no se recomienda su cultivo en pHs inferiores de 6,0. Su sensibilidad a la acidez, además de a la toxicidad de aluminio y déficit de fósforo, se debe sobre todo a su gran necesidad de calcio. La deficiencia de calcio causa síntomas muy fuertes en la “remolacha”, semejantes a una deficiencia extrema de boro, produciendo inclusive la muerte de las plantas. Cualquier desequilibrio nutricional, como un exceso momentáneo de nitrógeno puede provocar un déficit de calcio bastante grave, el que puede disminuir fuertemente los rendimientos (Viets & Robertson, 1971). En cuanto al nitrógeno, algunos autores (Scott & Bremner, 1966) afirman que las dosis no afectan ni el rendimiento ni la calidad, pero otros afirman que el incremento de N aumenta el rendimiento de raíces y de azúcar (Nelson, 1969; Abdel-Motagally & Attia, 2009; El-Sarag & Moselhy, 2013), aunque el último autor indica que con el aumento del N decrece el porcentaje de azúcar de las raíces, coincidiendo con James *et al.* (1970) y con Akesson (1981). La concentración de impurezas como cationes Na⁺, K⁺, y de compuestos de nitrógeno alfa-amino (por ejemplo, glicina, betaína, y glutamina); aunque contribuyen a la resistencia a las heladas (Reinsdorf *et al.*, 2013) interfieren con la extracción y recristalización de la sacarosa; y la fertilización nitrogenada en exceso es responsable del aumento de estos compuestos que dificultan la extracción de la sacarosa (García & Benito, 1996; Soler & Arroyo, 2008).

En la zona ecológica Pradera Muy Húmeda Montano, el contenido de materia orgánica de los suelos es elevado (6-7%) debido a su lenta mineralización

por las bajas temperaturas, por lo que definitivamente las cantidades de N a aplicarse a los cultivos (a la “remolacha” específicamente) son totalmente diferentes a las que se aplican en la costa o en otras regiones. Por otro lado, si bien la cantidad de nitrógeno orgánico es importante en estos suelos, la mineralización del mismo es prácticamente desconocida, por lo que podría ser que las cantidades de N disponible no sean muy abundantes, lo que hace imprescindible conocer las cantidades óptimas económicas a aplicarse.

En los países tradicionalmente “remolacheros”, la densidad de plantas/ha varía de 60 a 80 mil; habiéndose demostrado que hay una correlación positiva altamente significativa entre el número de raíces cosechadas y el rendimiento de azúcar por ha (De Leenheer & Van Ruymbeke, 1973). Dentro de este contexto, en Bélgica, por ejemplo, la densidad de la “remolacha azucarera” varía entre 70 y 75 mil plantas por hectárea, obteniéndose raíces de un promedio entre 700 y 800 g (Van Ruymbeke & De Leenheer, 1973). El equilibrio que debe buscarse es el de tener una densidad tal que permita una adecuada producción sin afectar mucho la calidad de raíces, ya que a menor densidad, raíces más grandes de menor calidad, y a mayor densidad raíces pequeñas de calidad superior. En la costa peruana, sin embargo, con densidades mucho mayores (100,000 plantas/ha) se han obtenido raíces de mayor tamaño que en Bélgica, teniendo como promedio entre 900 y 1,000 g en muchos sectores del campo, por lo que si las características ecológicas lo permiten, es posible aumentar las densidades sin sacrificar los rendimientos finales.

Con los antecedentes antes mencionados, se plantea el interrogante de que si los rendimientos de biomasa

no serán inferiores en la sierra peruana a los de los países azucareros, ya que las temperaturas son algo inferiores, las heladas se pueden presentar en etapas avanzadas del cultivo; y sobre todo, porque es bien conocido que en la zona de la puna o "jalca" la radiación ultravioleta es bastante considerable, conociéndose poco del potencial fotosintético de dicho rango de amplitud de onda (aunque se han logrado obtener cosechas de trigo exclusivamente con dicha luz). En caso de ser los rendimientos inferiores en la sierra que en la costa (es lo más probable) este efecto podría ser neutralizado al aumentar la densidad de las plantas por hectárea (lo que podría hacerse inclusive en la costa sin sacrificar los rendimientos de azúcar), siendo factible de realizarse, ya que en los costos de producción la semilla ocupa un lugar muy poco importante.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue el de conocer las dosis de nitrógeno, y las densidades de siembra a utilizarse en esta zona ecológica que podría no mostrarse apta para la "remolacha azucarera", por las condiciones climáticas.

Materiales y métodos

Para el presente trabajo de investigación se instalaron dos

experimentos con "remolacha azucarera" (Código "Remolacha" Herbario: HAO-20044), y uno con "remolacha forrajera". Con "remolacha azucarera", el primero, se trabajó con los cultivares mono germen SVPE 14-02 (híbrido desarrollado para el sur de California, que soporta bien el calor y la podredumbre radicular) y SVPE 14-03 (híbrido que se desempeña bien en condiciones de irrigaciones abundantes y es tolerante al nematodo *Heterodera sp.*), en el caserío de Huaynas, distrito de Huaso, provincia de Julcán, a 3887 msnm, a 8° 14' 33.925" S. y 78° 20' 10.364" O, con una densidad de siembra de 150 000 plantas por hectárea, y con las dosis de nitrógeno: 0, 100, y 200 kg ha⁻¹, con 12 repeticiones, aplicadas 43 días después de la siembra. La siembra directa se efectuó los días 12 y 13 de enero del 2015, al inicio de la época de lluvias fuertes. La cosecha se realizó el 16 de setiembre del 2015. Se utilizó el diseño estadístico de Bloques Completos al Azar. Los resultados de los análisis químicos de suelos, se muestran en el cuadro 1 y los de los análisis texturales en el cuadro 2.

El contenido de materia orgánica en el suelo de Huaynas es muy alto, lo cual es característico de las zonas alto andinas, principalmente del piso ecológico Pradera Muy Húmeda Montano. Por otro lado,

Cuadro 1. Análisis químicos de suelos de los campos experimentales, en su capa de 0 a 30 cm de profundidad.

| Lugar | Materia Orgánica (%) | P disponible (ppm) | K disponible (ppm) | pH 1.1 | Acidez cambiante (cmol (+)/kg S) | CE 1:1 dS m ⁻¹ |
|--------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------|----------------------------------|---------------------------|
| Huaynas | 6.6 | 9 | 94 | 5.3 | 4.3 | 0.1 |
| Chinchinvara | 3 | 7.5 | 84 | 6.25 | 2.5 | 0.05 |

Cuadro 2. Análisis de la textura de los suelos de los campos experimentales, en su capa de 0 a 30 cm de profundidad.

| Lugar | Porcentaje de partículas | | | Terxtura (USDA) |
|--------------|--------------------------|------|---------|------------------------|
| | Arena | Limo | Arcilla | |
| Huaynas | 53.7 | 30.1 | 16.2 | Franco arenosa |
| Chinchinvara | 54.2 | 22.4 | 23.4 | Franco arcillo arenosa |

el fósforo (P) disponible es medio, y el potasio (K) disponible es bajo, indicando en ambos casos, la necesidad de aplicar fertilizantes en pequeñas cantidades; sin embargo, como se está estudiando si se adaptan los cultivares de "remolacha azucarera" a la zona ecológica Pradera Muy Húmeda Montano, el factor limitante para el desarrollo del cultivo es el frío excesivo y no el déficit de algún elemento nutritivo; por esta razón no se incorporó al suelo ningún tipo de fertilizante aparte del nitrogenado (urea).

Con respecto al nivel de pH, se aprecia que se trata de un suelo fuertemente ácido, y se hizo necesario subir el nivel del mismo en media unidad, para lo que se aplicó al suelo 3 t ha⁻¹ de carbonato de calcio. El resultado de la conductividad eléctrica indica que el suelo presenta muy baja salinidad, propio de suelos de las zonas alto andinas donde las precipitaciones son abundantes, las que lavan las sales del suelo.

El segundo experimento con "remolacha azucarera", se efectuó con el cultivar mono germen SVPE 14-02 ya descrito, en el Caserío de Chinchinvara, Distrito de Huaso, Provincia de Julcán, a 3564 msnm, a 8° 13' 35.876" S. y 78° 22' 07.560" O, con una densidad de siembra de 150 000 plantas por hectárea, y con las dosis de nitrógeno: 0, 100, y 200 kg ha⁻¹, con 12 repeticiones, aplicadas 30 días después de la siembra. Se utilizó el diseño estadístico de Bloques Completos al Azar. Los resultados de los análisis químicos de suelos, se muestran en el cuadros 1, y los de los análisis texturales en el cuadro 2.

Aunque el contenido de materia orgánica en este suelo es menor que en el anterior, siempre es muy alto. El resto de características es similar a las ya descritas.

En esta ocasión no se aplicó carbonato de calcio al suelo, por no ser necesario. La siembra se efectuó el día 10 de diciembre 2014, al inicio de la época de lluvias ligeras. La cosecha se realizó el 15 de agosto del 2015.

El experimento con "remolacha forrajera", se realizó con el cultivar mono germen Enermax, en el Caserío de El Bado, Distrito de Quiruvilca, Provincia de Santiago de Chuco, a 3718 msnm, a 8° 0' 25.917" S. y 78° 10' 54.840" O. Se estudiaron las densidades de siembra de 100 000, 150 000, y 200 000 plantas por hectárea, con 9 repeticiones. Se utilizó el diseño estadístico de Bloques Completos al Azar. Se aplicó la dosis de nitrógeno de 150 kg ha⁻¹. La siembra se realizó el 15 de mayo del 2014, al término de la época de lluvias, y la cosecha el 1° de marzo del 2015, al término de la citada época. Para el riego de las parcelas experimentales se utilizó agua de filtraciones, cuya fuente se ubica a 45 m del campo; empleándose riego por aspersión en la época de estiaje (mayo a octubre), y lluvias durante el secano (diciembre a marzo).

Resultados y discusión

Huaynas

La germinación fue más uniforme en las plantas del cultivar SVPE 14-02 que en las del cultivar SVPE 14-03. Durante el primer bimestre, en la época de secano, las precipitaciones acompañadas de granizo eran abundantes; pero, a fines de marzo, a consecuencia del inicio del Fenómeno de El Niño en el Perú, éstas cesaron de golpe, cuando lo normal era que se vayan reduciendo poco a poco hasta fines de abril. Debido a esta alteración se interrumpió el ciclo vegetativo de las plantas, las raíces pivotantes en

formación, no lograron profundizar lo suficiente como para aprovechar el agua almacenada en el subsuelo, por lo que los cultivares terminaron su ciclo vegetativo con estrés hídrico, siendo las plantas del cultivar SVPE 14-03 las que se observaron más afectadas. Bajo estas condiciones, las plantas de "remolacha azucarera" de los cultivares SVPE 14-02 y SVPE 14-03 mostraron un normal desarrollo, de acuerdo a la zona ecológica, hasta los tres meses del cultivo.

En los dos cultivares estudiados, a los 44 días desde la siembra, aparte del par de hojas cotiledonales se observaba un par de hojas verdaderas ya diferenciadas y con una lámina foliar engrosada o "endurecida", característica que la FAO (2010) indica, que es señal de un nivel máximo alcanzado de resistencia a las heladas, precisando también, que este grado de "endurecimiento" solo es posible de ser logrado cuando las condiciones ambientales antecedentes han sido las adecuadas (periodos de baja temperatura). Esto explicaría la resistencia que las plantas de "remolacha azucarera" mostraron ante dos eventos climatológicos ocurridos en diferentes etapas del cultivo: El primero, ocurrido en verano (época de secano) a los 46 días desde la siembra (2 días después de la fertilización nitrogenada), llovió granizo toda la tarde y la noche, formando un colchón de granizo de 10 cm sobre el suelo, el cual tomó 3 días en derretirse por completo. El segundo, ocurrido en invierno (época de escasez) a los 187 días de la siembra, durante la madrugada se formó abundante escarcha sobre el suelo haciéndolo resbaloso; la escarcha se derritió en el transcurso de la mañana del mismo día.

Hasta la fecha de la cosecha, 246 días desde la siembra, se siguió observando el

follaje endurecido, aunque ya en menor grado, y el cultivar SVPE 14-02 (hojas y peciolo) más endurecido que el SVPE 14-03; esta pérdida de endurecimiento, según la FAO (2010) se debe a la presencia de olas de calor; las cuales en la puna son más acentuadas en la época de escasez (abril - octubre), pero solo durante el día, ya que en las noches las heladas son frecuentes.

A los 192 días desde la siembra, las plantas presentaban un follaje clorótico, hojas pequeñas, las raíces se observaban poco engrosadas y aún no estaban superpuestas sobre el suelo; por lo que se decidió aplicar un producto bioestimulante a nivel foliar: "Triggrr Trihormonal" (citoquininas, auxinas y giberelinas), con el propósito de estimular el crecimiento celular de toda la planta. Como resultado de la aplicación se observó un follaje con un verdor más acentuado, pero a nivel radicular, no se observaron mejoras; debido a que al momento de la aplicación las condiciones de las raíces no eran las adecuadas debido al estrés hídrico extremo antes descrito.

Se aplicaron en total 8 riegos por cultivar, el primer riego fue a los 180 días del cultivo, y los riegos posteriores a los 12, 7, 7, 4, 3, 6 y 14 días del riego anterior, el último riego se aplicó 2 semanas antes de la cosecha. Cada parcela experimental recibió aproximadamente 1 L de agua por semana, lo que equivale a 1 mm de lluvia. Considerando que esta lámina de riego (1 mm) en un suelo franco arenoso solo profundiza 1 cm, se puede concluir que los riegos aplicados por semana fueron totalmente deficientes para satisfacer las necesidades hídricas de las plantas, además de ser totalmente inoportunos por tardíos, por lo que se considera que el experimento no fue regado.

El cultivar SVPE 14-02 manifestó ser más resistente a las heladas y sequías, perdiéndose 6 parcelas experimentales en este cultivar, frente a las 14 parcelas experimentales perdidas en el cultivar SVPE 14-03. Debido a lo mencionado, con el cultivar SVPE 14-02, solo se logró cosechar 0.81 kg de "remolacha azucarera", que equivale a 0.2 t.ha⁻¹; y con el cultivar SVPE 14-03 solamente se cosechó 0.2 kg de "remolacha azucarera", que equivale a 0.055 t.ha⁻¹. Las plantas de "remolacha azucarera" se pesaron sin separar la raíz de la corona y de las hojas. Estos rendimientos son extremadamente bajos, y totalmente anti económicos. La raíz más grande alcanzó un tamaño de 17 cm y un peso de 44 g.planta⁻¹, y si se proyecta este rendimiento a una hectárea, equivale a una cosecha de 6.6 t de "remolacha azucarera" obtenida en la zona ecológica Pradera Muy Húmeda Montano y bajo condiciones de sequía extrema. Estos rendimientos tan bajos se deben al estrés hídrico presentado durante el ciclo vegetativo del cultivo; y que como refiere Ehlig & Lemert in FAO (2012) y Panella & Kaffka (2010), es el factor significativamente limitante de los rendimientos en la "remolacha azucarera" tanto en peso por hectárea como en contenido de azúcar (% sacarosa).

Las diferencias estadísticas obtenidas entre tratamientos, en los rendimientos de "remolacha azucarera" del cultivar SVPE 14-02 son significativas. La diferencia encontrada entre los rendimientos de los tratamientos N₁ (0 kg N.ha⁻¹) y N₂ (100 kg N.ha⁻¹) es significativa; siendo la dosis nitrogenada del tratamiento N₂ la que produjo en promedio mayores rendimientos por hectárea. Las diferencias encontradas por tratamientos, en los rendimientos de "remolacha azucarera" del cultivar SVPE 14-03 no son significativas.

Chinchinvara

A los 15 días de la siembra se observó el inicio de germinación la que fue casi uniforme en todas las parcelas. El cultivar SVPE 14-02 durante el primer mes no tuvo problemas de desarrollo. La plántula de "remolacha" no solo tuvo una germinación casi uniforme sino que creció sin problemas, sin ataques de patógenos ni insectos dañinos. Las precipitaciones que se registraron después de la siembra no fueron tan fuertes, registrándose 3 a 4 veces por semana. En la primera semana de enero se iniciaron con más frecuencia las lluvias de la temporada de secano resistiendo el cultivo las fuertes lluvias y las granizadas. Posteriormente, las fuertes lluvias alteraron el ciclo vegetativo de las plantas, las que se tornaron cloróticas y detuvieron su desarrollo debido al estrés hídrico por exceso de agua; sin embargo pasados los periodos de las fuertes precipitaciones soportaron el invierno, las heladas, y no murieron.

Durante la temporada de invierno (escasez) las plantas de "remolacha azucarera" sobrevivieron, pero empezaron a dejar de crecer y a tornarse cloróticas por la falta de agua, y las esporádicas lluvias, que se registraban dos veces al mes y con una duración de una o dos horas como máximo, eran insuficientes. Las raíces pivotantes se observaron pequeñas y poco engrosadas. Gutiérrez (2006) menciona que la "remolacha" posee un sistema radicular profundo, hasta 1-2 m, lo que le permite extraer agua de los estratos inferiores del suelo, sin embargo debido al fuerte periodo de lluvias y a la posterior sequía las plántulas de "remolacha azucarera" no pudieron desarrollar sus raíces por lo que no profundizaron en el subsuelo para aprovechar los alimentos ni el agua almacenada.

Al igual que en el experimento antes descrito, a los 180 días la planta de "remolacha azucarera" se mantenía pequeña y sin avance de crecimiento foliar ni radicular. por lo que se decidió aplicar un producto bioestimulante llamado "Triggrr Trihormonal". Previa a esta aplicación se hicieron dos riegos para una mayor asimilación de la planta. Como resultado de la aplicación se observó un follaje con un verdor más acentuado, pero a nivel radicular, no se observaron mejoras.

De las 36 parcelas experimentales tras verse afectadas por las heladas y sequías se perdieron cuatro, sobreviviendo 32, las que comprueban la posibilidad del cultivo en dicha zona ecológica.

La raíz más grande alcanzó un tamaño de 17 cm y un peso de 44 g.planta⁻¹. Si se proyecta este rendimiento a una hectárea, equivale a una cosecha de 6.6 t.

Las diferencias encontradas entre tratamientos (dosis de N), en los rendimientos de "remolacha azucarera" del cultivar SVPE 14-02 no son significativas.

El Bado

Las diferencias entre los tratamientos no son significativas en el análisis de varianza, habiendo obtenido la densidad de 100 000 plantas por hectárea 37.65 t ha⁻¹, 150 000, 46.14 t ha⁻¹, y 200 000, 62.95 t ha⁻¹, siendo los dos últimos rentables económicamente. Se aprecia claramente que a pesar de haber pasado todo el invierno y soportado en dicha época heladas casi diarias, el cultivo ha producido rendimientos adecuados debido a que se practicó el riego complementario (cuadro 3). En el citado cuadro se aprecia que en los tres experimentos, a pesar de tener diferentes épocas de siembra, una parte del cultivo se desarrolló en invierno, no habiéndose obtenido rendimientos aceptables en la "remolacha azucarera" no debido al frío, es decir, a las heladas, si no a la falta de agua en la época de escasez.

En la figura 1 se puede apreciar que el desarrollo vegetativo de la "remolacha", ya sea azucarera o forrajera, fue similar hasta los tres meses. Pasada esa edad,

Cuadro 3. Características y rendimientos de los tres experimentos con remolacha.

| Lugar | Altura (msnm) | Fecha | | Cultivares | Riego | Rendimiento t ha ⁻¹ |
|--------------|------------------|----------|----------|------------------------|----------------|-----------------------------------|
| | | Siembra | Cosecha | | | |
| Huaynas | 3887 | 13/01/15 | 16/09/15 | SVPE 14-02; SVPE 14-03 | No | < 6.6; <3.3 |
| Chinchinvara | 3564 | 10/12/14 | 15/08/15 | SVPE 14-02 | No | <6.6 |
| El Bado | 3718 | 15/05/14 | 01/03/15 | Enemax (Forrajera) | Mayo – Octubre | 38 a 63 (hojas + coronas) |

solo la forrajera continuó su crecimiento, lo que se debe a que contó con riego; por lo que se puede inferir que si los otros dos experimentos hubieran sido regados, hubieran tenido igualmente rendimientos rentables. Lo anteriormente descrito indica que se debe sembrar antes, cuando las lluvias son ligeras, o efectuar almácigos y trasplantar en la época de lluvias, o mejorar la nutrición de las plantas, para

que aumente la velocidad de desarrollo de las raíces, y puedan tomar el agua de las capas profundas del suelo.



Fig. 1. Desarrollo de la remolacha a diferentes edades, en los tres experimentos. A. Huaynas, febrero 2015 (42 días); B. Huaynas, abril 2015 (3 meses); C. Huaynas, setiembre 2015 (8 meses); D. Chinchinvara, enero 2015 (30 días) E. Chinchinvara , marzo 2015 (3 meses) ; F. Chinchinvara, agosto 2015 (8 meses); G. El Bado, agosto 2014 (3 meses); H. El Bado, agosto 2014 (3 meses); I. El Bado, marzo 2015 (10 meses).

Conclusiones

Las plantas de "remolacha azucarera" de los cultivares SVPE 14-02 y SVPE 14-03 mostraron un normal desarrollo, en la zona ecológica Pradera Muy Húmeda Montano (puna o jalca) hasta los tres meses del cultivo.

Las plantas de "remolacha azucarera" mostraron resistencia a las heladas esporádicas de la época de lluvias, y a las muy frecuentes de la época de escasez.

El cultivar SVPE 14-02 manifestó ser más resistente a las heladas y sequías que el cultivar SVPE 14-03.

Aplicar tardíamente (seis meses de la siembra) un producto bioestimulante a nivel foliar en base a citoquininas, auxinas y giberelinas, no produce mejoras a nivel radicular.

Los rendimientos obtenidos con la "remolacha azucarera" son extremadamente bajos (menos de 6.6 t ha^{-1}) y se deben al estrés hídrico presentado durante el ciclo vegetativo del cultivo.

La diferencia encontrada entre los rendimientos de los tratamientos N_1 (0 kg N.ha^{-1}) y N_2 (100 kg N.ha^{-1}) es significativa en un experimento, en el cultivar SVPE 14-02, siendo la dosis nitrogenada del tratamiento N_2 la que produjo en promedio mayores rendimientos por hectárea; en el otro las diferencias no son significativas. Las diferencias encontradas por tratamientos, en los rendimientos de "remolacha azucarera" del cultivar SVPE 14-03 no son significativas.

La "remolacha forrajera", a pesar de haber pasado todo el invierno y soportado en dicha época heladas casi diarias, ha producido rendimientos adecuados debido

a que se practicó el riego complementario.

La "remolacha forrajera" en el análisis de varianza, no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, habiendo obtenido la densidad de 100 000 plantas por hectárea 37.65 t ha^{-1} , 150 000, 46.14 t ha^{-1} , y 200 000, 62.95 t ha^{-1} , siendo los dos últimos rentables económicamente.

El desarrollo vegetativo de la "remolacha", ya sea azucarera o forrajera, fue similar hasta los tres meses. Pasada esa edad, solo la forrajera continuó su crecimiento, lo que se debe a que se le regó.

Agradecimientos

Agradecemos al Prof. André Théwis y al Sr. Dick Vermoote por haber realizado los trámites para que sea donada la semilla por la empresa Sesevanderhave para la realización de los experimentos con "remolacha azucarera", empresa a quien también se le agradece.

Contribución de los autores

Candace Rojas: Concepción, instalación, ejecución, cosecha, y análisis estadístico del experimento en Huaynas; Roxana Vásquez: Concepción, instalación, ejecución, cosecha, y análisis estadístico del experimento en Chinchinvara; Pedro Paz: Cosecha, y análisis estadístico del experimento en El Bado; Eldin Espejo: Cosecha, y ayuda en el análisis estadístico del experimento en El Bado; Sergio Valdivia: Concepción, supervisión, y corrección de la redacción del artículos científico, de los tres experimentos; Jorge Pinna: Gestión, concepción, supervisión, y redacción del artículo científico, de los tres experimentos.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Literatura citada

- Abdel-Motagally, F.M.F. & K.K. Attia** (2009). Response of sugar beet plants to nitrogen and potassium fertilization in sandy calcareous soil. *Int. J. Agric. Biol.*, 11: 695 – 700.
- Akeson, W.R.** (1981). Relationship of climate and sucrose content of sugarbeet roots. *Jour. Sug. Beet Research*, 21 (1): 27 – 40.
- Allard, F.; M. Houde; M. Kröl; A. Ivanov; N.P.A. Huner & F. Sarhan** (1998). Betaine improves freezing tolerance in wheat. *Plant Cell Physiol.*, 39(11): 1194 – 1202.
- De Leenheer, L. & M. Van Ruymbeke** (1973). Les circonstances météorologiques comme facteur de la fertilité du sol en Belgique. Leur influence sur le rendement et l'alimentation (N, P, K) de la culture betteravière. *Pédologie*, 23 (3): 147 - 176.
- EI-Sarag, E.I. & S.H. Moselhy** (2013). Response of sugar beet quantity and quality to nitrogen and potassium fertilization under sandy soils conditions. *Asian J. Crop Sci.*, 5 (3) : 295 – 303.
- FAO** (2010). Protección Contra las Heladas: Fundamentos, Práctica y Economía. Volumen 2. Serie FAO sobre el Medio Ambiente y la Gestión de los Recursos Naturales N° 10. Richard L. Snyder, J. Paulo de Melo-Abreu y Scott Matulich, Editores. 68 p.
- FAO** (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO: Riego y Drenaje N°66. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma Italia. 530 p.
- García, T.M.A. & M.A. Benito** (1996). Comparación de dos sistemas de riego: aspersión y goteo, en remolacha azucarera. *Ingeniería del Agua*, 3(4): 37 - 44.
- Gutiérrez, M.** (2006). Efecto de las plagas y enfermedades sobre el rendimiento y la calidad industrial de la remolacha azucarera de siembra otoñal: Bases para el establecimiento de una Protección Integrada. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla, España. 355 p.
- Holst, E.M. & P.R. Scott** (1970). Fertilizer results on sugarbeet in the Hereford, Texas Area. *Jour. Sug. Beet Research*, 15 (8): 661 – 664.
- Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar – IMPA** (1975). Veinticinco años de Investigación cañera en México. Serie Divulgación Técnica IMPA, Libro N° 8 México, 303 p.
- James, D.W.; D.C Kidman; W.H. Weaver & R.L. Reeder** (1970). Factors affecting chloride uptake and implications of the chloride-nitrate antagonisms in sugarbeet mineral nutrition. *Jour. Sug. Beet Research*, 15 (8): 647 – 656.
- Kaspari, P.** (2014). Growing beets in the Alaska garden. Cooperative extension service. University of Alaska, Fairbanks. 4 p.
- Loel, J. & C.M. Hoffmann** (2015). Relevance of osmotic and frost protecting compounds for the winter hardiness of autumn sown sugar beet. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201 (4):301 - 311.
- Morillo-Velarde, R.** (2013). AIMCRA. España, 18 p.
- Nelson, J.M.** (1969). Effect of row width, plant spacing, nitrogen rate and time of harvest on yield and sucrose contents of sugarbeets. *Journal of Sugar Beet Research*, 15(6): 509 - 516.
- Oficina de Evaluación de Recursos Naturales – ONERN** (1973). Inventario, Evaluación y Uso racional de los Recursos Naturales de la Costa; Cuenca del Río Chicama, Vol. 1, Lima, 502 p.
- Panella, L. & Kaffka, S.R.** (2010). Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) as a Biofuel Feedstock in the United States. University of California, Davis. Agriculture and natural resources. pp. 163 - 175.
- **Pinna C., J. & S. Valdivia V.** (2000). Inducción de la producción de semilla de remolacha azucarera en un clima cálido de días cortos. *Arnaldoa*, 7(1-2): 65 - 70.
- Reinsdorf, E. & H. J. Koch** (2013). Modeling crown temperatures of winter sugar beet and its application in risk assessment for frost killing in Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 182, 183: 21 - 30.
- Reinsdorf, E.; H. J. Koch & B. Märlander** (2013). Phenotype related differences in frost tolerance of winter sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Field Crops Research*, 151: 27 - 34.
- Reynoso C., J.; S. Valdivia V.; E. Larsen C. & J. Pinna C.** (2001). Comparativo de Cultivares de remolacha

- azucarera en suelos salinos. *Arnaldoa*, 8(1): 93 - 100.
- Scott, R.K. & P.M. Bremner** (1966). The effects on growth, development and yield of sugar beet of extension of the growth period by transplantation. *The Journal of Agricultural Science*, 66 (3): 379 - 389.
- Soler, R.J. & S.J.M. Arroyo** (2008). Indicadores del estado nutricional del cultivo en la fertilización nitrogenada de la remolacha azucarera. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad Politécnica de Madrid - España. *Tierras de Castilla y León*, 150: 1 - 4.
- Theis, T.** (1971). A food resource. In. *Advances in Sugarbeet Production; Principles and Practices*. R.T. Johnson et al. Eds., The Iowa St. Univ. Press, U.S.A., pp. 4 - 18.
- Valdivia V., S.; J. Reynoso C.; J. Pinna C. & E. Larsen C.** (2001). Efecto de las sales en la producción de la remolacha azucarera en la costa árida del Perú. *Antenor Orrego*, 10(16-17): 71 - 80.
- Valdivia V., S.; J. Pinna C. & S. Valdivia S.** (2010 a). Extracción de fósforo y potasio en un suelo aluvial salino, cultivado con remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) bajo riego. XXXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo y XIII Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. Realizado del 25 al 29 de Octubre. Mexicali, Baja California, México. pp. 861 - 866.
- Valdivia V., S.; S. Valdivia S. & J. Pinna C.** (2010 b). Ganancias y pérdidas de nitrógeno en un suelo salino bajo cultivo de remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.). XII Congreso Nacional y V Internacional de la Ciencia del Suelo. Arequipa, Perú. pp. 163 - 170.
- Valdivia V., S.; J. Pinna C. & S. Valdivia S.** (2016). Extracción de K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, y Na⁺ de suelo salino por la remolacha azucarera. XXI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Realizado del 24 al 28 de Octubre del 2016. Quito, Ecuador. pp. 760 - 764.
- Van Ruymbeke, M. & L. De Leenheer** (1973). Un avis de fumure basé sur la balance des exportations et des importations des éléments nutritifs semble valable pour les sols limoneux. *Pédologie*, 23 (3): 245 - 267.
- Viets, F.G. & L.S. Robertson** (1971). Secondary nutrients and micronutrients. In. *Advances in Sugarbeet Production; Principles and Practices*. R.T. Johnson et al. Eds. The Iowa St. Univ. Press, U.S.A., pp. 171 - 187.
- Webster, T.M.; T.L. Grey; B.T. Scully; W.C. Johnson III; R.F. Davis & T.B. Brenneman** (2016). Yield potential of spring-harvested sugar beet (*Beta vulgaris*) depends on autumn planting time. *Industrial Crops and Products*, 83: 55 - 60.
- Whiteley, E.L. & W.R. Cowley** (1969). Sugar beets in southwest Texas; Production potentials. Texas A & M University, U.S.A. 40 p.