

Efecto de la densidad de plantación sobre el rendimiento de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) regado con aguas residuales urbanas

Effect of plant population density on tuber yield of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) urban waste water irrigated

Cecilia Reborá
Horacio Lelio

Leandra Ibarguren
Luciana Gómez

Originales: Recepción: 19/04/2011 - Aceptación: 20/09/2011

RESUMEN

Helianthus tuberosus L. produce tubérculos ricos en hidratos de carbono fermentables que pueden ser usados para producir etanol. Para el destino energético el cultivo puede ser regado con aguas residuales urbanas. La densidad poblacional en un cultivo de topinambur afecta los parámetros de crecimiento y rendimiento. Se evaluó el efecto de la densidad de plantación sobre el rendimiento de tubérculos. Se compararon 6 tratamientos de densidad, combinando 2 espaciamientos entre hileras (0,70 y 0,80 m) y 3 espaciamientos entre plantas en la hilera (0,30; 0,40 y 0,50 m), generando stands desde las 25.000 a 47.600 plantas/ha. Se presentaron los mayores rendimientos con distancias entre plantas en la hilera de 0,30 ó 0,40 m; no se presentaron diferencias en respuesta a la distancia entre hileras. Los componentes del rendimiento (rendimiento de tubérculos por planta, número de tubérculos por planta y tamaño medio de los tubérculos) respondieron a cambios en la densidad generados por la distancias entre plantas y fueron indiferentes a la variación de distancia entre hileras. La altura de las plantas, el número de tallos principales, el porcentaje de MS y de SS en los tubérculos no se modificaron ante variaciones de densidad.

ABSTRACT

Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) produces tubers that can be fermentated for ethanol production. It is possible to use urban waste waters for irrigation when the crop is destined to energy purposes. Plant population density in a Jerusalem artichoke crop affects growth parameters and yield. Effect of plantation density on tuber yield was evaluated. Six density treatments were compared, combining 2 spacings between rows (0.70 and 0.80 m) and 3 spacings between plants on the row (0.30, 0.40 and 0.50 m), generating stands between 25,000 and 47,600 plants/ha. The higher yields occurred in densities generated by 0.30 and 0.40 m between plants on the row, but there were no differences for distances between rows (0.70 and 0.80 m). Yield components (tubers weight per plant, number of tubers per plant and tuber weight) changed with changes in density generated by spacings between plants on the row. Plant height, number of stems, dry matter and soluble solids in tubers did not change with changes in crop density.

Palabras clave

aguas residuales • cultivos energéticos
• topinambur • densidad de plantación
• rendimiento

Keywords

urban waste-water • energy crops •
Jerusalem artichoke • plant population
density • tuber yield

INTRODUCCIÓN

Las energías renovables se presentan como una de las alternativas para lograr un desarrollo sustentable (5, 16). Los cultivos energéticos, aquellos cuya biomasa se destina a la obtención de energía, se estudian cada vez más como alternativa al agotamiento ya sensible de energías fósiles, como el gas y el petróleo (15). El topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) produce tubérculos ricos en hidratos de carbono fermentables que pueden ser usados para producir etanol. En muchos lugares del mundo, sobre todo en regiones de clima templado y templado frío, hay gran interés por el potencial energético de esta especie (2, 3, 4, 9, 10, 17). El uso de aguas residuales urbanas se plantea como una alternativa para producir cultivos energéticos (10, 12). La mayor proporción del re-uso de aguas cloacales en el mundo ocurre en regiones áridas donde otras fuentes de agua son escasas (14). La principal desventaja que se asocia con el uso de este tipo de aguas tiene que ver con el riesgo para la salud humana de los consumidores que comen frutas y verduras irrigadas con este sistema (8). En este sentido, los cultivos energéticos tienen una ventaja comparativa, al igual que los forestales, ya que no se destinan al consumo humano directo. Existen algunas experiencias en Australia de cultivo de topinambur utilizando aguas residuales urbanas para el riego con rendimientos de tubérculos que alcanzan las 120 toneladas por hectárea (10); y también experiencias locales que indican que es factible obtener rendimientos de tubérculos superiores a los 170.000 kg/ha cuando se riega con aguas residuales urbanas plantaciones de topinambur de una densidad de 25.000 plantas por hectárea en Tunuyán, Mendoza (7). La densidad poblacional en un cultivo de topinambur afecta los parámetros de crecimiento y rendimiento. Los valores convencionales varían entre 3 a 4 plantas/m² (4, 6).

La hipótesis planteada en este trabajo es la siguiente: es factible aumentar el rendimiento de tubérculos de topinambur por unidad de superficie cuando éste se planta con una densidad mayor a las 25.000 plantas por ha (0,80 x 0,50 m), y es regado con agua residual urbana.

Objetivos

- Determinar la densidad de plantación (distancia entre hileras y distancia entre plantas) que permite obtener el mayor rendimiento de tubérculos de topinambur por ha, regado con aguas residuales urbanas y cultivado en Tunuyán, Mendoza.
- Identificar el efecto de la densidad de plantación (distancia entre hileras y distancia entre plantas) sobre los componentes del rendimiento del cultivo (kg de tubérculos por planta, número de tubérculos por planta, tamaño promedio de los tubérculos) y aspectos morfológicos (altura de plantas, número de tallos principales).

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia de campo se llevó a cabo en tierras de Obras Sanitarias Tunuyán, contiguas a la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de la localidad de igual nombre; 33°32'89" S y 69°00'80" O.

Las parcelas de topinambur se plantaron en agosto de 2009. Se utilizó la variedad "R", de tubérculos rojos y alto potencial de rendimiento (11). Los tratamientos de densidad resultaron de distintas combinaciones de distancia entre hileras de plantación (0,70 y 0,80 m) y de plantas en la hilera (0,30; 0,40 y 0,50 m) tal como se indica a continuación:

- * 0,80 m x 0,50 m, 25.000 pl/ha
- * 0,80 m x 0,40 m, 31.250 pl/ha
- * 0,80 m x 0,30 m, 41.625 pl/ha
- * 0,70 m x 0,50 m, 28.600 pl/ha
- * 0,70 m x 0,40 m, 35.750 pl/ha
- * 0,70 m x 0,30 m, 47.619 pl/ha

Cada parcela estuvo formada por 4 hileras de 12 plantas cada una, con tres repeticiones. El peso de los tubérculos "semilla" osciló en los 50 g. La profundidad de plantación fue de 0,10 m. Se realizó control manual de malezas en estadios tempranos de desarrollo del cultivo. Se regó por surcos con una frecuencia semanal. Se utilizó agua residual urbana para el riego. La misma se trata en cuatro lagunas de estabilización en serie, y desde la última es conducida hasta las parcelas experimentales. Las características del agua se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Caracterización del agua residual urbana utilizada para el riego.

Table 1. Irrigation urban waste water characterization.

Determinación	Valor	Método usado
Conductividad eléctrica (dS/M)	1,06	Conductimetría
Nitrógeno total (mg/l)	27,6	Mét. Kjeldahl
Nitrógeno mineral, NH ₄ + NO ₃ (mg/l)	14,3	Mét. Devarda
Fósforo, P (mg/l)	11,60	Colorimetría, SVM
Fósforo, PO ₄ ⁻³ (mg/l)	35,8	Colorimetría, SVM
Potasio, K (mg/l)	20	Fotometría de llama
Potasio, K ₂ O(mg/l)	24	Fotometría de llama
Materia orgánica(mg/l)	231	DQO por titulación volumétrica

En junio de 2010 se cosechó, se determinó el rendimiento de tubérculos por hectárea, se cuantificaron los principales componentes del rendimiento (rendimiento de tubérculos por planta, número de tubérculos por planta, peso promedio de los tubérculos), y se midieron aspectos morfológicos de las plantas de cada tratamiento de densidad (altura y número de tallos principales). En laboratorio se determinó porcentaje de materia seca de los tubérculos y porcentaje de sólidos solubles en los mismos, por refractometría, sobre un total de 10 tubérculos por parcela experimental.

Los datos obtenidos se analizaron con análisis de varianza correspondiendo a un diseño factorial 2 x 3; dos distancias entre hileras de plantación (0,70 y 0,80 m) y 3 distancias entre plantas en la hilera (0,30; 0,40 y 0,50 m). En las variables discretas (número de tubérculos por planta y número de tallos por planta) los datos se transformaron con logaritmo natural para cumplir con los supuestos del análisis de varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de tubérculos

Las diferencias de rendimiento respondieron a la distancia entre plantas en la hilera y no se modificaron en relación con la distancia entre hileras; no existió interacción entre ambos factores (tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza del rendimiento de tubérculos; diseño factorial de 2 factores: distancia entre hileras de plantación y distancia entre plantas en la hilera.

Table 2. Variance analysis of tubers yield; factorial design of 2 factors: plantation rows distance and plants distance inside the row.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
<i>Efectos principales</i>					
Dist. hileras (A)	1,820	1	1,820	3,89	0,0722
Dist. plantas (B)	6,085	2	3,042	6,50	0,0123 *
<i>Interacción</i>					
AxB	1,140	2	5,689	1,21	0,3309
Residual	5,621	12	4,684		

Efecto significativo con $p < 0,05$.

Los mayores rendimientos se obtuvieron cuando la distancia entre plantas en la hilera fue de 0,30 ó 0,40 m (tabla 3).

Tabla 3. Rendimiento de tubérculos en función de la distancia entre plantas en la hilera.

Table 3. Tuber yield as a function of distance between plants in the row.

Distancia entre plantas (m)	Rendimiento de tubérculos (kg/ha)
0,30	269.492 a
0,40	278.789 a
0,50	235.974 b

Letras distintas indican diferencias significativas, $\alpha = 0,05$.

Componentes del rendimiento

El rendimiento de tubérculos por planta presentó diferencias significativas a la distancia entre plantas ($p = 0,00001$) y no hubo diferencias significativas para la distancia entre hileras ($p = 0,1886$). No se presentó interacción entre factores ($p = 0,4126$). El menor rendimiento por planta se obtuvo con la distancia de 0,30 m; los distanciamientos entre plantas de 0,40 y 0,50 m no generaron diferencias de rendimiento (tabla 4, pág. 87).

Tabla 4. Rendimiento de tubérculos por planta (kg/planta) en respuesta al distanciamiento entre plantas.

Table 4. Tuber yield per plant (kg/plant) for different distances between plants.

Distancia entre plantas (m)	Rendimiento de tubérculos (kg/planta)
0,30	6,06 b
0,40	8,32 a
0,50	8,81 a

Letras distintas indican diferencias significativas, $\alpha = 0,05$.

El número de tubérculos por planta presentó diferencias significativas a la distancia entre plantas ($p = 0,0349$) y no hubo diferencias significativas para la distancia entre hileras ($p = 0,6296$). No se presentó interacción entre factores ($p = 0,5229$). La menor cantidad de tubérculos por planta se obtuvo con la distancia de 0,30 m; los distanciamientos entre plantas de 0,40 y 0,50 m no generaron diferencias en el número de tubérculos por planta (tabla 5).

Tabla 5. Número de tubérculos por planta en respuesta al distanciamiento entre plantas en la hilera.

Table 5. Tubers number per plant in response to distance between plants in the row.

Distancia entre plantas (m)	Número de tubérculos
0,30	80,53 b
0,40	89,81 a
0,50	91,27 a

Letras distintas indican diferencias significativas, $\alpha = 0,05$.

El peso promedio de los tubérculos varió significativamente en respuesta a la distancia entre plantas en la hilera ($p = 0,0001$) y no presentó cambios ante variación de la distancia entre hileras ($p = 0,4215$). No se presentó interacción entre distancia entre hileras y distancia entre plantas ($p = 0,3970$). El menor peso promedio de tubérculos se obtuvo con la distancia de 0,30 m; los distanciamientos entre plantas de 0,40 y 0,50 m no generaron diferencias en el peso promedio de los tubérculos (tabla 6).

Tabla 6. Peso promedio de los tubérculos en respuesta al distanciamiento entre plantas.

Table 6. Tubers average weight in response to distance between plants.

Distancia entre plantas (m)	Peso promedio de tubérculos (g)
0,30	75,54 b
0,40	92,89 a
0,50	96,65 a

Letras distintas indican diferencias significativas, $\alpha = 0,05$.

Los menores rendimientos por planta y el menor tamaño de tubérculos en los tratamientos de menor distanciamiento entre plantas fueron compensados por la mayor cantidad de plantas por unidad de superficie, de manera que no se comprometió el rendimiento de tubérculos por hectárea. Estos resultados concuerdan con la tendencia indicada en el trabajo de Berenji y Kišgeci en 1988 (1).

Aspectos morfológicos

La altura de las plantas no presentó diferencias en respuesta a las variaciones de distancia entre hileras ($p = 0,4834$) ni en respuesta a variaciones de distancia entre plantas ($p = 0,0731$). Tampoco hubo interacción entre estos factores ($p = 0,0757$).

El número de tallos por planta no presentó diferencias significativas para variación de distancia entre hileras ($p = 0,5269$) y tampoco para variación de distancia entre plantas ($p = 0,4503$). No existió interacción entre estos factores ($p = 0,2482$).

Los resultados de ambas variables se presentan en la tabla 7. Kays y Nottingham (6) señalan que la densidad de población y las condiciones ambientales y de manejo del cultivo pueden tener efecto sobre la altura de las plantas. Sin embargo, el contraste entre densidades planteadas en esta experiencia no generó diferencias significativas.

Tabla 7. Altura de plantas (m) y número de tallos principales en los distintos tratamientos de densidad de plantación de topinambur.

Table 7. Plant height (m) and number of stems of different treatments of Jerusalem artichoke planting densities

Densidad de plantación	Altura de plantas (m)	Nº de tallos/planta
0,80 m x 0,50 m 25.000 pl/ha	3,06 ± 0,05 a	2,2 ± 0,61 a
0,80 m x 0,40 m 31.250 pl/ha	3,09 ± 0,01 a	2,52 ± 0,21 a
0,80 m x 0,30 m 41.625 pl/ha	3,07 ± 0,32 a	2,53 ± 0,36 a
0,70 m x 0,50 m 28.600 pl/ha	3,23 ± 0,23 a	2,38 ± 0,18 a
0,70 m x 0,40 m 35.750 pl/ha	3,20 ± 0,22 a	2,5 ± 0,13 a
0,70 m x 0,30 m 47.619 pl/ha	2,51 ± 0,49 a	2,07 ± 0,21 a

Letras distintas indican diferencias significativas, $\alpha = 0,05$.

Contenido de materia seca (MS) y sólidos solubles (SS) en los tubérculos

El contenido de materia seca y el contenido de sólidos solubles en los tubérculos no manifestaron diferencias significativas en respuesta a variaciones de distancia entre hileras ($p = 0,5119$ y $p = 0,1910$, respectivamente) como así tampoco para variaciones de distancia entre plantas ($p = 0,2950$ y $p = 0,4516$, respectivamente). El porcentaje de MS varió entre 18, 15 y 21, 10 y el porcentaje de SS entre 14,33 y 17,50 (tabla 8, pág. 89). Esos valores de materia seca en tubérculos están dentro del rango indicado por otros autores (6, 13) y el porcentaje de sólidos solubles dentro del rango de 13,69 a 22,94% indicado por Terzic y Atlagic (18).

Tabla 8. Porcentaje de materia seca (MS) y porcentaje de sólidos solubles (SS) en tubérculos de topinambur en distintos tratamientos de densidad de plantación.

Table 8. Dry matter and soluble solid content in Jerusalem artichoke tubbers of different planting densities treatments.

Densidad de plantación	MS (%)	SS (%)
0,80 m x 0,50 m 25.000 pl/ha	20,51 ± 1,76 a	15,53 ± 1,83 a
0,80 m x 0,40 m 31.250 pl/ha	18,15 ± 2,33 a	16,16 ± 2,59 a
0,80 m x 0,30 m 41.625 pl/ha	20,59 ± 1,61 a	14,32 ± 0,53 a
0,70 m x 0,50 m 28.600 pl/ha	19,19 ± 2,08 a	15,45 ± 2,72 a
0,70 m x 0,40 m 35.750 pl/ha	20,51 ± 0,54 a	17,50 ± 1,95 a
0,70 m x 0,30 m 47.619 pl/ha	21,10 ± 0,17 a	16,92 ± 1,24 a

Letras distintas indican diferencias significativas, $\alpha = 0,05$.

CONCLUSIONES

Es factible obtener mayor rendimiento de tubérculos de topinambur cuando se aumenta la densidad respecto de 25.000 plantas/ha (0,80 x 0,50 m).

Los mayores rendimientos se evidencian cuando se aumenta la densidad por disminución de la distancia entre plantas en la hilera (0,30 ó 0,40 m) independientemente de la distancia entre las mismas (0,70 a 0,80 m).

Los componentes del rendimiento (rendimiento de tubérculos por planta, número de tubérculos por planta y tamaño medio de los tubérculos), respondieron a cambios en la densidad generados por la distancias entre plantas y fueron indiferentes a la variación de distancia entre hileras.

Variaciones en los factores que determinan la densidad (distancia entre hileras y distancias entre plantas) no modificaron la altura de las plantas, el número de tallos principales, ni el porcentaje de MS y de SS en los tubérculos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Berenji, J. B.; Kišgeci, J. 1988. Plant density experiments with Jerusalem artichoke. EEC-DGXII 2nd Workshop on Jerusalem artichoke. Rennes, str. 9-12.
2. Berenji, J.; Sikora, V. 2001. Variability and stability of tuber yield of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Helia*, 24: 25-32.
3. Caserta, G.; Bartolelli, V.; Mutinati, G. 1995. Herbaceous energy crops: a general survey and a microeconomic analysis. *Biomass and bioenergy*, 9(1/5): 45-52.

4. Denoroy, P. 1996. The crop physiology of *Helianthus tuberosus* L.: a model orientated view. *Biomass and bioenergy*, 11(1): 11-32.
5. Goldemberg, J. 2007. Etanol for a sustainable energy future. *Science*, 315(5813): 801-804.
6. Kays, S. J.; Nottingham, S. F. 2008. *Biology and chemistry of Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.)*. CRC Press. EE. UU. 478 p.
7. Lelio, H.; Rebora, C.; Gómez, L. 2009. Potencial de obtención de bioetanol a partir de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) regado con aguas residuales urbanas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo*. 41(1): 123-133.
8. Linklater, L. 2005. Global approaches to urban wastewater use in irrigated agriculture. In: http://www.idrc.ca/en/ev-82222-201-1-DO_TOPIC.html
9. Losavio, N.; Lamascese, N.; Vonella, A. V. 1997. Water requirements and nitrogen fertilization in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) grown under Mediterranean conditions. *Acta Hort.* 449(1): 205-209.
10. Parameswaran, M. 1999. Urban wastewater use in plant biomass production. *Resources, Conservation and Recycling*, 27: 39-56.
11. Rebora, C. 2008. Caracterización de germoplasma de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) por aptitud agronómica e industrial. Tesis de Maestría en Horticultura. En: <http://bdigital.uncu.edu.ar/fichas.php?idobjeto=2980>
12. Rebora, C.; Lelio, H.; Gómez, L.; Ibarguren, L. 2011. Waste water use in energy crops production. In: *Waste water: treatment and reutilization*. Croacia. p. 361-374.
13. Reust, W.; Dutoit, J. P. 1992. Renewable raw material and alternative crops: yield potential of Jerusalem artichoke, sweet sorghum and a source. *Landwirtschaft-Schweiz*, 5 (10): 509-516.
14. Scout, C. A.; Zarazúa, J. A.; Levine, G. 2000. Urban waste water reuse for crop production in the water- short Guanajuato River Basin. México. in: <http://www.iwmi.cgiar.org/pubs/PUB041/report41.pdf>
15. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación (SAGPyA). 2006. En: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/biodiesel/index.php>
16. Stephanopoulos, G. 2007. Challenges in engineering microbes for biofuels production. *Science*, 315(5813): 804-807.
17. Swanton, 1994. Jerusalem artichoke. In: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/94-077.htm>
18. Terzic, S.; Atlagic, J. 2009. Nitrogen and sugar content variability in tubers of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Genetika*, 41(3,289): 290-295.

Agradecimientos

A la Empresa Obras Sanitarias Mendoza S. A. Delegación Zona Centro, en especial a su personal: Héctor Arcidiagano, Gustavo Roccasalvo y Jesús de Arrascaeta.

A la Municipalidad de Tunuyán, al Sr. Intendente Dr. Eduardo T. Giner y a sus colaboradores: Pedro Fernández, Omar Martínez, Dr. Jorge Daruich, José Serrani, Luis A. Magaña, José Salatino y a Oscar C. Escalante y su equipo de colaboradores, sin cuya ayuda, dedicación y compromiso no hubiera sido posible realizar esta investigación.