

## LA CUENCA COMO SOPORTE PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES DE PRIMERA GENERACIÓN

Sergio Montico, Beatriz Bonel y Néstor Dileo  
Manejo de tierras - Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Rosario  
CC 14 – ZAA 2125 Zavalla – Argentina  
e-mail: smontico@unr.edu.ar

### RESUMEN

Las unidades de paisaje representan ambientes agroproductivos donde los flujos de energía determinan la productividad y la generación de energía como biomasa. La producción física agrícola representa una fuente bioenergética, dado que en base al procesamiento de granos es posible obtener biocombustibles. Los parámetros energéticos son buenos estimadores de la gestión de la energía en la producción de cultivos en distintos escenarios productivos, siendo posible obtener también la energía potencial que proveerían como biocombustibles. La obtención de biodiesel y bioetanol de los granos de soja y maíz, respectivamente, posibilita aumentar la oferta energética surgida de la producción de las unidades de paisaje en una cuenca. En este trabajo a partir de un relevamiento de las condiciones productivas de los cultivos de soja y maíz en diferentes unidades de paisaje y a través de parámetros energéticos, se realizó un análisis de la producción de energía desde el agroecosistema a la obtención del biocombustible. Se hallaron diferencias significativas en la generación de energía de los granos y de los biocombustibles entre las unidades de paisaje de la cuenca rural estudiada. Aun debe profundizarse más este enfoque para encontrar mayor precisión respecto a los balances energéticos, principalmente de la etapa industrial, tema en debate.

**Palabras clave:** cuenca rural, parámetros energéticos, soja, maíz, biocombustibles.

### ABSTRACT

The landscape units represent agroproductive environments where the energy flows determine the productivity and the energy generation like biomass. The physical production agriculture represents a bioenergetic source, because based on the processing of grains it is possible to obtain biofuels. The energetic parameters are good estimators of the administration of energy in the production of crops in different productive scenarios, also being possible to obtain the potential energy that would provide as biofuels. The obtaining of biodiesel and bioethanol of the grains of soybean and corn, respectively, makes possible the increasing of the energy offer of the production of the landscape units in a basin. In this work starting from a survey of the productive conditions of the crops of soybean and corn in different landscape units and through energetic parameters, was carried an analysis the energy production from the agroecosystem to the obtaining biofuels. Many significant differences has been found in the generation of energy of the grains and biofuels between the landscape units of the studied rural basin. It still has to be deepened the approach to find more precision with regard to the energetic balances, mainly the industrial stage, theme in discussion.

**Keywords:** rural basin, energetic parameters, soybean, corn, biofuels.

## INTRODUCCIÓN

A escala territorial, la gestión de la energía está condicionada por las diferentes características agroecológicas de una región, incluyendo aspectos de manejo y condiciones naturales de producción (Montico *et al.*, 2007). A través de parámetros energéticos es posible evaluar satisfactoriamente escenarios a diferentes escalas y objetivos (Pervanchon *et al.*, 2002). Precisamente las unidades de paisaje representan ambientes agroproductivos donde los flujos de energía determinan la productividad y la generación de energía como biomasa (Montico y Dileo, 2002).

La producción de cereales y oleaginosas, más específicamente, maíz y soja en ambientes de diferentes aptitudes naturales implica ingresos y egresos de energía también diferentes (Montico *et al.*, 2006). Esa producción física representa una fuente bioenergética, dado que en base al procesamiento de granos es posible obtener biocombustibles, que son recursos relativamente novedosos que se integran a la matriz energética de los países desarrollados y en desarrollo (Mae-Wan *et al.*, 2006).

El carácter no renovable de los combustibles fósiles y las perspectivas de agotamiento de las reservas en el mediano plazo, unido al crecimiento permanente y sostenido de la demanda, generan actualmente una situación socioeconómica y polí-

tica internacional compleja (CEPAL, 2007). De aquí la relevancia de valorar la potencialidad de este nuevo *commoditie* en el escenario mundial (Fischer y Schrattenholzer, 2001).

Surgen además, polémicas y debates en torno al controversial balance energético de la articulación de los procesos primarios y el de transformación de granos en biocombustibles. Las mayores dudas corresponden a la fase industrial dado que las posiciones son opuestas (Honty y Godynas, 2007) y aún no hay acuerdos definitivos.

Este trabajo tiene como objetivo valorar los parámetros energéticos relacionados con la producción física de los cultivos de soja y maíz en unidades de paisaje de una cuenca de la región pampeana, y la potencial producción de biodiesel y bioetanol.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las posibilidades de obtención de biocombustibles (BioC) a base de cereales y oleaginosos se sustentan en la armonización de dos etapas, la producción primaria y la industrial (Figura 1). La primera genera el insumo físico principal de la segunda, y ambas pueden retroalimentarse en el caso que el BioC obtenido resulte la fuente energética utilizada en las dos etapas.

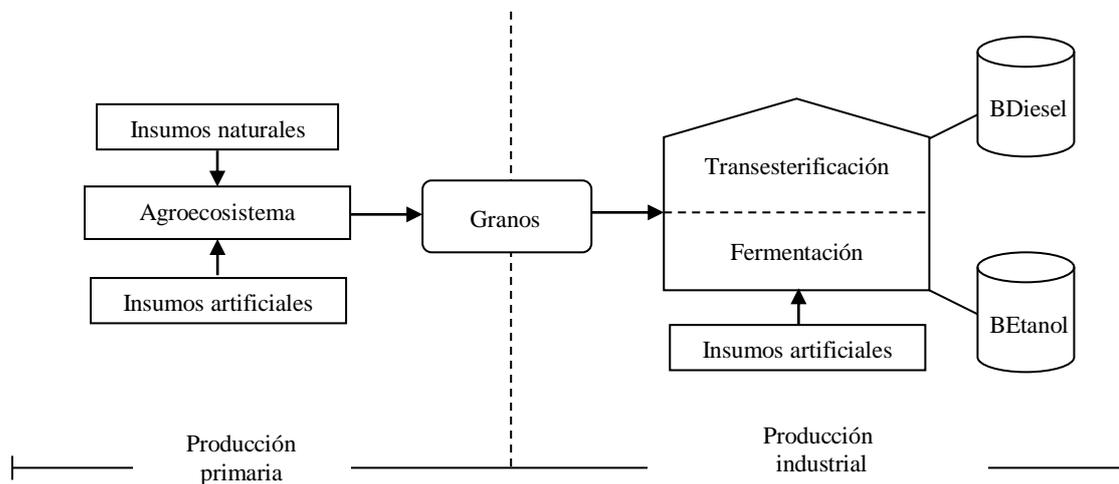


Figura 1. Articulación entre la producción del grano y la obtención del biocombustible.

Los agroecosistemas importan insumos naturales (radiación, temperatura, precipitaciones y suelo, principalmente) e insumos artificiales (pesticidas,

fertilizantes y combustibles fósiles) para transformarlos, según el ambiente, en biomasa cosechable de distintas características. Precisamente una de

ellas, el grano, es tratado por procesos industriales capaces de transformarlos en combustibles mediante las conocidas tecnologías de primera generación. En el caso de la soja (*Glycine max L. Merr.*), se logra biodiesel mediante la transesterificación del aceite con alcohol metílico en ambiente básico, con el maíz (*Zea mays L.*), se produce bioetanol directamente de la destilación y transformación (fermentación) de sus azúcares y posterior deshidratación.

Para conocer los parámetros energéticos que participan en la producción de los cultivos de soja y maíz en la etapa primaria y el potencial de producción de biodiesel y bioetanol en la industrial, en una región de la pampa húmeda se seleccionó una cuenca que representa las actividades agropecuarias del territorio.

La cuenca del arroyo Ludueña (700 km<sup>2</sup>) se ubica en el sureste de la provincia de Santa Fe. El clima es subhúmedo mesotermal, la temperatura y la precipitación media anual son de 17° C y 1.110 mm, respectivamente. La neotectónica condiciona la geomorfología de la cuenca, la cabecera está formada por un bloque elevado y basculado hacia el NE, que define la dirección de las cañadas y conectan este bloque elevado con el hundido hacia la margen del Río Paraná.

El territorio fue dividido en unidades de paisaje (UP) a escala 1:50.000 mediante el procedimiento de Relevamiento Integrado de los Recursos Naturales (Abelli *et al.*, 1988). Cada UP representa un área homogénea en cuanto a relieve, drenaje y suelos. Para ello se utilizaron mapas catastrales, fotografías aéreas, imágenes satelitales (Landsat 7 y SAC-C), las normas de clasificación de capacidad de uso (USDA, 1961), cartas de suelo (INTA, 1975) e información hidrológica local (Zimmermann y Riccardi, 2001). Como resultado de este procedimiento se definieron y georreferenciaron a través del sistema de información geográfica (SIG) ArcWiev 3.2, cuatro UP (Figura 2), cuyas características principales se describen a continuación:

#### ***Unidad de paisaje N°1 (UP1)***

Abarca posiciones de relieve correspondientes a lomas extensas y ligeramente onduladas, con pendientes menores al 1% (0.5-1.0 %). El escurrimiento es moderado a bueno y el drenaje es bueno. No existe peligro de anegamiento o inundación y la napa freática, por su profundidad, no influye en las propiedades edáficas. En las áreas con mayor pen-

diente existe ligero peligro de erosión. La capacidad de uso corresponde a I-2. Los suelos son Argiudoles típicos de la Serie Peyrano (Py) y Consociación Serie Peyrano fase suavemente ondulada (Py8).

#### ***Unidad de paisaje N°2 (UP2)***

Abarca lomas extendidas. Algunos sectores corresponden a interfluvios entre vías de drenaje. Están presentes numerosos microrrelieves dando un aspecto “cribado”. La permeabilidad de suelo es lenta y el perfil edáfico tiene características hidromórficas y son afectados por alcalinidad sódica, siendo el escurrimiento lento. Las posiciones más altas están ocupadas por suelos de la Serie Roldán (Rd) y en menor medida por la Serie Monte Flores (MF). Las microdepresiones están ocupadas por suelos de la Serie Gelly (Ge), Monte Flores (MF) y Zavalla (Za), con Capacidad de Uso: II<sub>w-s</sub> y II<sub>w</sub>. El área está atravesada por sectores cóncavos con pendientes menores al 1 %, de lenta permeabilidad, anegables y de escurrimiento lento. Estos sectores también están afectados por alcalinidad sódica.

#### ***Unidad de paisaje N°3 (UP3)***

Abarca posiciones en el paisaje correspondiente a áreas planas, bajas, amplias y vías de avenamiento digitiforme, de permeabilidad lenta a muy lenta y drenaje impedido a pobre. Los gradientes de pendientes son menores a 0.5 % y el escurrimiento es lento. Los suelos presentan alcalinidad sódica y sales, y son Consociaciones de las Series Rd, Ge, Za, Manantiales (Ma), Za y MF, con capacidades de uso que comprenden las clases VI<sub>w-s</sub> y VII<sub>w-s</sub>.

#### ***Unidad de paisaje N°4 (UP4)***

Abarca posiciones de paisaje correspondiente a amplias lomadas, con pendientes de 0.5 %, escurrimiento lento a moderado y drenaje moderado a bueno. La napa freática se encuentra entre 5 y 15 metros de profundidad. El suelo representativo es un Argiudol vértico que corresponde a la Serie Roldán, cuya capacidad de uso es I-2.

Posteriormente, se definieron unidades de tierra relacionando las UP con la modalidad de producción más representativa a partir de una estratificación por superficie total operada. A partir del protocolo de trabajo desarrollado recientemente en esta cuenca por Bonel *et al.*, (2005) y Montico *et al.*, (2006), se caracterizaron los ingresos y egresos energéticos de los cultivos de soja (1° y 2° siembra) y maíz en cada

UP sobre un espacio muestral de 10602 ha. Por su representatividad, los eventos productivos en esta superficie resultan extrapolables al resto de la superficie de la cuenca. Los aspectos relevados en ambos cultivos comprendieron los insumos, las operaciones

mecánicas, los rendimientos físicos y la superficie sembrada. Para el cálculo de los indicadores relacionados al ingreso y egreso de energía en las UP, se determinaron los parámetros energéticos que se indican en la Tabla 1 (Hülsbergen *et al.*, 2001).

**Tabla 1. Parámetros energéticos aplicados a los modelos productivos de soja y maíz.**

Parámetros energéticos	Definición
Ingreso de energía (IE)	IE = combustible fósil + insumos + maquinaria
Egreso de energía (EE)	Biomasa cosechada
Energía neta (EN)	EN = EE – IE
Conversión de energía (CE)	CE = EE / IE

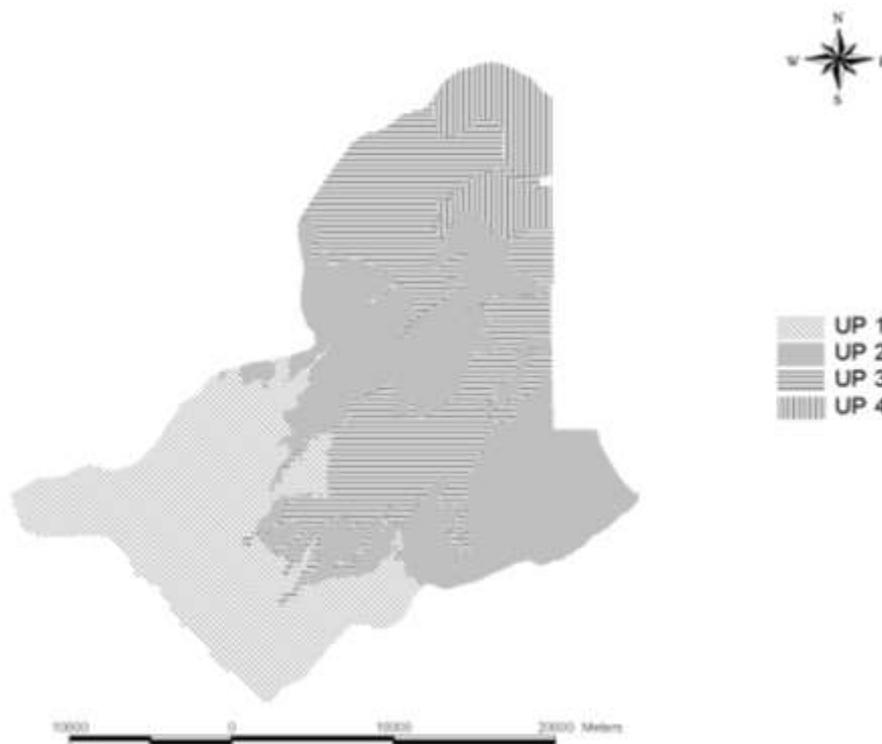
Se obtuvo la producción de soja y maíz por UP y en toda la cuenca, y con ello se calculó la producción potencial de biodiesel y bioetanol y la de su contenido energético, considerando los factores de conversión Grano:BioC y BioC:Energía. Se analizó la eficiencia energética de la primera etapa y se plantea aquí la discusión sobre la fase industrial, controversia aun no resuelta.

Los valores de los indicadores energéticos de la etapa primaria y de la energía de los BioC se expresaron en GJ (Gigajoule = 10<sup>9</sup> Joule)

La comparación de datos de las UP se realizó mediante un modelo estadístico completamente aleatorizado a través de Infostat (2002).

## RESULTADOS

La identificación, descripción e interpretación de los atributos naturales de la cuenca permitieron delimitar espacialmente las cuatro unidades de paisaje que conforman el soporte fisiográfico donde se asientan los agroecosistemas (Figura 2).



**Figura 2. Unidades de paisaje en la cuenca.**

El sector en estudio posee la mitad de la superficie representada por la UP de mejor aptitud para sostener la producción agropecuaria (Tabla 2).

**Tabla 2. Superficie y proporción de las UP.**

UP	Superficie (ha)	Superficie (%)
1	5563	49
2	1827	16
3	3212	29
4	662	6

La proporción de la superficie total ocupada por ambos cultivos fue: 88.2 % de soja y 8.4 % de maíz. Se hallaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre las distintas UP en los parámetros IE, EE, EN para ambos cultivos. En soja (Tabla 3), en todos los casos, las UP1 y UP3 tuvieron los mayores valores, siguiéndole la UP2 y luego la UP4, en cambio, la conversión de energía (CE) no fue significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) entre la UP1, UP2 y UP4, siendo en la UP3, la menor. El ingreso de energía varió entre 2000 y 20500 GJ.año<sup>-1</sup> y el egreso entre 24600 y 260500 GJ.año<sup>-1</sup>. En las UP el sistema cultivo de soja fue capaz de convertir entre 11 y 12.8 veces la energía ingresada a energía egresada, evidenciando una muy alta eficiencia sistémica.

En maíz (Tabla 4), las UP1 y UP3 tuvieron los mayores valores para EE y EN sin diferencias significativas entre ellas. En IE las diferencias no resultaron significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ), entre UP2 y UP3, siendo la UP4 la de menor ingreso de energía. La CE fue significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) y la más alta en la UP3, siguiéndole las UP1, UP2 y UP4 sin diferenciarse significativamente. El ingreso de energía varió entre 1300 y 3300 GJ.año<sup>-1</sup> y el egreso entre 18000 y 43600 GJ.año<sup>-1</sup>. La UP3 presentó la mayor conversión de energía ingresada a energía egresada (x 25.6), siendo el promedio de las otras UP 14,2, 1,7 más que las mismas unidades en soja.

En cuanto al egreso de energía (EE) de las unidades de paisaje considerando ambos cultivos (Tabla 5), la UP1 produce 85.5 % más que la UP3, esta 71.9 % más que la UP2, la que a su vez lo hace 123.7 % más que la UP4. El cultivo de soja aporta 348700 GJ más que el de maíz, quién contribuye con el 21.22 % al total de ambos.

La energía neta, como diferencia entre la ingresada y la egresada, representa el balance de energía del proceso. En este sentido, en la Figura 3 se observa la proporción de EN que corresponde a ambos cultivos en cada UP.

**Tabla 3. Parámetros energéticos del cultivo de soja en las UP en GJ.**

UP	IE	EE	EN	CE
1	20500a	260500a	240000a	12.8 <sup>a</sup>
2	5600c	69200c	63600c	12.3 <sup>a</sup>
3	11200b	123000b	112500b	11.0 <sup>b</sup>
4	2000d	24600d	22600d	12.3 <sup>a</sup>

Dentro de las columnas, letras distintas indican diferencias significativas entre UP ( $p < 0.05$ )

**Tabla 4. Parámetros energéticos del cultivo de maíz en las UP en GJ.**

UP	IE	EE	EN	CE
1	3300a	43600a	40300a	13.2 <sup>b</sup>
2	1700b	26100b	24400b	15.3 <sup>b</sup>
3	1600b	40900a	39300a	25.6 <sup>a</sup>
4	1300c	18000c	16700c	14.1 <sup>b</sup>

Dentro de las columnas, letras distintas indican diferencias significativas entre UP ( $p < 0.05$ )

**Tabla 5. Egreso de energía de las UP por el cultivo de soja y maíz.**

UP	Soja (GJ.año <sup>-1</sup> )	Maíz (GJ.año <sup>-1</sup> )	Total (GJ.año <sup>-1</sup> )
1	260500	43600	304100
2	69200	26100	95300
3	123000	40900	163900
4	24600	18000	42600
Total	477300	128600	605900

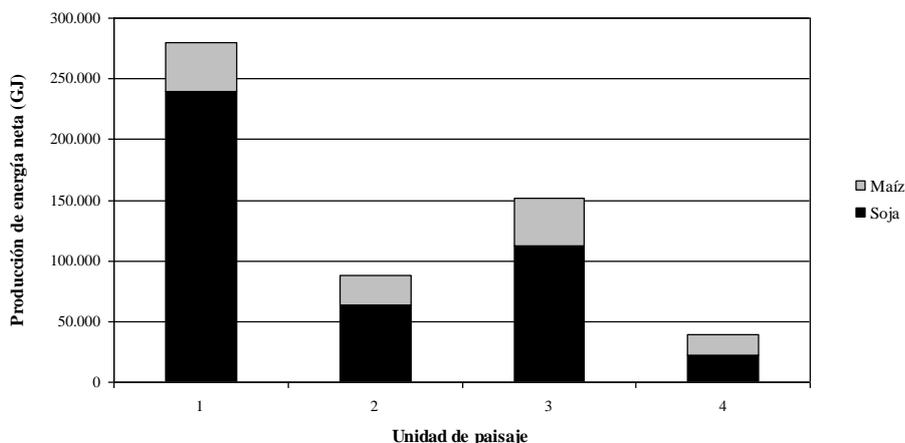


Figura 3. Egreso de energía de las unidades de paisaje por cada cultivo.

Del análisis de las unidades de  $GJ.año^{-1}$  producida como EN en las UP por la siembra de ambos cultivos en la superficie de trabajo de la cuenca (Tabla 6), surge que más de las tres cuartas partes (77.2 %) se obtienen de la UP1 y la UP3, siendo 80.3 % y 65.9 % en el caso de soja y maíz, respectivamente. El cultivo de soja representa el 78.5 % de la EN total ( $559400 GJ.año^{-1}$ ) que se produce.

(Patzek y Pimentel, 2005; NCCE, 2008), de manera de obtener la energía potencial capaz de generarse por este recurso en el territorio analizado. Como es predecible, la significancia de las diferencias ( $p < 0.05$ ) entre UP coinciden con las de EE de los cultivos, lo que implica que las UP1 y UP3 juntas, puedan producir la mayor cantidad de energía como biodiesel y bioetanol, 158198.2 GJ y 44.275 GJ, respectivamente.

En la Tabla 7 se presenta la transformación de los rendimientos físicos de los cultivos de soja y maíz en las UP en cantidad de BioC, a través de unidades equivalentes (Pimentel, 2001; Mae-Wan *et al.*, 2006) y la posterior conversión mediante su contenido energético

En el total de la superficie estudiada, la obtención potencial de ambos BioC por UP en orden decreciente es: “UP1 130141.7 GJ (49.25 %)”; “UP3 72331.5 GJ (27.4 %)”; “UP2 42166.3 GJ (15.9 %)”; “UP4 19567.1 GJ (7.5 %)”.

Tabla 6. Total y porcentaje de EN de las UP por el cultivo de soja y maíz y en la cuenca.

UP	EN Soja		EN Maíz		EN Cuenca	
	GJ.año <sup>-1</sup>	%	GJ.año <sup>-1</sup>	%	GJ.año <sup>-1</sup>	%
1	240000	54.7	40300	33.4	280300	50.1
2	63600	14.5	24400	20.2	88000	15.7
3	112500	25.6	39300	32.5	151800	27.1
4	22600	5.2	16700	13.8	39300	7.0
Total	438700	100	120700	100	559400	100

Tabla 7. Energía total y proporcional de biodiesel y bioetanol obtenible en las unidades de paisaje.

UP	Biodiesel				Bioetanol			
	Kg x 10 <sup>3</sup>	L* x 10 <sup>3</sup>	GJ**	%	Kg x 10 <sup>3</sup>	L* x 10 <sup>3</sup>	GJ**	%
1	15549.9	3109.98	107294.1	54.5	2638.9	976.4	22847.6	33.9
2	4133.6	826.72	28521.8	14.5	1575.8	583.1	13644.5	20.3
3	7382.7	1476.54	50904.1	25.9	2475.0	915.7	21427.4	31.8
4	1468.1	293.62	10129.9	5.1	1090.0	403.3	9437.2	14.0
Total			196850	100			67356.7	100

\*Conversión Kg soja: Kg biodiesel x 0.88 Kg.L<sup>-1</sup> = 0.20 - \*\*Conversión: 1 L biodiesel = 0.0345 GJ

\*Conversión kg maíz: L bioetanol = 0.37 - \*\*Conversión: 1 L bioetanol (al 99.5%) = 0.0234 GJ

Al vincular las etapas de producción primaria e industrial se advierte que del total de la energía egresada como grano en la campaña (605900 GJ), su transformación en BioC permitiría obtener 2.29 veces menos energía (264206.7 GJ), resulta una pérdida de 56.4 % de la energía generada en la etapa primaria. En soja y maíz esta conversión sería 2.43 y 1.9 veces menor a la energía egresada de los establecimientos agropecuarios, respectivamente.

## DISCUSIÓN

Tal como ocurre desde hace más de tres décadas la producción agrícola pampeana argentina continúa ampliando la frontera productiva, avanzando sobre ecosistemas frágiles y en los sectores en los que tradicionalmente se ha practicado la agricultura, incorporando tierras a la producción de muy baja capacidad de uso (Montico y Dileo, 2007). En la cuenca del arroyo Ludueña la alta proporción del uso agrícola (96.6 %) que ha desplazado a los pastizales naturales y a los artificiales, y con ello a la ganadería, es un claro ejemplo. Actualmente los cultivos de soja y maíz dominan por sobre los otros, principalmente entre los estivales, y se siembran en muchos casos en ambientes poco propicios para la obtención de buenos rendimientos (Di Leo *et al.*, 2007).

Las cuatro UP identificadas poseen diferentes calidades naturales y en todas ellas se producen ambos cultivos. Del trabajo de Tonel *et al.*, (2005) realizado sobre el mismo sector, se identificaron unidades de tierra que definieron la relación entre las calidades de la tierra y las escalas de producción, y que explican los parámetros energéticos calculados. Estos investigadores aseguran que cuando se analizan unidades de tierra, debido al modelo tecnológico aplicado, los resultados energéticos resultan semejantes. Ello cambió cuando el enfoque se centró en las UP donde existen diferencias en las variables energéticas, seguramente debido a la calidad de los ambientes, proporción de los cultivos y estratificación de la superficie en producción.

Tripathi y Sah (2001) informan sobre diferencias energéticas entre escenarios productivos montados en ambientes disímiles. De acuerdo a esto, todas las UP manifestaron su capacidad de generar energía y mostraron balances energéticos acorde al marco productivo. Las UP 1 y 3, se destacaron por su amplio aporte al total de energía obtenida, y a pesar que la UP3 no posee buena aptitud productiva, las combinaciones antes citadas y la superficie relativa

explicarían su alta EE y EN. La conversión energética diferencial entre soja y maíz, podría deberse además en este último, a una oportuna mejor disponibilidad de agua por las características fisiográficas de la unidad, que como plantean Conforti y Giampietro (1997), implica una diferente carga ambiental. No obstante la mejor eficiencia energética de las gramíneas sobre las leguminosas se debe a su mayor capacidad en la utilización de los insusos naturales y artificiales (Caviglia *et al.*, 2004).

En cuanto a la producción de BioC, la energía que se obtendría por la transformación de los granos a biodiesel y bioetanol es concomitante con la EE en las UP, aquellas unidades más productoras de energía/grano son las que más energía:BioC producirían. Se destaca que aunque el rendimiento físico del maíz es entre dos y tres veces mayor que el de soja y la conversión a bioetanol 1.85 veces mayor que el de soja a biodiesel, por la baja proporción relativa con que participa en las UP, su aporte a la obtención total potencial de BioC es menor a la tercera parte (27.7 %).

La posibilidad de multiplicar 2.9 veces en términos energéticos la producción de granos a BioC en la cuenca, aparece como una clara ineficiencia del ciclo agrícola-industrial, a partir de lo cual es inevitable introducir la discusión, más allá de la cuestión ética alimentos vs energía (cuyo abordaje no está previsto aquí), sobre la eficiencia de las fases del ciclo (Torres Ugarte, 2006).

Ahora, sobre el balance energético de las UP para la producción de granos de soja y maíz no existen importantes divergencias, es conocida la estructura del costo de energía para producir ambos cultivos tanto como los beneficios energéticos obtenidos (Bonel *et al.*, 2005; Pimentel y Patzek, 2005). La controversia estriba cuando se incorpora la fase industrial, mientras algunos autores plantean que los balances de energía desde la producción de grano a la obtención de biodiesel y bioetanol son positivos, otros contradicen esta afirmación (Mae-Wan *et al.*, 2006). Shapouri *et al.*, (2002) y Farell *et al.*, (2006) sostienen que, considerando ambas etapas, producir biodiesel y bioetanol posee un balance de +67 %, +34 %, respectivamente, otros, como Hills *et al.*, (2006), +93 % y +25 %, sin embargo Patzek (2003) y Pimentel y Patzek (2005) aseveran que es -27 % y -29 %. La diferencia fundamental entre ambos planteos radica en los rubros a considerar. Aquellos que lo juzgan negativo introducen en la contabilidad el costo energético de la construcción de las instalacio-

nes y de las maquinarias, del tratamiento de los residuos que pueden crear problemas ambientales, y no incorporan el valor de los subproductos como glicerol, pastas, etc. Farrel *et al.*, (2006) sentencian respecto al bioetanol, que su uso en gran escala, seguramente requerirá tecnologías de celulosa, dada las limitaciones de viabilidad de esas escalas y producción con las actuales materias primas, situación que obligará a aplicar tecnologías de segunda generación para la obtención de bioenergía. Tal vez como plantean Honty y Godynas (2007), para precisar más esta cuestión, deben definirse los límites del sistema que se pretende evaluar, de manera de poder calcular efectivamente los términos del balance energético.

Quedan otros interrogantes de tanta o más valía como de discusión en torno a la temática, pero como todo avance científico tecnológico sigue requiriendo de tiempo y dedicación.

## REFERENCIAS

- Abelli, N., S. Montico.; Tron, R. 1988. Relevamiento de unidades morfoedáficas en el área de influencia de la Cooperativa agrícola-ganadera de Chabás. I Simposio internacional sobre el holoceno superior en América del Sur. 258 p. Paraná, Argentina.
- Bonel, B.; Montico, S.; Dileo, N.; J. Denoia; Vilche, M. S. 2005. Análisis energético de las unidades de tierra en una cuenca rural. Revista FAVE, 4 (1-2):37-47.
- Caviglia O.P.; Sadras, V. O.; Andrade F. H. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas: I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. Field Crops Research, Volume 87, Issues 2-3.
- CEPAL. 2007. La seguridad energética de América Latina y el Caribe en el contexto mundial. Serie Recursos Naturales e Infraestructura, N° 128. 104 pp.
- Conforti, P.; Giampietro, M. 1997. Fossil energy use in agriculture: an international comparison. Agriculture, Ecosystems and Environment 65: 231-243.
- Di Leo, N.; Montico, S.; Bonel, B.; Denoia, J. 2007. Estimación de la APAR y la NPP mediante sensoriamiento remoto en tres sectores de la Pampa Húmeda, Argentina. Revista CDyT. 35(8): 221-242.
- Farrell A. E.; Plevin R. J.; Turner B.T.; Jones A. D.; O'Hare. M; Kammen D. M. 2006. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. Science 311: 506-508.
- Fischer, G.; Schrattenholzer, L. 2001. Global bioenergy potentials through 2050. Biomass and Bioenergy, 20:151-159.
- Hills, J.; Nelson, E.; Tilman, D.; Polasky E.; Tiffany, D. 2006. Environmental, economic, and environmental costs and benefits of the production of biodiesel and ethanol biofuels, Proceedings of the National Academy of Sciences 103, N° 30, 11206-11210.
- Honty, G.; Godynas, E. 2007. Agrocombustibles y desarrollo sostenible. En América Latina y el Caribe. Situación, desafíos y opciones de acción. CLAES. Montevideo, Uruguay, 34 p.
- Hülsbergen, K. J.; B. Feil, S. Biermann; G. W. Rathke; W. D. Kalk ; Diepenbrock, W. 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. Agriculture, Ecosystems and Environment 80:303-321.
- Infostat/Profesional. 2002. Software estadístico. Actualización 23/09/02. U.N. Córdoba, Argentina.
- INTA. 1975. Carta de suelos: Carcarañá, Andino, Cañada de Gomez-Rosario, Casilda, Arroyo Seco-San Nicolás de los Arroyos. Buenos Aires. Argentina.
- Mae-Wan, H; Bunyard, P.; Saunders, P.; Bravo, E.;Gala, R. 2006. Which Energy?. Institute of Science in Society Energy Report. London, UK.71 p.
- Montico, S.; Bonel, B.; Dileo, N.; Denoia, J. 2006. Flujos de energía en sistemas agrícolas de una cuenca de la región centro de Argentina. Cuadernos del CURIHAM, 12:7-14.
- Montico, S.; Bonel, B.; Dileo, N.; Denoia, J. 2007. Gestión de la energía en el sector rural. Ed UNR. 204 p. Rosario, Argentina.
- Montico, S.; Dileo, N. 2002. Producción primaria neta potencial en unidades de tierra de una cuenca rural de Santa Fe, Argentina. Ciencia e Investigación Agraria. 29 (1): 45-52.
- Montico, S.; Dileo, N. 2007. Cambio de la sostenibilidad biofísica en cuencas hidrográficas: tres décadas de reemplazo de pastizales naturales por agricultura. Cuadernos del CURIHAM, 13: 1-7.
- NCCE. 2008. Conversion Factors for Bioenergy. Woody Biomass: "Nature's renewable energy!". WB-0008.North Carolina, EEUU.
- Patzek,T. 2003. Etanol from corn: Clean renewable fuel for the future or drain on our resources and pockets? University of California.
- Patzek T.; Pimentel, D. 2005. Thermodynamics of energy production from biomass. Critical Reviews in Plant Sciences 24:327-364.

- Pervanchon, F; Bockstaller, C.; Girardin, P. 2002. Assessment of energy use in arable farming systems by means of agro-ecological indicator: the energy indicator. *Agricultural Systems* 72:149-172.
- Pimentel, D. 2001. The limitations of biomass energy, in Meyers, R., ed. *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. (3rd edn.), Vol. 2: Academic, San Diego, CA, p. 159-171.
- Pimentel, D.; Patzek, T. W. 2005. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. *Natural Resources Research*, Vol. 14, No. 1, 65 – 76.
- Shapouri, H.; Duffield, J.A.; Wang, M. 2002. The Energy Balance of Corn-Ethanol: An Update, U.S. Department of Agriculture, *Agricultural Economic Report* N°. 814.
- Torre Ugarte, D.G. de la. 2006. Bioenergy and agriculture: Developing bioenergy: economic and social issues. *Biofuels and the global food balance*. IFPRI Focus 14, N° 2, Washington. EEUU.
- Tripathi, R. S.; Sah, V. K. 2001. Material and energy flows in high-hill, mid-hill and valley farming systems of garhwal Himalaya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 86: 75-91.
- USDA. 1961. Soil Conservation Service (SCS). *Land Capability Classification*. Agriculture Handbook N° 210. USA.
- Zimmermann E.; Riccardi, G. 2001. Modelo de simulación hidrológica superficial y subterránea para el manejo hídrico en áreas de llanura. *Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. 106 pp. Rosario, Argentina.

*Artículo recibido el 12/2008 y aprobado para su publicación el 11/2009.*