

Rev. FCA UNCuyo. Tomo XLI. N° 1. Año 2009. 123-133.

Potencial de obtención de bioetanol a partir de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) regado con aguas residuales urbanas

Ethanol potential production from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) irrigated with urban waste water

Horacio Lelio
Cecilia Reborá
Luciana Gómez

Originales: Recepción: 06/03/2009 - Aceptación: 07/05/2009

RESUMEN

Helianthus tuberosus L. presenta potencial para producir etanol, sustituto de la nafta, y que deberá incorporarse a la misma en un 5% a partir del 2010 en Argentina. Hay antecedentes que señalan que a partir de 50 toneladas de tubérculos pueden obtenerse 4500 l de etanol. En este trabajo se comparó el rendimiento de dos variedades de topinambur regado con agua residual urbana o cloacal (AC) y agua subterránea (AS). El ensayo se realizó en la planta de tratamiento de agua cloacal de Obras Sanitarias Mendoza en el Departamento Tunuyán (33°32'89" S y 69°00'80" O), Mendoza, Argentina. El potencial para producir bioetanol se estimó a partir de la cantidad de hidratos de carbono fermentables en los tubérculos. El rendimiento de tubérculos presentó diferencias entre los tratamientos de riego, siendo de 177750 kg/ha en AC y de 144000 kg/ha en AS. La estimación del potencial para producir etanol generó un valor de 15000 l de alcohol en las parcelas regadas con AC y 13000 l en las regadas con AS. Para obtener 1 l de alcohol a partir de los tubérculos serían necesarios alrededor de 11 kg, relacionado con un valor de sólidos solubles de 16% en los mismos.

Palabras clave

topinambur • agua residual urbana • rendimiento • etanol • biocombustibles

ABSTRACT

Helianthus tuberosus L. is a potentially useful crop for bioethanol production, which will be needed to add to gasoline used in Argentina since 2010. Some studies indicate that 4500 l of ethanol can be produced from 50 tons of tubers. In this work we compared yield of two Jerusalem artichoke cultivars using two types of irrigation: urban waste water (UWW) and ground water (GW). The research was conducted in the Urban Waste Water Treatment Plant of Obras Sanitarias Mendoza in Tunuyán (33°32'89" S and 69°00'80" W). Ethanol potential production was estimated from the amount of fermentable carbohydrates in the tubers. Tuber yield showed differences between type of water treatment, being 177750 kg/ha in UWW and 144000 kg/ha in GW. The potential to produce ethanol was 15000 l in plots irrigated with UWW and 13000 l in the GW irrigated. To produce 1 l of ethanol from tubers, 11 kg will be needed, considering that soluble solids in tubers were about 16%.

Keywords

Jerusalem artichoke • urban waste water • yield • ethanol • biofuels

Cát. de Agricultura Especial. Dpto. de Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Alte. Brown 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB.
hlelio@fca.uncu.edu.ar

INTRODUCCIÓN

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 (17). Argentina no escapa a esta realidad mundial, y en la Ley Nacional 26093, sobre biocombustibles, se establece que para el 2010 la nafta y el gasoil deberán ser mezclados con no menos del 5% de alcohol y biodiesel, respectivamente. Dichos biocombustibles son los más conocidos y usados a nivel mundial. El etanol se utiliza como aditivo o sustituto de las naftas, y el biodiesel, sólo o combinado con gasoil, para motores diesel. El primero se obtiene de la fermentación de granos amiláceos -como el maíz-, de la caña de azúcar o de órganos de reserva ricos en hidratos de carbono (topinambur, remolacha azucarera, entre otros). El biodiesel proviene de los aceites vegetales, a través de un proceso químico denominado "transesterificación" (9).

El encarecimiento de los combustibles de origen fósil ha impulsado la investigación y el uso de los biocombustibles que se tornan cada día más competitivos. Y además, las energías renovables se presentan como una de las alternativas para lograr un desarrollo sustentable (8, 18).

En la actualidad el bioetanol es, con mucha diferencia, el biocombustible más utilizado. En 2004 se produjeron en el mundo alrededor de 30000 millones de litros de bioetanol, lo que representa el 2% del consumo mundial de petróleo. En Argentina se han realizado estimaciones que indican que el consumo proyectado de nafta para el 2010 será de 4000 millones de litros, y que con la implementación del corte del 5% obligatorio, la producción necesaria de bioetanol será de 200 millones de litros (16).

La caña de azúcar es la principal materia prima para obtener bioetanol en los países de clima cálido; en Europa se emplea remolacha azucarera. Los cereales (maíz en Estados Unidos y trigo y cebada en Europa) son las materias primas para el etanol de almidón. El precio de las materias primas es regido por el mercado alimentario, su destino tradicional. Para las necesidades del mercado de la energía deberían desarrollarse nuevos cultivos y/o en nuevos contextos agroecológicos que permitan liberarse de las fluctuaciones que suelen caracterizar los cultivos destinados a la alimentación, tanto humana como animal. En este sentido, se están investigando otras especies como el topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) y el sorgo azucarado (*Sorghum bicolor* L.). Estos cultivos permitirían emplear los tallos secos (del topinambur) o el bagazo (del sorgo) para la generación del vapor y la electricidad necesarios en el proceso de fabricación de etanol (1). Numerosos trabajos señalan el potencial del topinambur para producir bioetanol (2, 10, 11, 12). Tiene ventajas sobre otros cultivos, principalmente su alto rendimiento de biomasa; experiencias en Australia indican rendimientos de 120 t de tubérculos/ha cuando se utilizan aguas residuales urbanas para el riego (12). El uso de este tipo de agua en agricultura permitiría ampliar el área cultivable en el oasis cuyano o en los oasis con clima similar, ya que sin duda el recurso hídrico es un recurso limitado (7).

Hay antecedentes que señalan que a partir de 50 t de tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. se obtienen 4500 l de etanol (15); otras investigaciones en España (6) indican que en términos generales se puede obtener 1 l de etanol a partir de 12 kg de tubérculos de topinambur.

Objetivo

Comparar el rendimiento de tubérculos de dos variedades de topinambur regadas con agua cloacal y agua subterránea en las condiciones de cultivo de Tunuyán, Mendoza, Argentina, y su potencial para producir bioetanol a partir de los hidratos de carbono de sus tubérculos.

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, 69°00'80" O, 859 m snm. Esta planta de tratamiento de aguas procesa un caudal promedio en el año de 300 m³/ hora. La precipitación promedio anual del lugar es de 200 mm.

En la tabla 1 se caracteriza el suelo en que se condujeron las parcelas experimentales: suelo "pre-cultivo" y el mismo suelo una vez cosechado el cultivo (suelo "post-cultivo"), para los dos tipos de agua de riego (agua cloacal, AC y agua subterránea, AS).

Tabla 1. Caracterización inicial y final del suelo.

Table 1. Initial and final soil characterization.

Variable	Suelo pre-cultivo		Suelo post-cultivo AS		Suelo post-cultivo AC	
	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30
Profundidad (cm)	0-10	10-30	0-10	10-30	0-10	10-30
pH	6,63	6,76	6,97	7,05	7,01	7,14
Conductividad eléctrica (dS/M)	19,80	12,20	4,35	4,48	4,12	4,49
Porcentaje de saturación (g%g)	35,0	49,8	36,7	45,7	45,9	37,3
Volumen de sedimentación (ml%g)	116	124	108	112	112	108
Nitrógeno total (mg/kg)	5570	3780	4690	4200	4370	4960
Fósforo: ext. Carb (1:10) (mg/kg)	26,2	13,3	19,3	12,5	16,1	11,8
Potasio intercambiable (mg/kg)	1140	740	530	470	450	430
Materia orgánica (g%g)	9,2	6,2	7,4	6,3	7,5	8,3
Relación C/N	9,6	9,5	9,2	8,8	10	9,7

Se diseñó un experimento factorial con dos factores de variación:

Tipo de agua de riego (agua cloacal, AC y agua subterránea, AS). La primera conducida desde las piletas de tratamiento hasta las parcelas experimentales y la segunda provista en camión tanque por la Municipalidad de Tunuyán, obtenida de un pozo surgente (tabla 2, pág. 126).

Tabla 2. Caracterización de las aguas de riego utilizadas: agua subterránea (AS) y agua cloacal (AC).

Table 2. Irrigation waters characterization: ground water (GW) and urban waste water (UWW).

Determinación	AS	AC	Método usado
Conductividad eléctrica (dS/M)	0,42	1,10	Conductimetría
Nitrógeno total (mg/l)	5,6	28,7	Mét. Kjeldahl
Nitrógeno mineral, $\text{NH}_4 + \text{NO}_3$ (mg/l)	1,05	14,7	Mét. Devarda
Fósforo, P (mg/l)	0,13	11,51	Colorimetría, SVM
Fósforo, PO_4^{-3} (mg/l)	0,39	35,3	Colorimetría, SVM
Potasio, K (mg/l)	11	20	Fotometría de llama
Potasio, K_2O (mg/l)	13,2	24	Fotometría de llama
Materia orgánica(mg/l)	73,4	236	DQO por titulación volumétrica

Varietades de topinambur: Rojo (R) y Blanco (B). Aunque en Argentina no hay variedades registradas, las variedades probadas en esta experiencia fueron identificadas y caracterizadas en un trabajo previo (14).

El ensayo experimental tuvo un diseño de parcelas al azar, con tres repeticiones por tratamiento (AC-R, AC-B, AS-R, AS-B), resultando un total de 12 parcelas experimentales. La plantación se realizó entre el 8 y 10 de agosto de 2007. La densidad de plantación elegida fue de 0,8 m entre hileras y 0,5 m entre plantas en cada hilera, lo que representa una densidad de 25000 plantas/ha. El peso de los tubérculos "semilla" osciló en los 50 g. La profundidad de plantación fue de 0,1 m. Cada parcela estuvo formada por 4 hileras de 12 plantas cada una. Se realizó control manual de malezas en estadios tempranos de desarrollo del cultivo. Se regó por surcos, la frecuencia de riegos fue semanal. Se aplicaron en total 35 riegos, que equivaldría a un volumen de agua aplicado por ha de 7675 m³ o una lámina de 767,5 mm.

Los primeros días de junio de 2008 se cosecharon las parcelas experimentales, se realizó cosecha individual de las plantas. En cada una se determinó:

- Rendimiento de tubérculos por planta (kg)
- Número de tubérculos por planta
- Altura (m)
- Número de tallos principales
- Rendimiento de biomasa aérea seca (kg). Sobre una muestra de biomasa aérea se determinó el calor de combustión, por Norma ASTM D 240 con bomba calorimétrica.

En laboratorio se estimó el potencial para producir bioetanol a partir de los tubérculos, teniendo en cuenta la siguiente relación: por cada kg de hidratos de carbono fermentable se obtiene 0,5563 l de etanol (5). Para determinar la cantidad de hidratos de carbono fermentables se utilizaron los datos de rendimiento de tubérculos (kg/ha) y sólidos solubles (%) de cada combinación de tipo de agua de riego y cada variedad. Del producto del valor de rendimiento por la proporción de sólidos solubles, se obtuvieron los kg de hidratos de carbono fermentables para cada tratamiento.

La determinación de sólidos solubles en los tubérculos se realizó con un refractómetro de mano (ATAGO, Brix 0-32%). La determinación se hizo sobre 30 tubérculos por tratamiento. Para extraer la muestra se cortó un trozo de cada tubérculo y se prensó en un prensa ajos hasta obtener el jugo necesario para la determinación, el cual se recibía sobre el refractómetro. La determinación del % de sólidos solubles se realizó mediante lectura directa de la escala del refractómetro.

Con la estimación de rendimiento de alcohol (l/ha) y el rendimiento de tubérculos (kg/ha) se calculó la cantidad de kg de tubérculos necesarios para obtener 1 l de etanol. Se realizó análisis de varianza para comparar las variables analizadas. Las medias se compararon con test de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de tubérculos

Se presentaron diferencias significativas entre tipo de agua de riego y entre variedades (tabla 3).

Tabla 3. Rendimiento de tubérculos por planta (kg) para cada tipo de agua de riego (agua cloacal AC y agua subterránea AS) y para cada variedad (R y B).

Table 3. Tuber yield per plant (kg) for each irrigation treatment (ground water GW and urban waste water UWW) and for two varieties (R and W).

Variedad	AC	AS
R	8,25 ± 1,47a	6,16 ± 2,44 a
B	5,98 ± 2,69 b	5,37 ± 1,91 b
Promedio	7,11 ± 2,45 A	5,76 ± 2,22 B

Letras distintas indican diferencias significativas, minúsculas dentro de cada columna y mayúsculas entre columnas. $\alpha = 0,05$.

Los rendimientos individuales multiplicados por 25000 plantas/ha equivalen a los rendimientos que pueden apreciarse en la tabla 4.

Tabla 4. Rendimiento de tubérculos por ha (kg) para cada tipo de agua de riego (agua cloacal AC y agua subterránea AS) y para cada variedad (R y B).

Table 4. Tuber yield per ha (kg) for each irrigation treatment (ground water GW and urban waste water UWW) and for two varieties (R and W)..

Variedad	AC	AS
R	206250	154000
B	149500	134250
Promedio	177750	144000

Para ambas variedades el rendimiento de tubérculos por ha fue mayor cuando el cultivo se regó con AC que cuando se utilizó AS. La variedad R rindió más que B en los dos tratamientos de riego. Los rendimientos obtenidos son sensiblemente mayores

que los indicados en la bibliografía, ya que se cita un rendimiento de 120000 kg/ha de tubérculos de topinambur en experiencias en Australia utilizando agua residual urbana para el riego (12).

Número de tubérculos por planta

La cantidad de tubérculos producidos por planta presentó diferencias significativas entre tipo de agua de riego ($p = 0,00001$) y entre variedades ($p = 0,00001$). Las plantas regadas con AC resultaron con mayor cantidad de tubérculos que las plantas regadas con AS. Además las plantas B tuvieron más tubérculos que las plantas R (tabla 5).

Tabla 5. Número de tubérculos por planta para cada tipo de agua de riego (agua cloacal AC y agua subterránea AS) y para cada variedad (R y B).

Table 5. Number of tubers per plant for each irrigation treatment (ground water GW and urban waste water UWW) and for two varieties (R and W).

Variedad	AC	AS
R	94,27 ± 32,46 b	66,08 ± 20,62 b
B	122,53 ± 48,6 a	113,08 ± 34,38 a
Promedio	108,4 ± 43,71 A	89,58 ± 36,79 B

Letras distintas indican diferencias significativas, minúsculas dentro de cada columna y mayúsculas entre columnas. $\alpha = 0,05$.

El tamaño promedio de los tubérculos se calculó a partir de los resultados de rendimiento de tubérculos por planta y el número de tubérculos por planta. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Tamaño promedio de los tubérculos (g) para cada tipo de agua de riego (agua cloacal AC y agua subterránea AS) y para cada variedad (R y B).

Table 6. Tuber size (g) for each irrigation treatment (ground water GW and urban waste water UWW) and for two varieties (R and W).

Variedad	AC	AS
R	87,5	93,2
B	48,8	47,4
Promedio	68,15	70,3

No se presentaron diferencias importantes en el tamaño promedio de tubérculos atribuibles al tipo de agua de riego. En cambio, sí hubo diferencias varietales para este carácter: la variedad R presentó tubérculos más grandes que la variedad B. Estos resultados coinciden con los obtenidos en estudios anteriores, en los cuales R presentaba un tamaño promedio de tubérculos significativamente mayor que B, siendo de 81,66 y 62 g, respectivamente (14). Los valores calculados están comprendidos dentro del rango de 45 a 100 g planteado por Berenji & Sikora (2), en un estudio en el cual compararon este parámetro entre 20 cultivares, y son mayores que los pesos promedio obtenidos en pruebas con otros cultivares en Egipto, donde los pesos variaron desde 20 a 60 g (13).

Altura de las plantas

Difirió significativamente entre tipos de agua de riego ($p = 0,00001$), pero no entre variedades ($p = 0,1257$). La interacción tipo de agua y variedad resultó significativa, ya que mientras la altura promedio de B no varió con el tipo de agua, para R las plantas fueron significativamente más altas cuando fueron regadas con agua cloacal. Los resultados de cada tratamiento se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Altura promedio de plantas (m) para cada tipo de agua de riego (agua cloacal AC y agua subterránea AS) y para cada variedad (R y B).

Table 7. Plant height (m) for each irrigation treatment (ground water GW and urban waste water UWW) and for two varieties (R and W).

Variedad	AC	AS
R	3,07 ± 0,34 a	2,56 ± 0,41 a
B	2,87 ± 0,43 a	2,86 ± 0,26 a
Promedio	2,97 ± 0,40 A	2,71 ± 0,37 B

Letras distintas indican diferencias significativas, minúsculas dentro de cada columna y mayúsculas entre columnas. $\alpha = 0,05$.

Otros autores han comparado altura de cultivares en distintos ambientes, encontrando alturas que variaron entre 1,18 m a 2,41 m, para las distintas combinaciones de cultivar por ambiente (13), todas ellas menores que los valores registrados en los tratamientos comparados en este trabajo.

Número de tallos principales

Se encontraron diferencias significativas entre tipo de agua de riego ($p = 0,0013$) pero no entre variedades ($p = 0,5207$), tal como se consigna en la tabla 8. Las plantas regadas con AC tuvieron más tallos principales que las regadas con AS.

Tabla 8. Número de tallos principales por planta para cada tipo de agua de riego (agua cloacal AC y agua subterránea AS) y para cada variedad (R y B).

Table 8. Number of main stems per plant for each irrigation treatment (ground water GW and urban waste water UWW) and for two varieties (R and W).

Variedad	AC	AS
R	1,47 + 0,60 a	1,39 + 0,95 a
B	1,62 + 0,66 a	1,32 + 0,52 a
Promedio	1,54 + 0,64 A	1,35 + 0,76 B

Letras distintas indican diferencias significativas, minúsculas dentro de cada columna y mayúsculas entre columnas. $\alpha = 0,05$.

Biomasa aérea por planta (kg)

La biomasa aérea presentó diferencias entre tratamientos de agua de riego ($p = 0,00001$) y entre variedades ($p = 0,0125$). El peso de la rama fue mayor en las parcelas regadas con AC y en la variedad R. Los resultados se presentan en la tabla 9 (pág. 130).

Tabla 9. Biomasa aérea seca por planta para cada tipo de agua de riego (agua cloacal AC y agua subterránea AS) y para cada variedad (R y B).

Table 9. Aerial dry biomass per plant (kg) for each irrigation treatment (ground water GW and urban waste water UWW) and for two varieties (R and W).

Variedad	AC	AS
R	1,02 ± 0,21 a	0,68 ± 0,37 a
B	0,83 ± 0,43 b	0,73 ± 0,29 a
Promedio	0,93 ± 0,35 A	0,71 ± 0,33 B

Letras distintas indican diferencias significativas, minúsculas dentro de cada columna y mayúsculas entre columnas. $\alpha = 0,05$.

Estos rendimientos por planta representan los rendimientos por ha que se indican en la tabla 10.

Tabla 10. Rendimiento de biomasa aérea seca por ha (kg) para cada tipo de agua de riego (agua cloacal AC y agua subterránea AS) y para cada variedad (R y B).

Table 10. Aerial dry biomass yield (kg/ha) for each irrigation treatment (ground water GW and urban waste water UWW) and for two varieties (R and W).

Variedad	AC	AS
R	25500	17000
B	20750	18250
Promedio	23250	17750

El calor de combustión promedio de la biomasa aérea presentó un valor de 3668 cal/g, que asociado a un alto rendimiento de biomasa aérea por ha, permitiría contar con una fuente energética considerable que podría utilizarse en el proceso industrial de obtención de etanol, tal como lo señalaran otros investigadores (1).

Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles en los tubérculos presentó diferencias entre tipo de agua de riego ($p = 0,04$), y no se manifestaron diferencias entre variedades. Los resultados se presentan en la tabla 11.

Tabla 11. Contenido de sólidos solubles (%) en los tubérculos para cada tipo de agua de riego (agua cloacal AC y agua subterránea AS) y para cada variedad (R y B).

Table 11. Soluble solids content in tubers (%) for each irrigation treatment (ground water GW and urban waste water UWW) and for two varieties (R and W).

Variedad	AC	AS
R	15,34 ± 1,32 a	16,8 ± 1,63 a
B	15,98 ± 1,39 a	16,25 ± 1,54 a
Promedio	15,66 ± 1,37 A	16,52 ± 1,59 B

Letras distintas indican diferencias significativas, minúsculas dentro de cada columna y mayúsculas entre columnas. $\alpha = 0,05$.

El rendimiento de hidratos de carbono fermentables de cada tratamiento (rendimiento de tubérculos x porcentaje de sólidos solubles) y el potencial para producir etanol a partir de dichos hidratos de carbono se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Producción de hidratos de carbono fermentables (H de C F) y estimación del potencial de producción de etanol para cada combinación de tipo de agua de riego (agua cloacal AC y agua subterránea AS) y cada variedad de topinambur (R y B).

Table 12. Fermentable carbohydrates production and estimation of the potencial to produce etanol for each combination of irrigation treatment (ground water GW and urban waste water UWW) and varieties (R and W).

Variedad	AC		AS	
	H de C F (kg/ha)	Etanol (l/ha)	H de C F (kg/ha)	Etanol (l/ha)
R	31639	17601	25872	14393
B	23890	13290	21816	12136
Promedio	27757	15441	23789	13234

El rendimiento de carbohidratos fermentables de los tratamientos comparados en el presente estudio se encuentra muy por encima del rango de 5930 a 14580 kg azúcar/ha por año que se indica en la bibliografía (3, 4).

Tabla 13. Relación entre l de etanol/ha y kg de tubérculos/ha para cada combinación de tipo de agua (agua cloacal AC y agua subterránea AS) y cada variedad de topinambur (R y B).

Table 13. Relation between l of ethanol/ha and kg of tubers/ha for each irrigation treatment (ground water GW and urban waste water UWW) and for two varieties (R and W).

Tratamiento	l alcohol/ kg tubérculos x 100
AC R	8,53
AC B	8,89
AS R	9,35
AS B	9,04
Promedio	8,95

Por cada 100 kg de tubérculos de topinambur es factible obtener 8,95 l de alcohol, lo cual implicaría que para obtener 1 l de alcohol serían necesarios 11,17 kg de tubérculos. Esto es coincidente con los resultados de Fernández (6), quien indica que son necesarios 12 kg de tubérculos de esta especie para obtener 1 l de etanol.

CONCLUSIONES

El rendimiento de tubérculos de topinambur bajo las condiciones de cultivo de este trabajo fue muy alto. El cultivo regado con AC rindió 177750 kg/ha, cifra significativamente mayor que la que se obtuvo con el regado con AS, cuyo rendimiento fue de 144000 kg/ha. El mayor rendimiento en el tratamiento AC estuvo relacionado con un mayor número de tubérculos por planta, plantas más altas, mayor número de tallos por planta y mayor biomasa aérea por planta.

La biomasa aérea seca remanente del cultivo fue de 23250 kg en AC y 17750 en AS. El calor de combustión de la misma fue de 3668 Kcal/kg, lo que representaría un importante aporte energético que podría utilizarse en el proceso industrial de obtención del etanol. El mayor potencial de producción de etanol, 17601 l/ha, se obtuvo con el tratamiento de riego con agua cloacal y en la variedad R.

En síntesis, las aguas residuales urbanas pueden ser utilizadas para ampliar el oasis de Mendoza y cultivar topinambur con destino a la producción de etanol, obteniendo muy altos rendimientos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ballesteros Perdices, M. 2006. Bioetanol. Investigación y Ciencia, N° monográfico dedicado a "Energía, presente y futuro". Noviembre de 2006. p. 78-85.
2. Berenji, J.; V. Sikora. 2001. Variability ASd stability of tuber yield of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Helia*. 24: 25-32.
3. Chubey, B. B.; D. G. Dorell. 1974. Jerusalem artichoke: a potential fructose crop for the prairies. *Canadian Institute of Food Science Technology Journal*. 7: 98-106.
4. Dorell, D. G.; B. B. Chubey. 1977. Irrigation, fertilizer, harvest dates and storage effects on the reducing sugar and fructose concentration of Jerusalem artichoke tubers. *Canadian Journal of PIASt Science*. 57: 591-596.
5. Farm crops for alcohol fuel. 1980. En: http://journeytoforever.org/biofuel_library/ethanol_motherearth/meCh2.html
6. Fernández, J. 1998. Production costs of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for ethanol production in Spanish irrigated lands. En: <http://www.eeci.net/archive/biobase/B10245.html>
7. _____. 2007. Agua y agricultura sostenible. En: http://www.energiasostenible.net/agricult_sostenible_02.htm
8. Goldemberg, J. 2007. Ethanol for a sustainable energy future. *Science*. 315(5813): 801-804.
9. Huergo, H. 2001. El biodiesel, una contribución de agro para mejorar el medio ambiente. *Bolsa de Cereales* (3026), 3-5.
10. Kays, S. J.; S. F. Nottingham. 2008. Biology and chemistry of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). CRC Press. Taylor and Francis Group. 478 p.
11. Lima Verde Leal, M. R.; F. Tarántola; A. Roggiere; D. Castro; L. A. Barbosa Cortez. 2008. Biomassa para energía. Capítulo 5: Producao de etanol em regioes semi-áridas. UNICAMP Editora. p. 113-131
12. Parameswarab, M. 1999. Urban wastewater use in plant biomass production. *Resources, Conservation and Recycling*. 27: 39-56.

13. Ragab, M. E.; K. A. Okasha; I. I. El-Oksh; N. M. Ibrahim. 2003. Effect of cultivar and location on yield, tuber quality, and storability of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) I. Growth, yield, and tuber characteristics. *Acta Hort.* 620: 103-111.
14. Rebora, C. 2008. Caracterización de germoplasma de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) por aptitud agronómica e industrial. Tesis de Maestría en Horticultura. Octubre de 2008. Disponible en Biblioteca de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo.
15. Reust, W.; J. P. Dutoit. 1992. Renewable raw materials and alternative crops: yield potential of Jerusalem artichoke, sweet sorghum and a spurge. *Landwirtschaft-Schweiz.* 5(10) : 509-516.
16. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA). 2006. Perspectivas de los biocombustibles en Argentina. Programa Nacional de Biocombustibles. En: <http://www.rlc.fao.org/prensa/activi/agroenergia/almada.pdf>
17. _____. 2007. <http://www.sagpya.meccon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/biodiesel/index.php>
18. StephASopoulus, G. 2007. Challenges in engineering microbes for biofuels production. *Science.* 315(5813): 804-807.

Agradecimientos

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

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