

## USO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS (“CLOACALES”) PARA LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS ENERGÉTICOS DESTINADOS A BIOCOMBUSTIBLES\*

Rebora, C., H. Lelio, L. Gómez

Cátedra de Agricultura Especial, Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo  
Alte. Brown 500, Ch. de Coria, Mendoza. Tel: 0261-4135010  
. Email: [crebora@fca.uncu.edu.ar](mailto:crebora@fca.uncu.edu.ar)

### RESUMEN

La ley argentina 26.093, sobre biocombustibles, establece que para el año 2010 la nafta y el gasoil deberán ser cortados en un 5 % con alcohol y biodiesel, respectivamente. Los cultivos agrícolas constituyen la principal fuente de materia prima para obtener esos combustibles alternativos a los de origen fósil. En el presente trabajo se evaluó el comportamiento de dos cultivos energéticos (*Helianthus tuberosus* L., “topinambur” y *Brassica napus* L., “colza”) cuando son regados con aguas residuales urbanas o cloacales. El ensayo se realizó en tierras pertenecientes a la planta de tratamiento de aguas cloacales de OSM Tunuyán y se contrastó el rendimiento de cada cultivo para dos tratamientos de riego (agua cloacal AC y agua subterránea AS). Ambos cultivos rindieron más cuando fueron regados con agua cloacal; el topinambur regado con AC rindió 177.750 kg/ha; y 144.000 kg/ha en el tratamiento de AS. Esto permitiría obtener rendimientos de etanol de 17.601 l/ha. En colza los rendimientos de semilla fueron de 7.690 y 3.886 kg/ha, regada con AC y AS, respectivamente. La cantidad de biodiesel factible de producir por cada hectárea de cultivo asciende a 2.800 kg en el tratamiento AC y a 1.400 kg en AS. En síntesis, las aguas residuales urbanas pueden ser utilizadas para ampliar el oasis de Mendoza y cultivar topinambur y colza con destino a la producción de biocombustibles, obteniendo muy altos rendimientos. Por último, el uso de aguas residuales urbanas genera un nicho para la producción de biocombustibles de segunda generación, vale decir que no compitan con la producción de alimentos.

**Palabras clave:** cultivos energéticos, agua residual urbana, biocombustibles

\* Presentado en Iº Congreso Internacional de Ambiente y Energías Renovables, noviembre de 2009, Villa María, Córdoba

## INTRODUCCIÓN

Las energías renovables se presentan como una de las alternativas para lograr un desarrollo sustentable (Goldemberg, 2007). Los cultivos energéticos, aquellos cuya biomasa se destina a la obtención de energía, cada vez más se estudian como alternativa al agotamiento ya sensible de energías fósiles, como el gas y el petróleo (SAGPyA, 2007). La Argentina no escapa a esta realidad mundial, y en la ley nacional 26.093, sobre biocombustibles, establece que para el 2010 la nafta y el gasoil deberán ser cortados con alcohol y biodiesel, respectivamente. Básicamente hay dos grandes grupos de cultivos que se usan como materias primas para elaborar estos biocombustibles: los cultivos “sacaríferos” o ricos en hidratos de carbono para producción de alcohol y los cultivos “oleaginosos”, cuyo aceite se utiliza para fabricar biodiesel (Camps Michelena y Martín, 2008). Existen diversas alternativas de cultivos para obtener alcohol, dependiendo del ambiente productivo. En los oasis de Mendoza tenemos experiencias recientes de cultivo de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) con alto rendimiento de tubérculos (alrededor de 50.000 kg/ ha) que pueden ser usados para producir etanol (Rebora, 2008); en otros lugares del mundo también hay gran interés por el potencial energético de esta especie (Kays and Nottingham, 2008). La elección de la oleaginosa proveedora de aceite para producir biodiesel también está condicionada por la zona de cultivo (Goffman, 1995). En la Argentina se hace referencia al cultivo de soja, asociado esto principalmente a la gran producción nacional de este cultivo (SAGPyA, 2007). En Mendoza, hemos acotado la elección de la oleaginosa al momento en que el recurso hídrico es menos limitante, y por tal motivo hemos estado experimentando con una especie de ciclo “invernal”, la colza (*Brassica napus* L.), obteniendo rendimientos de grano del orden de los 3000 kilos por hectárea, con un contenido de aceite del 48 % (Rebora, *et al.*, 2007).

La mayor proporción del reuso de aguas residuales urbanas o cloacales en el mundo ocurre en regiones áridas donde otras fuentes de agua son escasas (Scout *et al.*, 2000). La principal desventaja que se asocia con el uso de este tipo de agua tiene que ver con el riesgo para la salud humana de los consumidores que comen frutas y verduras irrigadas con la misma (Linklater, 2005). 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 experiencias de cultivo de topinambur utilizando aguas residuales urbanas para el riego con rendimientos de tubérculos que alcanzan las 120 toneladas por hectárea (Parameswaran, 1999) y también de riegos complementarios en colza con aguas cloacales (Picca *et al.*, 2007).

El **objetivo**, en este trabajo, fue comparar el rendimiento de dos cultivos energéticos (topinambur y colza) regados con agua cloacal y agua subterránea en las condiciones de cultivo de Tunuyán, Mendoza, Argentina, y su potencial para producir biocombustibles (bioetanol y biodiesel, respectivamente).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ambiente experimental

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 y a una altura sobre el nivel del mar de 859 metros. En la Tabla 1 se caracteriza el suelo en que se condujeron las parcelas experimentales. Esta planta de tratamiento de aguas procesa un caudal promedio en el año de 300 m<sup>3</sup>/ hora. La precipitación promedio anual del lugar es de 200 mm.

**Tabla 1: Caracterización del suelo donde se cultivaron las parcelas experimentales**

Variable	Determinaciones	
Profundidad (cm)	0-10	10-30
pH	6,63	6,76
Conductividad eléctrica (dS/M)	19,80	12,20
Porcentaje de saturación (g%g)	35,0	49,8
Volumen de sedimentación (ml%g)	116	124
Nitrógeno total (mg/kg)	5.570	3.780
Fósforo: ext. Carb (1:10) (mg/kg)	26,2	13,3
Potasio intercambiable (mg/kg)	1.140	740
Materia orgánica (g%g)	9,2	6,2
Relación C/N	9,6	9,5

Las parcelas se regaron con agua subterránea (provista en camión tanque por la Municipalidad de Tunuyán) y agua residual urbana o cloacal (conducida desde las piletas de tratamiento hasta las parcelas experimentales); las mismas se caracterizan en la Tabla 2.

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

Determinación	AS	AC	Método usado
Conductividad eléctrica (dS/M)	0,42	1,10	Conductimetría
Nitrógeno total (mg/l)	5,60	28,7	Mét. Kjeldahl
Nitrógeno mineral, NH <sub>4</sub> + NO <sub>3</sub> (mg/l)	1,05	14,7	Mét. Devarda
Fósforo, P (mg/l)	0,13	11,51	Colorimetría, SVM
Fósforo, PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	0,39	35,3	Colorimetría, SVM
Potasio, K (mg/l)	11,00	20	Fotometría de llama
Potasio, K <sub>2</sub> O(mg/l)	13,20	24	Fotometría de llama
Materia orgánica(mg/l)	73,40	236	DQO por titulación volumétrica

## Cultivos energéticos experimentales

### *Topinambur*

Se probaron dos variedades, Rojo (**R**) y Blanco (**B**), identificadas y caracterizadas en un trabajo previo (Rebora, 2008), y dos tipos de agua de riego (**AS** y **AC**). El ensayo experimental tuvo un diseño de parcelas al azar, con tres repeticiones por tratamiento. La plantación se realizó en agosto de 2007. La densidad de plantación elegida fue de 0,8 m entre hileras y 0,5 m entre plantas en la hilera (25.000 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 7.675 m<sup>3</sup> 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 kilogramo de hidratos de carbono fermentable se obtiene 0,5563 litros de etanol (Farm crops for alcohol fuel, 1980). Para determinar la cantidad de hidratos de carbono fermentables se utilizaron los datos de rendimiento de tubérculos (kg/ ha) y sólidos solubles (%). 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. Con la estimación de rendimiento de alcohol (l/ ha) y el rendimiento de tubérculos (kg/ha) se calculó la cantidad kilos de tubérculos necesarios para obtener un litro de etanol. Se realizó análisis de varianza para comparar las variables analizadas. Las medias se compararon con test de Tukey,  $\alpha = 0,05$ .

### *Colza*

El ensayo experimental tuvo un diseño de parcelas al azar, con tres repeticiones por tratamiento (AS y AN). Se utilizó un cultivar de colza invernada; SW Gospel, del semillero SURSEM. La siembra se realizó el 28 de febrero de 2008. La densidad de siembra elegida fue de 0,4 m entre hileras y en cada hilera se distribuyó semilla a chorrillo, a razón de 8 kg por ha. Cada parcela estuvo formada por 7 hileras de 5 m de largo. Se realizó control manual de malezas. Se regó a manto, la frecuencia de riegos fue semanal. Se aplicaron en total 32 riegos, que equivaldrían a un volumen de agua aplicado por ha de 7.000 m<sup>3</sup> o una lámina de 700 mm. A fines de noviembre de 2008 se cosecharon las parcelas experimentales. En cada una se determinó:

- N° de plantas por metro cuadrado, por conteo de plantas en cada metro lineal, y calculando en el metro cuadrado en función de la distancia entre hileras de 0,4 m.
- N° de silicuas por planta, conteo en 30 plantas por parcela tomadas al azar.
- N° de semillas por silicua, conteo en 150 silicuas por parcela experimental.
- Peso de mil semillas, sobre 5 muestras de 1000 semillas de cada parcela experimental.
- Rendimiento de semillas por unidad de superficie, corte a campo de cada parcela y trilla en laboratorio.
- Contenido de aceite en las semillas, según metodología Soxhlet, sobre una muestra combinada de las parcelas de cada tratamiento de agua de riego.

Se realizó análisis de varianza para comparar las variables analizadas. Las medias se compararon con test de Tukey,  $\alpha = 0,05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Topinambur

#### # 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).**

Variedad	AC	AS
R	8,25 a	6,16 a
B	5,98 b	5,37 b
Promedio	7,11 A	5,76 B

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

Los rendimientos individuales multiplicados por 25.000 plantas por hectárea equivalen a los rendimientos que pueden apreciarse en la Tabla 4.

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

Variedad	AC	AS
R	206.250	154.000
B	149.500	134.250
Promedio	177.750	144.000

Para ambas variedades el rendimiento de tubérculos por hectárea fue mayor cuando el cultivo se regó con AC en relación a cuando se utilizó AS para el riego. La variedad R rindió más que B en los dos tratamientos de riego. Los rendimientos obtenidos son sensiblemente mayores a los indicados en la bibliografía, ya que se cita un rendimiento de 120.000 kg/ ha de tubérculos de topinambur en experiencias en Australia utilizando agua residual urbana para el riego (Parameswaran, 1999).

### # 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).**

Variedad	AC	AS
R	94,27 <b>b</b>	66,08 <b>b</b>
B	122,53 <b>a</b>	113,08 <b>a</b>
Promedio	108,40 <b>A</b>	89,58 <b>B</b>

Letras distintas indican diferencias significativas, minúsculas dentro de cada columna y mayúsculas entre columnas. A= 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 de 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).**

Variedad	AC	AS
R	87,50	93,2
B	48,80	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 si hubo diferencias varietales para este carácter, la variedad R presentó tubérculos más grandes que la variedad B. Estos resultados coinciden con anteriores, donde R presentaba un tamaño promedio de tubérculos significativamente mayor que B, siendo de 81,66 y 62 g, respectivamente (Rebora, 2008).

### # Altura de las plantas

La altura de 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).**

Variedad	AC	AS
R	3,07 <b>a</b>	2,56 <b>a</b>
B	2,87 <b>a</b>	2,86 <b>a</b>
Promedio	2,97 <b>A</b>	2,71 <b>B</b>

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

### # Número de tallos principales

Para este carácter se encontraron diferencias significativas entre tipo de agua de riego ( $p = 0.0013$ ), pero no entre variedades ( $p = 0,5207$ ), 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).**

Variedad	AC	AS
R	1,47 <b>a</b>	1,39 <b>a</b>
B	1,62 <b>a</b>	1,32 <b>a</b>
Promedio	1,54 <b>A</b>	1,35 <b>B</b>

Letras distintas indican diferencias significativas, minúsculas dentro de cada columna y mayúsculas entre columnas. A= 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.

**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).**

Variedad	AC	AS
R	1,02 <b>a</b>	0,68 <b>a</b>
B	0,83 <b>b</b>	0,73 <b>a</b>
Promedio	0,93 <b>A</b>	0,71 <b>B</b>

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

Estos rendimientos por planta representan los rendimientos por hectárea que se indican en la Tabla 10.

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

Variedad	AC	AS
R	25.500	17.000
B	20.750	18.250
Promedio	23.250	17.750

El calor de combustión promedio de la biomasa aérea presentó un valor de 3.668 cal/ g. Lo que asociado a un alto rendimiento de biomasa aérea por ha, permite contar con una fuente energética considerable que podría utilizarse en el proceso industrial de obtención de etanol, tal como lo señalaran otros investigadores (Ballesteros Perdices, 2006).

### # Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles en los tubérculos presentó diferencias entre tipo de agua de riego ( $p = 0,04$ ), pero no 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).**

Variedad	AC	AS
R	15,34 a	16,80 a
B	15,98 a	16,25 a
Promedio	15,66 A	16,52 B

Letras distintas indican diferencias significativas, minúsculas dentro de cada columna y mayúsculas entre columnas. A= 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 presenta 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).**

Variedad	AC		AS	
	H de C F (kg/ ha)	Etanol (l/ ha)	H de C F (kg/ ha)	Etanol (l/ ha)
<b>R</b>	31.639	17.601	25.872	14.393
<b>B</b>	23.890	13.290	21.816	12.136
Promedio	27.757	15.441	23.789	13.234

El rendimiento de carbohidratos fermentables de los tratamientos comparados en nuestra experiencia, se encuentra muy por encima del rango de 5.930 a 14.580 kilos de azúcar por ha y por año que se indica en la bibliografía (Dorell and Chubey, 1977).

**Tabla 13. Relación entre litros de etanol por ha y kilos de tubérculos producidos por ha para cada combinación de tipo de agua (agua cloacal AC y agua subterránea AS) y cada variedad de topinambur (R y B)**

Tratamiento	l alcohol/ kg tubérculos x 100
AC R	8.53
AC B	8.89
AN R	9.35
AN B	9.04
Promedio	<b>8.95</b>

Por cada 100 kg de tubérculos de topinambur es factible obtener 8,95 l de alcohol (Tabla 13). Esto implicaría que para obtener 1 l de alcohol, serían necesarios 11,17 kg de tubérculos. Esto es bastante coincidente con los resultados de Fernandez (1998), quien indica que son necesarios 12 kg de tubérculos de esta especie para obtener 1 l de etanol.

## **Colza**

En la Tabla 14 se presentan los resultados de los componentes del rendimiento del cultivo de colza medidos para cada tratamiento de riego (AC y AS).

**Tabla 14: Número de plantas/ m<sup>2</sup>, número de silicuas/ planta, número de semillas/ silicua, peso de 1000 semillas y porcentaje de aceite en las semillas en cada tratamiento de riego (AC y AS) del cultivo de colza en Tunuyán, año 2008**

Componente del rendimiento	Tipo de agua de riego		Diferencias significativas entre tratamientos al 0,05 %
	AC	AS	
Nº plantas/ m <sup>2</sup>	27,5	33,32	No, p=0,3603
Nº silicuas/ planta	692,3	533,7	Si, p= 0,0003
Nº semillas/ silicua	23,07	20,48	Si, p= 0,0048
Peso 1000 semillas	3,60	2,43	Si, p=0,0050
% aceite en las semillas	36,70	36,20	Sin análisis estadístico

El **número de plantas por unidad de superficie** no presentó diferencias entre los tratamientos de riego, siendo el promedio de 30,41 pl/ m<sup>2</sup>.

El **número de silicuas por planta** presentó diferencias entre tratamientos de riego; resultando mayor en el tratamiento AC respecto de AS. Los valores registrados, de 692,3 y 533,7 silicuas por planta respectivamente son muy superiores a los que se indican en la bibliografía, que en varias experiencias no superan los dos dígitos (Iriarte y Valetti, 2008). La diferencia en el número de silicuas por planta a favor del riego con AC es coincidente con el mayor valor en este componente del rendimiento en los tratamientos de fertilización respecto de los testigos sin fertilizar (Tamagno *et al.*, 1999, Iriarte, 2002).

El **número de semillas por silicua** presentó diferencias entre tratamientos de riego; resultando mayor en el tratamiento de riego con agua cloacal (AC) respecto del riego con agua subterránea (AS). Las silicuas de las plantas regadas con AC tuvieron en promedio 23,07 semillas, mientras que las silicuas de las plantas regadas con AS tuvieron 20,48 semillas cada una.

El **peso de 1000 semillas** presentó diferencias entre tratamientos de riego; semillas más grandes se obtuvieron en el tratamiento de riego con AC que en el tratamiento de riego con AS. Los valores obtenidos están dentro del rango de 2 a 4 g que se indica para las 1000 semillas de esta especie (Chacra Experimental Integrada Barrow, 1996). Las variaciones encontradas también son indicadas por otros autores en respuesta a distintas condiciones o ambientes de cultivo (Iriarte *et al.*, 2007).

### **Rendimiento estimado a partir de los componentes del rendimiento**

La estimación del rendimiento en el cultivo de colza puede realizarse a partir de los siguientes componentes del rendimiento: número de plantas por unidad de superficie, número de silicuas por planta, número de semillas por silicua y peso de las semillas (Gómez y Miralles, 2006). El rendimiento estimado a partir de los mismos arroja valores muy altos: 15.811 kg/ha de semilla para AC y 8.851 kg/ha de semilla para AS.

### **Rendimiento a partir de la cosecha de las parcelas experimentales**

El rendimiento de semilla presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $p = 0,0027$ ). Se obtuvo mayor rendimiento en las parcelas AC (7690 kg/ha) que en las parcelas AS (3886 kg/ha). No se han encontrado resultados experimentales previos que indiquen rendimientos tan altos como los del tratamiento AC; esto puede deberse a que no se ha cultivado colza en condiciones de oferta de recursos (agua y nutrientes) tan abundantes. Los

rendimientos obtenidos a partir de la cosecha de las parcelas son muy inferiores a los estimados a partir de los componentes del rendimiento. Esto puede deberse en parte a que una proporción de la semilla se perdió previo o durante la cosecha; evidencia de esto son las plántulas espontáneas de colza observadas en las parcelas postcosecha de las mismas. Por otra parte, existen referencias que indican que, en general, el rendimiento estimado a partir de los componentes del mismo suele dar un valor sobreestimado (Iriarte, 2009, comunicación personal).

### **Aceite**

El contenido de aceite obtenido en ambos tratamientos está por debajo del 47 % indicado para el cultivar utilizado; resultando de 36,7 % para las semillas del tratamiento AC y de 36,2 % para el tratamiento AS. Generalmente altos rendimientos de semilla están asociados a disminución en el contenido de aceite (Iriarte, 2009, comunicación personal). La cantidad de aceite factible de obtener por hectárea se indica en la Tabla 15.

**Tabla 15: Rendimiento de aceite por hectárea cultivada con colza, bajo dos tratamientos de riego (AC, agua cloacal, y AS, agua subterránea) en Tunuyán. Mendoza, año 2008.**

Variable	Tipo de agua de riego	
	AC	AS
Rendimiento semilla (kg/ha)	7690	3886
Contenido de aceite (%)	36,7	36,2
<b>Rendimiento de aceite (kg/ha)</b>	<b>2822</b>	<b>1406</b>

### **Factibilidad de obtención de biodiesel**

En grandes números por cada 100 litros de aceite se obtienen 100 litros de biodiesel (Camps Michelena, 2008); por lo tanto los litros de aceite factibles de obtener por hectárea en cada tratamiento de riego, serían equivalentes a los litros de biodiesel por hectárea, esto es 2822 litros de biodiesel cuando la colza se riega con agua cloacal y 1406 litros de biodiesel cuando se usa agua subterránea para el riego, ambos valores superiores a los 1100 litros indicados como valor de referencia (Muñoz, 2005).

## **CONCLUSIONES**

- La utilización de aguas cloacales o residuales urbanas para el riego de topinambur permite obtener mayor rendimiento de tubérculos (177.750 kg/ha) al que se obtiene cuando el cultivo se riega con agua subterránea (144.000 kg/ha). El mayor rendimiento se relaciona a 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 de topinambur también es mayor cuando éste se riega con agua cloacal (23.250 kg/ha). El calor de combustión de la misma de 3.668 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, 17.601 l/ha, se obtuvo con el tratamiento de riego con agua cloacal y en la variedad R.
- La utilización de aguas residuales urbanas para el riego de colza permite obtener rendimiento de semilla muy superior al que se obtiene regando con agua subterránea (7.690 y 3.886 kg/ha respectivamente).
- La cantidad de biodiesel factible de producir por cada hectárea de cultivo asciende a 2.800 kg en el tratamiento AC y a 1.400 kg en AS.
- En síntesis, las aguas residuales urbanas pueden ser utilizadas para ampliar el oasis de Mendoza y cultivar topinambur y colza con destino a la producción de biocombustibles, obteniendo muy altos rendimientos.
- Por último, el uso de aguas residuales urbanas genera un nicho para la producción de biocombustibles de segunda generación, vale decir que no compitan con la producción de alimentos.

### 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 sus colaboradores: Pedro Fernández, Omar Martínez, Dr. Jorge Daruich, José Serrani, Luís 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.*

### BIBLIOGRAFÍA

- Ballesteros Perdices, M.** (2006) *Bioetanol*. Investigación y Ciencia, número monográfico dedicado a “Energía, presente y futuro”, noviembre de 2006, pp. 78-85.
- Camps Michelena, M.; F. M. Martín** (2008) *Energías renovables. Los biocombustibles*; segunda edición. Capítulo 7: Los biocombustibles líquidos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México.
- Chacra Experimental Integrada Barrow.** 1996. *El cultivo de colza canola*. Convenio MAAyP-INTA. En: [www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agricultura/colza/colza\\_argentina.pdf](http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agricultura/colza/colza_argentina.pdf)
- Dorell, D.G., and 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 Plant Science 57: 591-596.
- Farm crops for alcohol fuel.** 1980. En: [http://journeytoforever.org/biofuel\\_library/ethanol\\_motherearth/meCh2.html](http://journeytoforever.org/biofuel_library/ethanol_motherearth/meCh2.html)
- 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>
- Goffman, F. D.** (1995) *Sistema de producción de biodiesel a partir de cultivos oleaginosos*. Revista Oleaginosos, abril-agosto 1995, pp. 15-17.
- Goldemberg, J.** (2007) *Ethanol for a sustainable energy future*. Science, Vol. 315. N° 5813, pp. 801-804.

- Gómez, N.; D. Miralles** (2006) *Colza*. Capítulo 2.4, en: Cultivos industriales. Editorial Facultad de Agronomía. UBA.
- Iriarte, L.**(2002) *Colza: cultivares, fecha de siembra, fertilización*. En: <http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agricultura/colza/nota%20colza.pdf>
- Iriarte, L., C. Appella; A. Vallati; J. De Batista; M. Lizondo; N. Leiva; J. Castillo; H. Peltzer; E. Guevara; S. Meira; J. Villar; G. Cencig; M. Mondino** (2007). Red nacional de evaluación de cultivares de colza campaña 2007. En: <http://www.inta.gov.ar/info/doc/Informe%20evaluacion%20cultivares%20colza%202007.doc>
- Iriarte, L.; O. Valetti** (2008) *Tecnología de cultivo*. Capítulo 7, en: Cultivo de colza. Editores Iriarte L., y O. Valetti. Chacra Experimental Integrada Barrow. Convenio MAAyP- INTA.
- Kays, S. J., and S. F. Nottingham.** (2008) *Biology and chemistry of Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.)*. CRC Press. Taylor and Francis Group. 478 p.
- Linklater, L.** (2005) *Global approaches to urban wastewater use in irrigated agriculture*. En: [http://www.idrc.ca/en/ev-82222-201-1-DO\\_TOPIC.html](http://www.idrc.ca/en/ev-82222-201-1-DO_TOPIC.html)
- Muñoz, C. M.**(2005) *El biodiesel como solución energética*. Revista Agromercado 248, pág. 6-8.
- Parameswaran, M.** (1999) *Urban wastewater use in plant biomass production*. Resources, Conservation and Recycling, 27: 39-56.
- Picca, D.; R. Crespi; D. Intona; P. Cáceres; J. Puiatti** (2007) Producción de colza (*Brassica napus*) en seco y bajo riego con aguas residuales. CONAGUA 2007. En: <http://hydriaweb.com.ar/kb/entry/90/>
- 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.
- Rebora, C.; H. Lelio; L. Gómez; A. Barros** (2007) *Rendimiento de aceite de colza cultivada bajo riego en Mendoza*. Rev. FCA UNCuyo, Tomo XXXIX. N° 2, 101-108.
- Scout, C. A.; J. A. Zarazúa; G. Levine** (2000) *Urban waste water reuse for crop production in the water- short Guanajuato River Basin. México*. En: <http://www.iwmi.cgiar.org/pubs/PUB041/report41.pdf>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA).** 2007. <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/biodiesel/index.php>
- Tamagno, L. N.; A. M. Chamorro; S. J. Sarandón** (1999) Aplicación fraccionada de nitrógeno en colza (*Brassica napus* L.): efectos sobre el rendimiento y la calidad de la semilla. Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata, 104 (1): 25-34.