

## ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LAS UNIDADES DE TIERRA EN UNA CUENCA RURAL

**BONEL, B. A.<sup>1</sup>; MONTICO, S.<sup>1</sup>; DI LEO, N.<sup>1</sup>; DENOIA, J. A.<sup>1</sup> & VILCHE, M. S.<sup>1</sup>**

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue aplicar un modelo de balance de energía en las unidades de tierra (UT) definidas en una cuenca hidrográfica. Se determinaron diez UT a partir de unidades de paisaje y superficie operada por productor. Se caracterizaron los ingresos (IE) y egresos energéticos (EE) en sistemas de producción agrícolas. Se calculó la energía neta (EN) y la relación EE/IE (Re). Los datos se analizaron mediante un ANVA ( $p < 0,05$ ). Los parámetros IE, EE, EN y Re no fueron diferentes entre UT, por lo cual se infiere que el modelo de producción, desde el punto de vista energético, fue similar. Se hallaron relaciones de interés entre las variables de estudio y la proporción de cultivos, por lo que se puede recomendar para los sistemas agrícolas de la cuenca una planificación del uso de la energía general teniendo en cuenta el uso de la tierra.

*Palabras clave:* balance de energía, agricultura, planificación.

### SUMMARY

#### **Energy analysis of the land units in a rural basin.**

The objective of this work was to apply an energy balance model in land units (UT) defined in a rural basin. Ten UT were determined from landscape units and surface operated by producer. The energy inputs (IE) and outputs (EE) were characterized in agricultural production systems. The net energy (IN) and the relationship EE/IE (Re) was calculated. The data were analyzed for ANVA ( $p < 0,05$ ). IE, EE, IN and Re parameters were not different between UT, reason why it is inferred the production model, from the energy point of view, that was similar. Interest relationships were found between the study variables and the proportion of crops, for what is possible recommend, for the basin agricultural systems, the planning of the general energy use considering the land use.

*Words key:* energy balance, agriculture, planning.

---

1.- Cátedra de Manejo de Tierras. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. Parque Villarino. C. C. 14. (2125) Zavalla, provincia de Santa Fe. Email: bonel@arnet.com.ar  
Manuscrito recibido el 15 de setiembre de 2005 y aceptado para su publicación el 27 de diciembre de 2005.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de la investigación de los recursos naturales en la actividad agropecuaria es generar conocimientos sobre los distintos ambientes intervenidos por el hombre y definir sobre esta base el adecuado manejo de los factores controlables y el desarrollo de nuevas tecnologías (Pereira dos Santos *et al.*, 2000). La aplicación de este enfoque a grandes escalas es sumamente importante para incrementar el control de los flujos en amplias áreas geográficas y a largo plazo (Viglizzo *et al.*, 2003). Los controles sobre las funciones ecológicas son determinados por factores biofísicos y socioeconómicos que varían de una escala a otra. Las acciones humanas, como ubicación de los cultivos, sistemas de labranzas, aplicación de pesticidas y fertilizantes, pueden hacer sentir sus efectos a niveles correspondientes a mayor escala (Solbring & Viglizzo, 1999), y a la vez controlan patrones geográficos predecibles de ciclos y flujos de energía, nutrientes y agua (Wagenet, 1998), a partir de diferencias en la geomorfología, el clima y la calidad de las tierras. Precisamente, respecto a la energía, las posibilidades de satisfacción de la creciente necesidad de alimentos que acompaña al crecimiento demográfico mundial pueden verse comprometidas por el aumento del uso de la energía fósil en proporciones mayores que el aumento poblacional. En este sentido, los cambios tecnológicos no proveen una real emancipación de la producción desde la base de los recursos naturales ya que depende del uso, cada vez mayor, de energía fósil (Mayumi, 1991). El grado de artificialización creciente implica la pérdida de la estabilidad de los sistemas antropizados (Collazo, 1990) y la búsqueda de nuevos equilibrios. En la región pampeana Argentina el consumo de energía fósil ha aumentado, duplicando entre 1988 y 1996

la productividad de sus tierras y el consumo de energía fósil. En términos de uso de la energía, la pradera pampeana tiene un comportamiento semi-intensivo, tendiente hacia modelos intensivos del hemisferio norte. La pampa ondulada administra un presupuesto energético alto, por lo que se justifican los estudios regionales tendientes a prevenir o corregir problemas ambientales asociados a la intensificación productiva (Viglizzo *et al.*, 2002). Para el análisis energético Odum (1975) propone un modelo basado en las relaciones de entradas y salidas. La aplicación de los términos de eficiencia energética, intensidad energética y rendimiento energético ha sido satisfactoria a diferentes escalas y objetivos (Pervanchon *et al.*, 2002). Por otra parte, el aprovechamiento, ordenación y uso de los recursos naturales, deben contemplar la definición de las cuencas hidrográficas como unidad de análisis, mientras que la identificación y valoración de las unidades de tierras que componen una cuenca constituyen un vínculo entre el reconocimiento básico de los factores productivos y la adopción de decisiones sobre la planificación y ordenamiento territorial (SYS *et al.*, 1991).

La hipótesis de este trabajo es que los resultados del análisis energético a nivel de cuenca varían de acuerdo con las características de las Unidades de Tierra, aportando este enfoque información significativa para la planificación y ordenamiento del territorio, siendo el objetivo de este trabajo aplicar un modelo de balance de energía en las UT definidas en una cuenca hidrográfica regional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la cuenca del arroyo Ludueña (70.000 has) en el sureste de la provincia de Santa Fe. El clima es sub-

húmedo mesotermal, con una temperatura media anual de 17 °C y con un monto de precipitaciones totales promedio de 1.110 mm. La cabecera de la cuenca 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. La red de cursos permanentes y transitorios mide 140 km, con una pendiente media de 1,0 ‰. El caudal base del arroyo es de 0,50 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, en tanto que en crecidas ordinarias se alcanzan los 80 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> y en extraordinarias (R > 50 años) caudales superiores a 400 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

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 (INTA, 1984), cartas de suelo (INTA, 1975) e información hidrológica local (Zimmermann & Riccardi, 2001). Como resultado de este procedimiento se definieron y georreferenciaron a través del sistema de información geográfica (SIG) ArcWiev 3.2, cuatro UP, cuyas características principales se describen a continuación:

#### UNIDAD DE PAISAJE Nº1 (UP1)

Abarca posiciones de relieve correspondientes a lomas extensas y ligeramente onduladas, con pendientes menores al 1% (0,5-1 ‰). 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 pendiente 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).

La UP1 está atravesada por áreas inclinadas hacia los cauces situados al pie de la loma constituyendo áreas cóncavas, cuyos suelos corresponden a las Consociaciones Serie Peyrano moderadamente engrosada (Py2x) y Serie Peyrano bien drenada y engrosada (Py20), la clasificación por capacidad de uso corresponde a II<sub>e</sub> y II<sub>w</sub>, respectivamente.

#### UNIDAD DE PAISAJE Nº2 (UP2)

Abarca lomas extendidas. Algunos sectores corresponden a interfluvios entre vías de drenaje. Están presentes numerosos micro-re-llieves 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. Los suelos presentes corresponden a las Series MF y Rd (fases erosionada y engrosada) y Ge, con capacidad de uso: IV<sub>w-s</sub>. La clasificación taxonómica de las series corresponde a Natralbol típico (Ge), Argialbol típico (MF) y Natracualf típico (Za). Los suelos de la UP2 abarcan las consociaciones Rd8, Rd12, Rd15 y Rd11.

#### UNIDAD DE PAISAJE Nº3 (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) y MF, con capacidades de uso que comprenden las clases VI<sub>w-s</sub> y VII<sub>w-s</sub>. Taxonómica-mente corresponden a Argiudoles vérticos (Rd), Argiudol ácuico (Ma), Argialboles típicos (MF), Natralboles típicos (Ge) y Natracualfes típicos (Za), y están presentes en las Consociaciones Rd10, Za2 y Za3.

#### **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 (UT) relacionando las UP con la modalidad de producción más representativa a partir de una estratificación por superficie total operada (ES). Los estratos definidos, en base a consultas a referentes calificados, correspondieron al siguiente rango de superficies: estrato A: 20 a 150 has, estrato B: 151 a 450 has, estrato C: más de 451 has. Puesto que la base de datos correspondientes a los productores no era completa, se trabajó con una población total de 166 productores que representaban 18.965 has de la cuenca. Con la información disponible se realizó la vinculación de las UP con los ES mediante intersección espacial de las coberturas UP y ES, resultando en una nueva cobertura conteniendo las UT. De esta manera se obtuvieron 10 UT: A1, A2, A3, A4, B1, B2, B4, C1, C2 y C3.

Con el fin de caracterizar los ingresos y egresos energéticos en cada UT, se realizaron encuestas a productores. Para obtener el tamaño de muestra de cada UT se consideró un diseño aleatorio y la adjudicación óptima

de Neymann. El error máximo admisible “e” fue igual a 10 y el error permisible al realizar una estimación “k” fue igual a 1. Se eligieron unidades de reemplazo por cada estrato. En total se encuestaron 52 productores, abarcando una superficie de 11.264 has. La encuesta abarcó la campaña de producción agrícola correspondiente al período 2003 – 2004. Los aspectos relevados en sistemas agrícolas incluyeron tipo, densidad y superficie sembrada de los diferentes cultivos; tipo y dosis de fertilizantes aplicados a los diferentes cultivos; tipo y dosis de pesticidas utilizados en los diferentes cultivos; operaciones realizadas para la preparación de la cama de siembra, siembra, protección, fertilización y cosecha de los diferentes cultivos.

Para el cálculo de los indicadores relacionados al ingreso y egreso de energía en las UT se determinaron los parámetros energéticos que figuran en el Cuadro 1 (Hülsbergen *et al.*, 2001) y los valores de referencia que se presentan en el Cuadro 2 (Pereira dos Santos *et al.*, 2000).

Los datos se analizaron en un modelo estadístico completamente aleatorizado, comparando las distintas UT. Asimismo se calcularon los coeficientes de correlación entre las variables del modelo de análisis energético y entre éstas y las proporciones de cultivos (Infostat, 2002). Los valores de IE, EE, EN y Re se expresaron en Mj.ha<sup>-1</sup>.

## **RESULTADOS**

Como resultado del análisis de las encuestas realizadas a productores se definió la proporción de cultivos presentes en las unidades de tierras (UT) analizadas en la campaña 2003/2004 (Cuadro 3). El cultivo predominante fue el de soja, ocupando más del 50 % de la superficie total en la mayoría de las UT, el doble cultivo Trigo/Soja ocupó

Cuadro 1: Componentes del modelo utilizado en el análisis energético.

Parámetros energéticos	Definición
Energía directa (Ed)	Ingreso de gasoil
Energía indirecta (Ei)	Semillas + Fertilizantes + Pesticidas + Maquinaria
Ingreso de energía (IE)	IE = Ed + Ei
Egreso de energía (EE)	Biomasa cosechada
Energía neta (EN)	EN = EE - IE
Relación egreso/ingreso (Re)	Re = EE / IE

Cuadro 2: Coeficientes energéticos para los insumos de producción utilizados.

Concepto	Unidad (U)	Mj . U	Concepto	Unidad (U)	Mj . U
<b>Semillas</b>			<b>Operaciones</b>		
Soja	kg	16,62	SD Soja, Maíz, Sorgo	ha	368,05
Trigo	kg	16,62	SD Trigo	ha	545,58
Maíz	kg	<b>32,99</b>	Siembra Convencional	ha	346,4
Sorgo	kg	32,99	Fertilización	ha	99,59
			Protección de cultivos	ha	99,59
<b>Pesticidas<sup>1</sup></b>			Cosecha Sj, Mz, Sg	ha	562,9
			Cosecha Trigo	ha	627,85
Herbicidas	cc	0,418			
Insecticidas	cc	0,364	<b>Labores</b>		
Fungicidas	cc	0,272			
Curasemillas <sup>2</sup>	cc	0,136	Disco	ha	259,8
			Cinzel	ha	281,45
<b>Fertilizantes</b>			Cultivador de campo	ha	238,15
Nitrógeno (N)	kg	77,53	Rastra	ha	103,92
Fósforo (P)	kg	6,035			
Azufre (S)	kg	9,74	<b>Granos</b>		
Potasio (K)	kg	14,41	Soja	kg	16,75
			Trigo	kg	15,45
<b>Inoculante</b>	cc	0,011 <sup>3</sup>	Maíz	kg	16,54
			Sorgo	kg	14,06

<sup>1</sup> concentración energética por unidad de principio activo; <sup>2</sup> carbendazim; <sup>3</sup> se igualó a la concentración energética de la deltametrina

entre un 14 y 50 % de la superficie total y los cultivos de maíz y el sorgo representaron una baja participación en la ocupación de la tierra.

No se hallaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre las diferentes UT en las variables analizadas (EE, IE, EN y Re) (Cuadro 4). La producción de

energía (EN) varió entre 45.000 y 67.000 Mj.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> y el consumo de energía (IE) osciló entre 5.000 y 6.000 Mj.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> (Cuadro 4). La eficiencia energética medida como la relación EE/IE en las UT analizadas en la Cuenca del Arroyo Ludueña en la campaña 2003 – 2004 superaron el valor de

Cuadro 3. Proporción de cultivos en cada Unidad de Tierra (UT). Campaña agrícola 2003 –

UT	Sup (has)	N	Soja	Trigo/Soja	Maíz	Sorgo
			..... % .....			
A1	1.068	18	75	22	3	0
A2	140	2	100	0	0	0
A3	203	3	65	27	0	8
A4	120	1	33	33	0	33
B1	2.298	12	76	20	4	0
B2	1.507	6	59	25	13	3
B4	542	2	66	14	20	0
C1	2.197	4	69	19	10	2
C2	180	1	61	22	0	17
C3	3.009	3	57	26	10	7

N = número de productores en cada UT; Sup =superficie

Cuadro 4. Análisis energético en cada Unidad de Tierra (UT). Campaña agrícola 2003 – 2004.

UT	IE	EE	EN	EE/IE
	..... Mj.ha <sup>-1</sup> .....			
A1	5.363	61.054	55.690	12,3
A2	3.529	48.569	45.040	13,8
A3	5.928	66.275	60.347	12,0
A4	5.277	66.637	61.360	12,6
B1	5.778	60.649	54.872	10,8
B2	6.575	70.647	64.072	11,5
B4	5.844	73.263	67.419	12,4
C1	6.157	70.396	64.239	11,7
C2	4.860	60.129	55.269	12,4
C3	6.997	72.382	65.385	10,5

IE = ingresos de energía; EE = egresos de energía; EN = energía neta (EE-IE).

10, con un promedio de 12. Por otra parte la EN se correlacionó en forma positiva con la cantidad de energía que egresa por hectárea (EE) ( $R^2 = 0,99$ ;  $p < 0,05$ ). Estos resultados son en cierta forma predecibles puesto que la cantidad de energía que egresa en los sistemas de producción agropecuarios es casi diez veces mayor que la energía que ingresa como insumos. Considerando todas las UT el egreso energético promedio fue de 65.000  $Mj \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ . En cuanto a los ingresos energéticos, se halló una correlación positiva con la EN ( $R^2 = 0,59$ ;  $p < 0,05$ ) y con los EE ( $R^2 = 0,68$ ;  $p < 0,05$ ). A su vez los IE tuvieron una correlación inversa con Re ( $R^2 = -0,48$ ;  $p < 0,05$ ). Estos resultados evidencian que una aplicación mayor de energía en términos de insumos logra aumentos de producción pero con niveles de eficiencia de uso de la energía menores.

Para el análisis energético se definieron los ingresos indirectos (IEi) y los ingresos

directos (IEd). La energía correspondiente a los IEi no se consume directamente en el campo, pero es necesaria para la producción de los inputs utilizados por los cultivos, fertilizantes y pesticidas. La discriminación del ingreso energético entre estos dos tipos de energía correspondió a un rango comprendido entre el 22 % y el 38 % para los IEd y entre el 62 % y el 78 % para los IEi (Cuadro 5). El análisis de la discriminación de los IE por rubro (Cuadro 5) permite decir que existen diferencias entre UT en los valores de ingresos por fertilizantes ( $IE_{FE}$ ), herbicidas ( $IE_{HE}$ ), fungicidas ( $IE_{FU}$ ), insecticidas ( $IE_{IN}$ ) y labores ( $IE_L$ ). No obstante, las diferencias mínimas significativas del test de Tuckey son altas debido a que algunas UT estuvieron representadas por pocos productores (Cuadro 3), por lo que no difieren estadísticamente ( $p < 0,05$ ). Tampoco se hallaron diferencias significativas entre UT en ingresos energéticos por semillas ( $IE_{SE}$ ), aplicaciones de pesticidas ( $IE_A$ ), siembra y

*Cuadro 5. Comparación de la proporción de los diferentes rubros considerados para el cálculo de los ingresos de energía directa (IEd) e indirecta (IEi). Campaña agrícola 2003 – 2004.*

	$IE_{FE}$	$IE_{HE}$	$IE_{FU}$	$IE_{IN}$	$IE_{SE}$	IEi	$IE_A$	$IE_L$	$IE_{SC}$	IEd
A1	23	20	0	0	28	71	4	3	22	29
A2	0	30	0	1	31	62	7	5	26	38
A3	25	29	0	1	23	78	5	0	17	22
A4	9	33	1	0	32	75	6	0	19	25
B1	35	15	1	0	25	76	4	0	20	24
B2	34	18	0	1	23	78	4	0	18	22
B4	23	25	1	1	25	74	5	0	21	26
C1	32	16	1	6	22	77	3	1	18	23
C2	5	32	1	2	29	70	6	0	25	30
C3	31	20	1	1	24	78	4	0	17	22

*FE = fertilizantes; HE = herbicidas; FU = fungicidas; IN = insecticidas; SE = semillas; A = aplicaciones de pesticidas y fertilizantes; L = labores; SC = operaciones de siembra y cosecha*

cosecha ( $IE_{sc}$ ).

El análisis energético en las diferentes UT no presentó diferencias, por lo cual se infiere que el modelo de producción, desde el punto de vista energético, en las diez UT definidas es similar.

La proporción de cultivos tendría una influencia importante sobre los resultados del análisis energético. La proporción que cada productor realizó de soja de primera se correlacionó de manera negativa con los ingresos y egresos energéticos y con la EN (Cuadro 6), mientras que la proporción del doble cultivo trigo/soja tuvo una alta correlación positiva con los IE y el cultivo de maíz con los EE y la EN. Se podría pensar que, en función de la combinación de cultivos, se puede maximizar la EN, si el objetivo es generar producción física, o minimizar los IN, si el objetivo es disminuir el impacto del uso agrícola de las tierras sobre el ambiente. Por otra parte no se hallaron relaciones de interés entre Re y la proporción de cultivos, ya que las correlaciones halladas fueron bajas (Cuadro 6). La Re estuvo relacionada en forma negativa con los IE con un  $R^2$  de  $-0,48$  ( $p < 0,05$ ), mientras que con la EN y los EE las correlaciones fueron menores ( $R^2 = 0,35$  y  $R^2 = 0,25$  respectivamente;  $p < 0,05$ ).

## DISCUSIÓN

Los valores de consumo (IE) y producción de energía (EN) hallados en este trabajo son mayores que los informados por Viglizzo *et al.* (2002), quien contabilizó para la pampa ondulada una producción de energía de  $32 \text{ Gj} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  en la década del 90 y un consumo de  $4 \text{ Gj} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ . Estos resultados confirman la tendencia hacia la intensificación energética señalada por el autor mencionado con anterioridad. A pesar de advertirse un aumento de inputs energéticos, la región se halla en un nivel relativamente bajo de consumo de energía fósil ya que, a nivel global, se mencionan variaciones en los inputs energéticos para producir cultivos desde menos de  $1 \text{ Gj} \cdot \text{ha}^{-1}$  en sistemas de bajos inputs de Africa hasta más de  $30 \text{ Gj} \cdot \text{ha}^{-1}$  en el oeste europeo (Faidley, 1992).

En cuanto a la eficiencia energética (Re) los valores hallados fueron mayores que los correspondientes a la pampa ondulada en la década del 90 (Viglizzo *et al.*, 2002). Probablemente la inclusión de híbridos y variedades mejoradas y de prácticas de manejo más adecuadas influyan sobre estos resultados. Cuando la Re se acompaña con la estimación de la productividad de la tierra, es

Cuadro 6. Coeficientes de correlación entre los parámetros energéticos y las proporciones de cultivos.

	IE	EE	EN	EE/IE
Soja	- 0,78 *	- 0,76 *	- 0,71 *	0,15 ns
Trigo/Soja	0,65 *	0,44 *	0,38 *	0,31 *
Maíz	0,24 ns	0,56 *	0,58 *	0,36 *
Sorgo	0,14 ns	0,32 *	0,32 *	0,02 ns

(\*) correlación estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ )

(ns) correlación estadísticamente no significativa ( $p < 0,05$ )



un indicador de la carga ambiental (Conforti & Giampietro, 1997). La interpretación de estos valores también depende de las condiciones socioeconómicas del país que se analice. Los países dotados de poca superficie por productor requieren una alta cantidad de energía fósil para alcanzar una alta productividad. En cambio los países donde la dotación de tierras es alta, una mayor productividad se obtiene aplicando comparativamente baja cantidad de energía fósil por unidad de egreso. En la cuenca del arroyo Ludueña el relativo alto nivel de eficiencia es acompañado por niveles de productividad menores a los obtenidos en países de Europa (Ceccon *et al.*, 2002). Estos sistemas podrían tener un funcionamiento parecido a los sistemas orgánicos que, generalmente, tienen menor uso de energía comparado con los sistemas convencionales, por lo que la eficiencia es mayor, pero los rendimientos también son menores, es decir que la energía neta es baja (Dalgaard *et al.*, 2001).

Desde otro punto de vista, el análisis energético a través de la relación egreso/ingreso (Re) o de la energía neta (EN) puede enmascarar el efecto negativo del uso de la energía, ya que un nivel de uso de energía puede sobrepasar un nivel aceptable de impacto sobre el ambiente, y esto no acuerda con el concepto de sustentabilidad. En la cuenca del arroyo Ludueña la mayoría de las UT consumen entre 5.000 y 7.000  $\text{Mj}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Pervanchon *et al.* (2002) hallaron un consumo mínimo de 3.500  $\text{Mj}\cdot\text{ha}^{-1}$  para sistemas de producción orgánicos y un consumo máximo de 40.000  $\text{Mj}\cdot\text{ha}^{-1}$  para sistemas de producción intensivos. Estos mismos autores determinaron que la condición límite de manejo conservacionista consumía 9.000  $\text{Mj}\cdot\text{ha}^{-1}$ . En Inglaterra Bailey *et al.* (2003) hallaron consumos energéticos entre 12.000 y 20.000  $\text{Mj}\cdot\text{ha}^{-1}$  comparando usos convencionales e integrados en varias

regiones agrícolas, y en Dinamarca Dalgaard *et al.* (2001) estimaron consumos mayores a 5.000  $\text{Mj}\cdot\text{ha}^{-1}$  tanto en sistemas agrícolas convencionales como orgánicos. Tomando estos valores de referencia, se puede decir que los inputs energéticos hallados en la región del Ludueña son relativamente bajos y que tendrían un nivel de impacto sobre el ambiente también bajo.

En general la mayor fuente de consumo energético indirecto corresponde a los fertilizantes. Clements *et al.* (1995) citan para soja, trigo y maíz valores de consumo energético para el rubro fertilizantes que van desde un 30 % a un 80 % del consumo total de energía indirecta, variando según modo de producción. Stout (1984) también reporta altos consumos energéticos en forma de fertilizantes en relación a otras formas de ingreso de la energía. En este trabajo el 30 % de los IEi, en promedio, correspondieron a  $\text{IE}_{\text{FE}}$ , con un valor máximo de 45 % para la UT B1. Debido a la menor participación de los fertilizantes en el total de energía indirecta ingresada en las UT, el ingreso relativo a la producción de semillas ( $\text{IE}_{\text{SE}}$ ) alcanza una participación promedio de 37 %, valor que es mucho mayor que el rango de 1 a 13 % citado en la bibliografía. Coincidiendo con otros autores (Clements *et al.*, 1995), al tener un uso relativamente menor de fertilizantes, los pesticidas tienen mayor influencia sobre el total de IEi. Los ingresos energéticos a través de los herbicidas ( $\text{IE}_{\text{HE}}$ ) ocupan en promedio un 31 % del total de IEi. En valores absolutos, la cantidad de energía que ingresa a las UT como herbicidas se encuentra entre 890 y 1700  $\text{Mj}\cdot\text{ha}^{-1}$ , valores que están próximos a los calculados por Pervanchon *et al.* (2002) para usos intensivos de la energía.

La importancia de discriminar que rubro de insumos representa el mayor costo energético para una determinada UT radica en el hecho de poder introducir modificaciones,

de manera de conservar más energía para el sistema. En general es más importante modificar el uso de fertilizantes que el de herbicidas ya que el costo energético de éstos últimos es menor que el de fertilizantes (Clements *et al.*, 1995), tal como sucede en este trabajo y en la mayoría de las UT. De todas formas, los niveles de consumo de energía en estos dos rubros son bajos.

En la agricultura regional actual, caracterizada por la aplicación de tecnología, el aumento de la producción está vinculada al uso de energía a través de inputs químicos, principalmente fertilizantes y pesticidas. En la cuenca del Arroyo Ludueña es posible aumentar la productividad a través de una mayor aplicación de energía en los sistemas agrícolas. En este sentido habría que considerar el rol de la tecnología de procesos y el costo de oportunidad de la tierra al sacar conclusiones sobre la conveniencia o no de un mayor uso de energía (Uhlin, 1999).

El análisis energético ha sido aplicado para hacer efectiva y eficiente la planificación de agroecosistemas, llegando hasta la recomendación de cultivos para posiciones de relieve diferentes (Tripathi & Sah, 2001). En este trabajo, a pesar de que se consideraron aspectos socioeconómicos (ES) y biofísicos (UP), la aplicación de insumos y tecnología en los sistemas agrícolas de la cuenca del Arroyo Ludueña fue similar en las distintas UT, por lo que los resultados del análisis energético no difirieron entre ellas. De alguna manera se compensa la menor calidad de la UP3 y las restricciones de manejo del ES A con las mejores condiciones de las UP1, 2 y 4 y los ES B y C. Con estos resultados se puede recomendar realizar una planificación general del uso de la energía en la cuenca. Por otra parte las relaciones halladas entre las proporciones de cultivos y el análisis energético coinciden con los hallazgos de Ceccon *et al.* (2002) en

cuanto a la intensificación de los sistemas de producción. Estos resultados indicarían que éste sería un punto clave para avanzar en el estudio del uso de la energía en los sistemas agrícolas a nivel de cuenca.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABELLI, N.; S. MONTICO & R. TRON.** 1988. Relevamiento de unidades morfoedáficas en el área de influencia de la Cooperativa agrícola-ganadera de Chabás. Actas I Simposio Internacional sobre el holoceno superior en América del Sur. Paraná, Argentina. 258 pp.
- BAILEY, A. P.; W. D. BASFORD; N. PENLINGTON; J. R. PARK; J. D. H. KEATINGE; T. REHMAN; R. B. TRANTER & C. M. YATES.** 2003. A comparison of energy use in conventional and integrated arable farming systems in the UK. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 97 (1-3): 241-253.
- CECCON, P.; C. COIUTTI & R. GIOVANNARDI.** 2002. Energy balance of four farming systems in north-eastern Italy. *Italian Journal of Agronomy*. 6 (1): 73-83.
- COLLAZO, C.** 1990. Los sistemas agropecuarios de la región pampeana. *Revista IICA*. 3 (2): 34-43.
- CONFORTI, P. & M. GIAMPIETRO.** 1997. Fossil energy use in agriculture: an international comparison. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 65: 231-243.
- DALGAARD, T.; N. HALBERG & J. R. PORTER.** 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 87: 51-65.
- FAIDLEY, L.W.** 1992. Energy and agriculture. In: Fluck, R.C. (Ed.), *Energy in farm production*. Elsevier, Amsterdam, pp 1-2.
- HÜLSBERGEN, K.; B. FEIL; S. BIERMANN; G. RATHKE; W. KALK; W. DIEPEN-**

- BROCK.** 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86: 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.
- INTA.** 1984. La clasificación de las tierras por su capacidad de uso. Departamento de Suelos, Castelar, Buenos Aires. 28 pp.
- MAYUMI, K.** 1991. Temporary emancipation from land: from the industrial revolution to the present time. *Ecological Economics* 4 (1): 35-56.
- McLAUGHLIN, N. B.; A. HIBA; G. J. WALL & D. J. KING.** 2000. Comparison of energy inputs for inorganic fertilizer and manure based corn production. *Canadian Agricultural Engineering*, 42 (1): 009-017.
- ODUM, E. P.** 1975. *Ecology: The link between the Natural and Social Sciences.* Holt, Reinhart and Winston, New York. 295 pp.
- PEREIRA DOS SANTOS, H.; R. S. FON-TANELI; J. C. IGNACZAK & S. M. ZOLDAN.** 2000. Conversão e balanço energético e sistemas de produção de grãos com pastagens sob plantio direto”. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 35 (4): 743-752.
- PERVANCHON, F. ; C. BOCKSTALLER & P. GIRARDIN.** 2002. Assessment of energy use in arable farming systems by means of agro-ecological indicator: the *energy* indicator. *Agricultural Systems* 72: 149-172.
- SOLBRING, O. & E. F. VIGLIZZO.** 1999. Sustainable farming in the Argentine Pampas: History, Society, Economy and Ecology. DRCLAS Paper N° 99/00-1 Harvard University, Cambridge, MA.
- STOUT, B. A.** 1991. Energy use and management in agriculture. North Scituate, MA: Breton Publishers.
- SYS, C.; E. VAN RANST & J. DEBAVEYE.** 1991. Land Evaluation. ITC. Agricultural publications N° 7. GADC. Brussels. Belgium. 273 pp.
- TRIPATHI, R. S. & V. K. SAH.** 2001. Material and energy flows in high-hill, mid-hill and valley farming systems of garhwal Himalaya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 86: 75-91.
- UHLIN, H. E.** 1999. Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 73: 63-81.
- VIGLIZZO, E. F.; A. J. PORDOMINGO; M. G. CASTRO; F. A. LÉRTORA & J. N. BERNARDOS.** 2004. Scale-dependent controls on ecological functions in agroecosystems of Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 101 (1): 9-51.
- VIGLIZZO, E. F.; A. J. PORDOMINGO; M. G. CASTRO & F. A. LÉRTORA.** 2002. La sustentabilidad ambiental del agro pampeano. Programa Nacional de Gestión Ambiental Agropecuaria. INTA. 84 pp.
- WAGENET, R. J.** 1998. Scale issues in agroecological research chains. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 50: 23-34.
- ZIMMERMANN, E. & G. RICCARDI.** 2001. Modelo de simulación hidrológica superficial y subterránea para el manejo hídrico en áreas de llanura. Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Rosario. Argentina. 106 pp.