

ANÁLISIS DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN GANADEROS

DENOIA, J.^{1,2}, BONEL, B.¹, MONTICO, S.¹ & DI LEO, N.¹

RESUMEN

Se analizó la gestión de la energía en dos sistemas de producción de leche y dos sistemas productores de carne, ubicados en dos regiones agroecológicas diferentes. Se consideraron todos los ingresos de energía al sistema, caracterizados a través de flujos de materia física. La producción obtenida por hectárea se transformó en egreso de energía, empleando los coeficientes de contenido energético de cada producto.

La eficiencia energética y la productividad de la energía fueron los indicadores empleados para analizar los sistemas.

La producción de alimentos fue considerada como un subsistema dentro de cada sistema de producción y cada uno de los cultivos fueron sus componentes. Para cada cultivo se realizó un balance de energía y éstos fueron integrados en otro balance de nivel jerárquico superior, representando al subsistema de alimentación. Finalmente se elaboró un balance para cada sistema de producción, considerando a los alimentos como el ingreso de energía al sistema y los productos como su salida.

La producción de alimentos fue eficiente energéticamente y la productividad de la energía fue alta, en este caso. Los cultivos con altas cantidades de energía indirecta, resultaron los de menor eficiencia y productividad.

La eficiencia y la productividad energéticas de los sistemas de producción de leche y carne fueron bajas respecto a los subsistemas de alimentación que los integraban. Los dos sistemas lecheros resultaron energéticamente más eficientes que los de producción de carne y la productividad de la energía también fue mayor en estos.

Palabras clave: energía, sistemas de producción, balance, ganadería.

SUMMARY

Analysis of the energy management in livestock production systems.

The energy management was analyzed in two milk-producing systems and two meat-producing systems, placed in two different agroecological regions. All the energy inputs characterized as the flow of physical matter were considered. The production per hectare was transformed as output of energy using the coefficients of energy content of each product.

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.

2.- Cátedra de Estadística. FCA (UNR).

Manuscrito recibido el 28 de enero de 2008 y aceptado para su publicación el 6 de mayo de 2008.

The energy efficiency and the energy productivity were the parameters used to analyze the systems.

The production of food was considered as a subsystem within each production system and each of the crop were its components. For each crop a energy balance was done and the crops were integrated in another balance hierarchically superior, representing the food subsystem. Finally, a balance was done for each production system, considering the food as the input of energy to the system and the products as output.

The food production was energetically efficient and the energy productivity was high in this case. The crops with high amount of indirect energy resulted in the least efficient and productive.

The energetic efficiency and productivity of the milk and meat-producing systems were low in comparison with the food subsystems that constitute them. The two mil-producing systems were energetically more efficient than the meat-producing systems, and the energy productivity was also higher in the former ones.

Key words: energy, productive systems, balance, livestock.

INTRODUCCIÓN

La actividad agropecuaria es un importante, pero no dominante, usuario de la energía en países en vías de desarrollo en comparación con países con alto grado de industrialización. (Uhlin, 1999). El incremento de la productividad de estos sistemas en regiones no desarrolladas, debe contemplar aumentos en el ingreso de energía mejorando también la generación de alimentos y optimizando el desarrollo económico rural (Montico *et al.*, 2007). Por otra parte los sistemas agropecuarios son también productores de energía, transformando la aportada por el sol, en alimentos para los seres humanos y los animales.

El consumo de energía fósil, tanto en forma directa como indirecta, por parte de los sistemas agropecuarios, contribuye a la emisión de dióxido de carbono (CO₂), el cual junto con el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) generan el llamado efecto invernadero (Lewandowski, 2005), por lo que el uso ineficiente de la energía puede resultar en impacto ambiental (Meul *et al.*, 2007). El debate actual sobre el problema de la energía

en el sector rural se concentra en el análisis de las posibilidades de generación de energía desde las fuentes alternativas que se ofrecen a partir de los cultivos, la explotación forestal y la transformación de residuos. Reconociendo la importancia de este aspecto, no debería dejar de tenerse en cuenta la relación de la problemática energética con la situación y las proyecciones del desarrollo agrícola, que por su complejidad ha sido encarado en forma parcial y limitada, a saber, el uso de energía en la producción agropecuaria.

A pesar que el empleo de energía en el sector agropecuario es escaso en relación al consumo energético total, principalmente en países desarrollados (Montico *et al.*, 2007), la consolidación de agrosistemas energéticamente eficientes (alta relación output – input), contribuiría positivamente a la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero. Para esto es necesario conocer el comportamiento energético de los principales tipos de agrosistemas. En este sentido, los sistemas agrícolas actuales, requieren cantidades altas y crecientes de insumos (Denoia, 2006), lo que implica elevados cos-

tos energéticos. Por otra parte, el empleo de tecnologías de fertilización y control de adversidades, sumado al mejoramiento genético de los cultivos conducen al incremento de los rendimientos y por lo tanto del output de los agrosistemas (Bonel *et al.*, 2005). Por su parte, los sistemas ganaderos no han recibido hasta el presente la suficiente atención respecto a su análisis desde la perspectiva energética. En este caso, el empleo de insumos es diferente según la especialidad del sistema. La producción de leche está asociada al uso de altas cantidades de suplementos energéticos en la alimentación, modalidad de menor importancia en la actividad de invernada en sistemas no confinados y casi no empleada en la cría de ganado vacuno.

El objetivo principal de este trabajo es analizar en forma descriptiva la gestión de la energía en sistemas productores de leche y de carne, ubicados dos áreas agroecológicas diferentes. Por otra parte se propone determinar el total de energía empleada (directa e indirecta) en cada uno de los sistemas, analizando la importancia relativa de cada uno de los rubros que componen el input total de energía en el sistema. Además está previsto establecer la eficiencia energética y la productividad de la energía de cada sistema y los subsistemas que los componen.

MATERIALES Y MÉTODO

En este trabajo se analizaron dos tipos de sistemas productivos ubicados en áreas ecológicamente distintas. Se seleccionaron sistemas que, siendo ganaderos, sus objetivos productivos y sus características técnicas, representaran la realidad de la región y cuya descripción se hace a continuación.

Sistema de producción I: especializado en la producción de leche de vaca como ac-

tividad principal y de carne vacuna como actividad de segundo orden. Está ubicado en el departamento Nogoyá, provincia de Entre Ríos, Argentina. El clima es templado húmedo, con temperaturas medias diarias anuales de 17,7 °C, con variaciones entre 24,4 °C en enero y 10,9 °C en el mes de julio. El valor promedio de precipitaciones es de 970 mm, con tendencia a la concentración en los meses de verano y otoño. Respecto al recurso suelo, predominan los arcillosos oscuros, destacándose la presencia de arcillas expandibles, por lo que el perfil presenta grietas y superficies de fricción en las caras de los agregados (slickensides), debido al movimiento de la arcilla. El orden de suelos predominante es Vertisol y está representado por Pelludert argílico y Pelludert argiudólico. Los principales problemas de productividad están asociados a la erosión hídrica y a las limitantes que se presentan a nivel del desarrollo de la raíz debido a los elevados contenidos de arcilla en el perfil.

Sistema de producción II: ubicado también en el departamento Nogoyá, cuya principal actividad es la producción de carne vacuna. Las características agroecológicas son idénticas al sistema de producción I.

Sistema de producción III: se ubica en el departamento San Lorenzo, en el sureste de la provincia de Santa Fe y su objetivo es la producción de carne vacuna. El clima de la región es subhúmedo - húmedo mesotermal, con una temperatura media anual de 17 °C y con un monto promedio de precipitaciones anuales de 973 mm con distribución primavero-estivo-otoñal. El suelo predominante es un Argiudol vértico, (orden Molisol), de la serie Roldán, destacándose la presencia de limo (71,4%) en el horizonte superficial y la anisotropía aportada por el incremento en el contenido de arcilla al pasar del horizonte B1 al B2t (30,76 a 52,49%).

Sistema de producción IV: geográficamente muy próximo al sistema III, con similares características de clima y suelo. Actividad: producción de leche.

Las características de cada sistema se relevaron a través entrevistas, obteniendo para el período de un año, todo lo ingresado como insumos y el total de la producción.

CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS SISTEMAS

En este estudio se empleó el método de análisis de procesos (Meul *et al.*, 2007), considerando todos ingresos de energía (directa e indirecta) al sistema, caracterizados a través de flujos de materia física. La energía consumida en la labor del hombre y la aportada por el sol, no fueron incluidas. Solo se consideró la energía indirecta empleada en un paso previo al ingreso de los insumos al sistema. Por ejemplo en el caso de los herbicidas, se incluyó la energía de producción, empaque y transporte, pero no la empleada para fabricar los equipos que intervinieron en su manufactura.

Empleando este criterio para la determinación de los límites del sistema, fue incluido en el análisis aproximadamente un 90% del input de energía (Refsgaard *et al.* 1998). Otro límite impuesto es que el análisis de la

gestión energética se extendió solo hasta el momento en que los productos transpusieron los límites físicos del sistema, quedando excluidos el envasado, secado, almacenaje, transporte hasta los consumidores, etc.

El criterio de selección de estos límites esta basado en que el análisis pretendido en este trabajo esta centrado en la gestión de la energía en los sistemas y no en toda la cadena productiva y comercial en que cada producto podría estar involucrado.

Por otra parte, el análisis se restringe al período de un año, prorrateándose la energía aportada por aquellos insumos involucrados en procesos que exceden este tiempo.

En otro orden, cada caso analizado, fue dividido en subsistemas, a fin de poder estudiar de forma separada, los flujos de energía dentro del sistema, como así también la incidencia de cada una de las etapas del proceso productivo en el balance de energía.

Los indicadores empleados para evaluar el uso de la energía en los sistemas, como así también los parámetros usados para su determinación figuran en el Cuadro 1 (Meul *et al.*, 2006).

El contenido energético de los insumos y el de los productos obtenidos en cada sistema se obtuvo a partir de referencias utilizadas en otros trabajos. (Cuadro 2).

Cuadro 1. Parámetros empleados en el análisis energético.

Parámetros energéticos	Composición
Ingreso de energía directa (IE _d)	Gas oil + electricidad
Ingreso de energía indirecta (IE _i)	Semillas + Fertilizantes + Pesticidas
Ingreso de energía (IE)	IE = IE _d + IE _i
Egreso de energía (EE)	Biomasa cosechada
Indicadores	
Eficiencia energética (Ef E)	Ef E = EE/IE
Productividad energética (PE)	PE = Producto obtenido/IE

Cuadro 2. Coeficientes energéticos en insumos y productos

Concepto	Unidad (U)	Mj U	Concepto	Unidad (U)	Mj U
Semillas			Operaciones		
Alfalfa	kg	16,62 (a)	SD maíz	ha	368,05 (e)
Trébol rojo	kg	16,62 (a)	SC pastura	ha	363,4 (e)
Trébol blanco	kg	16,62 (a)	SD pastura	ha	545,58 (e)
Raigras	kg	16,62 (a)	Fertilización liq.	ha	99,59 (e)
Festuca	kg	16,62 (a)	Fumigación	ha	99,59 (e)
Maíz	kg	32,99 (a)	Cosecha maíz	ha	606 (e)
			Corte heno	ha	278 (e)
Pesticidas¹			Hilerado	ha	104 (e)
Herbicidas	cm ³	0,418 (b)	Enrollado	ha	109 (e)
Insecticidas	cm ³	0,364 (b)	Escarificado	ha	606 (e)
			Rastra de discos	ha	520 (e)
Fertilizantes			Productos		
Nitrógeno (N)	kg	77,53 (c)	Maíz silo	kg MS	12,93 (d)
Fósforo (P)	kg	6,035 (c)	Maíz grano	kg MS	14,57 (d)
Lubricantes	Mj/lt gas oil	3,6 (g)	Pasturas	kg MS	12,86 (d)
Electricidad	Mj/Kw	14,4 (f)	Carne vacuna	kg	10,17 (f)
Gas oil	lt	43,3 (f)	Leche	lt	2,72 (f)
Maquinarias	Mj/lt gas oil	12 (g)	Avena	kg MS	16,3 (f)
			Moha heno	kg MS	7,5 (f)

¹Concentración energética por unidad de principio activo. (a) Heichel (1980)*, (b) Pimentel (1980)*, (c) Machioro (1985)*, (d) Ceccon (2002), (e) Embrapa (1991)*, (f) Leach (1976).

* Citados por Pereira Dos Santos (2000), (g) Dalgaard (2001).

INGRESO DE ENERGÍA

Para el período de tiempo considerado, en cada sistema se contabilizó el total de energía ingresada, diferenciando energía directa e indirecta. Consideramos como energía directa (IE_d) a aquella consumida en las labores vinculadas a actividades productivas, incluyendo combustibles (gas oil, nafta, etc.), lubricantes y electricidad. El contenido energético de estos ítems representa a la energía calórica de cada uno (el monto de energía desprendido en el proceso de combustión) y a la energía empleada en el proceso de extracción, elaboración y transporte.

En función de los límites fijados para este trabajo, en la energía indirecta ingresada (IE_i) se incluyó a la energía involucrada en el pro-

ceso de producción de los fertilizantes, semillas, herbicidas, insecticidas, alimentos balanceados y maquinarias.

Para obtener el ingreso de energía, se multiplicó la cantidad de cada insumo empleado en el período de un año y en una superficie de una hectárea, por su correspondiente contenido energético.

EGRESO DE ENERGÍA

Para determinar la salida de energía se consideró la producción anual por hectárea de cada sistema. En el caso del tambo, fue considerada la producción de leche, como objetivo central del sistema y la producción de carne, por ser ésta un objetivo de segundo orden. En el sistema de invernada, se con-

sideró la producción de carne. La cantidad de energía producida se obtuvo al multiplicar el contenido energético de cada producto (leche o carne) por la cantidad producida en una hectárea, en el periodo de un año.

USO DE LA ENERGÍA

Para evaluar el uso de la energía, se empleó la eficiencia energética (EfE), indicador derivado de la relación entre los egresos e ingresos de energía al sistema. Por otra parte, como otra forma de evaluación del uso de la energía, en cada sistema y sus respectivos subsistemas se calculó la relación entre la cantidad de producto lograda y el *input* de energía, lo que denominamos productividad energética (PE).

Los ingresos y egresos de energía, se expresaron en $Mj \cdot ha^{-1}$. Para elaborar el balance energético de los subsistemas de alimentación se consideró la superficie proporcional de cada cultivo. La productividad de la energía de cada sistema se expresó como $Kg MS/100 MJ$.

RESULTADOS

En el sistema de producción de leche ubicado en Nogoyá (identificado como I), la producción de alimentos para el ganado está basada en pasturas de alfalfa (*Medicago sativa*), lotus (*Lotus tenuis*) y raigras (*Lolium sp*) que ocupan un 41% de la superficie, pastizal natural (47%) integrado por los géneros *Poa*, *Sporobolus*, *Chloris*, *Lotus* y *Hordeum* y verdeos de avena (*Avena sativa*) y moha (*Setaria itálica*) (6% cada uno).

En las pasturas, el 60,5% del consumo de energía proviene de combustibles y lubricantes (Cuadro 3). En cuanto al total de energía empleada, las pasturas se encuentran en una situación intermedia entre los verdeos de moha y avena (máximos consumidores de energía) y el pastizal natural (de

más bajo consumo de energía). En relación a éste último, se destaca la productividad energética lograda, basada en la ausencia de consumo de energía indirecta y al bajo uso de energía directa, en relación a los verdeos y las pasturas.

Por otra parte, se observa un elevado consumo de energía indirecta en el cultivo de avena (71% del total de energía), determinado principalmente por el empleo fertilizantes (urea y fosfato diamónico en dosis de $20 kg \cdot ha^{-1}$ de cada uno al momento de siembra). En moha, el empleo de energía indirecta es similar al de avena (aunque proporcionalmente menor -57% del total de energía-, y en su composición aparece el uso de pesticidas (herbicidas de acción total presiembra) y de fertilizantes (igual tipo y dosis que en avena). Respecto a este mismo cultivo, las labores destinadas a la confección de rollos se traducen en un mayor uso de energía directa, en relación a los demás fuentes de alimentación consideradas. Tanto avena como moha, muestran una estrecha relación entre energía producida y energía ingresada al sistema y escasa cantidad de materia seca producida en relación a la energía empleada (Cuadro 3).

La eficiencia observada en la producción de alimentos para el ganado (Cuadro 4) resulta superior a la obtenida por otros autores, como por ejemplo Ceccon *et al.*, quienes trabajando sobre cuatro sistemas de producción con diferentes niveles de empleo de insumos, obtuvieron para pasturas de alfalfa valores de eficiencia energética menores a 5, al registrar un ingreso de energía al sistema mayor a $16000 MJ \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$, y un egreso de $73421 MJ \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$, destacándose desde el punto de vista energético, el menor ingreso de energía en el sistema de producción analizado en este trabajo.

La productividad energética de este sistema resulta baja en relación a lo obtenido

por otros autores. Por ejemplo Meul *et. al.* (2007), midieron 15 – 30 lt de leche cada 100 Mj de energía ingresada, en tambos de Bélgica que producían cerca de 10000 litros de leche por hectárea, valor que triplica lo obtenido en el sistema descrito (Cuadro 5). El sistema II, basó su estrategia de alimentación en la producción de pasturas

Cuadro 3. Sistema de producción I. Subsistema de producción de alimentos: pasturas, avena, pastizal natural y moha. Parámetros energéticos.

	Pasturas	Verdeos avena	Pastizal natural	Moha heno
MS (kg/ha/año)	12000	1800	5500	5495
IEd				
Gas oil	386	710	225	1306
Lubricantes	128	59	39	108
Total IEd	514	769	264	1414
IEi				
Pesticidas	155	0	0	619
Fertilizantes	125	1.048	0	1045
Semillas	54	831	0	250
Total IEi	334	1879	0	1.914
IE (Mj/ha/año)	849	2648	264	3328
EE (Mj/ha/año)	154320	29340	12650	41213
EE/IE	182	11	48	14,7
PE (kgMS/100 Mj)	1413	68	2080	196

MS= materia seca IEd= ingreso energía directa IEi= ingreso energía indirecta. IE= Ingreso de energía total. EE= Egreso de energía. EE/IE= Eficiencia energética. PE= Productividad de la energía

Cuadro 4 Sistema de producción I. Subsistema alimentación. Parámetros energéticos.

IE (Mj/ha/año)	1453
EE (Mj/ha/año)	55164
EE/IE	38
PE (kgMS/100 Mj)	435

IE= Ingreso de energía total. EE= Egreso de energía. EE/IE= Eficiencia energética.
PE= Productividad de la energía.

Cuadro 5. Sistema de producción I. Parámetros energéticos.

Producción leche (lt/ha/año)	3118,4
Producción carne (kg/ha/año)	115
IE (Mj/ha/año)	55650
EE (Mj/ha/año)	9651,7
EE/IE	0,2
PE (lt leche/100 Mj)	5,6

IE= Ingreso de energía total. EE= Egreso de energía. EE/IE= Eficiencia energética.
PE= Productividad de la energía.

(festuca - *Festuca arundinacea* -, trébol rojo - *Trifolium pratense* -, cebadilla - *Bromus unioloides* -, lotus - *Lotus tenuis* - y trébol blanco - *trifolium repens* -) y maíz (76,5 y 23,5% respectivamente). A diferencia de los demás sistemas de producción analizados, el maíz no se ensila, sino que para alimentar a las vacas, se emplea grano molido. En las pasturas se emplearon fertilizantes en la siembra (80 kg. ha⁻¹ de urea y 80 kg. ha⁻¹ de fosfato diamónico) fertilizaciones nitrogenadas anuales (110 kg. ha⁻¹ de urea). En el cultivo de maíz los insumos más importantes fueron los fertilizantes (150 kg. ha⁻¹ de urea y 90 kg. ha⁻¹ de fosfato diamónico) y el gas oil.

Tanto en el cultivo de maíz como en la pastura, la energía indirecta fue la principal forma de ingreso energético al sistema (Cuadro 6), destacándose los fertilizantes (80 kg. ha⁻¹ de urea más 80 kg. ha⁻¹ de fosfato diamónico a la siembra y 110 kg. ha⁻¹ anuales de urea para la pastura y 150 kg. ha⁻¹ de urea y 90 kg. ha⁻¹ de fosfato diamónico en maíz), que

representaron un 85 y 84% del ingreso total de energía para pasturas y maíz respectivamente.

En el maíz, la alta producción energética del sistema (103.083 Mj/ha/año) no pudo expresarse en términos de productividad, debido al alto consumo de energía del sistema.

El subsistema de alimentación registró (Cuadro 7), para este caso, valores de productividad aceptables (96 kg MS/100 Mj), a pesar que por ejemplo el maíz se consumió molido, lo que representa una menor producción de energía (menor cantidad de materia seca y sólo un 11% mas de energía por unidad) respecto al consumo como silo (sistemas de producción III y IV).

El consumo energético del sistema en su conjunto resultó mayor que la producción. La producción de carne en este caso resultó ineficiente desde el punto de vista energético, lo que también quedó reflejado en la baja productividad energética lograda (Cuadro 8).

El sistema de producción III, cuya actividad principal es la producción de carne, basa

Cuadro 6. Sistema de producción II. Subsistema de producción de alimentos.

Parámetros energéticos.

	Pasturas	Maíz
MS (kg/ha/año)	5993	7075
IE_d		
Gas oil	534,8	1273
Lubricantes	78,5	106
Total IE _d	614,3	1379
IE_i		
Pesticidas	107,3	349
Fertilizantes	4870	5612
Semillas	127	713
Total IE _i	5104	6674
IE (Mj/ha/año)	5718	8053
EE (Mj/ha/año)	77070	103083
EE/IE	13,5	12,8
PE (kgMS/100 Mj)	104,8	88

(1) Materia verde. MS= materia seca IE_d= ingreso energía directa IE_i= ingreso energía indirecta. IE= Ingreso de energía total. EE= Egreso de energía. EE/IE= Eficiencia energética. PE= Productividad de la energía.

su alimentación en la producción de pasturas compuestas por alfalfa, trébol blanco y trébol rojo sobre un 86% de la superficie del establecimiento, correspondiendo el 14% restante a cultivos de maíz para ensilar. En este caso, la pastura consume algo más de una décima parte de la energía que requiere el silo de maíz (Cuadro 9), lo que sumado a una producción similar de energía, conduce a una relación egreso – ingreso de energía mucho mayor y también a una productividad energética más alta respecto a la gramí-

Cuadro 7. Sistema de producción II. Subsistema alimentación. Parámetros energéticos.

IE (Mj/ha/año)	6533
EE (Mj/ha/año)	83183
EE/IE	13
PE (kgMS/100 Mj)	96

IE= Ingreso de energía total. EE= Egreso de energía. EE/IE= Eficiencia energética.

PE= Productividad de la energía.

Cuadro 8. Sistema de producción II. Parámetros energéticos.

Producción carne (kg/ha/año)	484
IE (Mj/ha/año)	83183
EE (Mj/ha/año)	4922
EE/IE	0,06
PE (kg carne/100 Mj)	0,32

IE= Ingreso de energía total. EE= Egreso de energía. EE/IE= Eficiencia energética.

PE= Productividad de la energía.

Cuadro 9. Sistema de producción III. Subsistema producción de alimentos: pasturas y silo de maíz. Parámetros energéticos.

	Pasturas	Maíz (silo)
Prod MS (kg/ha/año)	13800	12000
IE_d		
Gas oil	311	3252
Lubricantes	78	270
Total IE _d	389	3522
IE_i		
Pesticidas	208	1249
Fertilizantes	797	8290
Semillas	66	660
Total IE _i	1071	10199
IE (Mj/ha/año)	1460	13721
EE (Mj/ha/año)	177468	155160
EE/IE (4)	122	11,3
PE (kgMS/100 Mj)	945	87,5

MS= materia seca IE_d=ingreso energía directa IE_i= ingreso energía indirecta.

IE= Ingreso de energía total. EE= Egreso de energía. EE/IE= Eficiencia energética.

PE= Productividad de la energía.

nea. Es destacable, en el caso del cultivo de maíz, la incidencia de los fertilizantes en el consumo de energía, representando un 60% del total.

El subsistema de producción de alimentos constituye una etapa eficiente dentro del ciclo de la energía en el sistema de producción de carne (Cuadro 10), ya que en la etapa siguiente, la relación egreso– ingreso de energía disminuye. En este sentido, en el Cuadro 11 puede observarse que el flujo de energía que ingresa al sistema supera ampliamente al egreso, resultando en una muy baja productividad energética (con 100 Mj de ingreso se producen 0,32 kg. de carne), en coincidencia con lo planteado por Gingins y Viglizzo (1987) quienes refieren un 2,5% de eficiencia en la conversión de energía bruta consumida como forraje a energía bruta como carcasa.

El sistema de producción IV, cuyo objetivo es la producción de leche, fue el de mayor complejidad respecto al subsistema de alimentación. Las pasturas constituyeron el 57,6 % de la superficie, los verdeos de avena

18,3%, los verdeos de raigras 8,2%, el maíz para silo abarcó un 7,9% y la misma superficie fue ocupada por el maíz destinado a consumo como grano húmedo.

En todos los cultivos se emplearon cantidades altas de insumos, principalmente fertilizantes, los que representaron un 88%, 51%, 55%, 59% y 72% del consumo total de energía en pasturas, maíz para silo, maíz para grano húmedo, avena y raigras, respectivamente. El gas oil fue el segundo insumo en importancia, excepto en avena donde la energía gastada en semillas ocupó el segundo lugar. En este sentido, las tareas de corte, hilerado, confección y transporte de rollos efectuadas sobre las pasturas, insumieron un 80,1% del total de gas oil empleado. En relación al consumo energético de maíz, en el caso del ensilado una proporción mayoritaria del gasto se vinculó las tareas de pica-do, acarreo y ensilado del cultivo, insumiendo como gas oil 2684 MJ/ha. En el caso del maíz empleado como grano húmedo, el empleo de gas oil para la cosecha y embolsado representó 750 Mj/ha.

Cuadro 10. Sistema de producción III. Subsistema alimentación. Parámetros energéticos

IE (Mj/ha/año)	3176
EE (Mj/ha/año)	174344
EE/IE	54,8
PE (kgMS/100 Mj)	426

IE= Ingreso de energía total. EE= Egreso de energía. EE/IE= Eficiencia energética.
PE= Productividad de la energía.

Cuadro 11. Sistema de producción III. Parámetros energéticos.

Producción carne (kg/ha/año)	692,3
IE (Mj/ha/año)	221381
EE (Mj/ha/año)	7041
EE/IE	0,03
PE (Kg carne/100 Mj)	0,32

IE= Ingreso de energía total. EE= Egreso de energía. EE/IE= Eficiencia energética.
PE= Productividad de la energía.

Los valores de eficiencia de los diferentes subsistemas de alimentación son bajos (Cuadro 12), y en el caso de las pasturas similares a lo obtenido por Ceccon *et al* (2002) en sistemas de producción ganaderos del noreste de Italia, aunque en este caso, los valores de ingreso y egreso de energía son menores que los registrados en nuestro trabajo.

Por otra parte es importante señalar el elevado consumo de energía indirecta en las

pasturas, explicado por el empleo de dosis anuales de fertilizantes con una alta carga energética. Los verdeos de avena y de raigras resultaron los más eficientes energéticamente, a partir de un bajo consumo de energía indirecta. Por otra parte, la productividad energética de los verdeos es la mayor, superando ampliamente a los restantes cultivos.

El alto consumo de energía generado en el subsistema de alimentación (Cuadro 13)

Cuadro 12. Sistema de producción IV. Subsistema de producción de alimentos. Parámetros energéticos.

	Pasturas	Maíz (Silo)	Maíz grano húmedo	Verdeo avena	Verdeo raigras
Prod MS (kg/ha/año)	12000	10200	7075	8000	8000
IEd					
Gas oil	2934	3451	1373	645	645
Lubricantes	94	72	141	54	54
Total IEd	3028	3523	1514	699	699
IEi					
Pesticidas	61	758	2149	418	418
Fertilizantes	24349	5246	5293	3964	3964
Semillas	91,4	660	660	1662	415
Total IEi	24501	5881	8102	6044	4797
IE (Mj/ha/año)	27529	10186	9616	6743	5497
EE (Mj/ha/año)	154320	131886	103083	130400	130400
EE/IE (4)	6	12,9	10,7	19	24
PE (kgMS/100 Mj)	44	100,1	74	119	146

MS= materia seca IEd=ingreso energía directa IEi= ingreso energía indirecta. IE= Ingreso de energía total. EE= Egreso de energía. EE/IE= Eficiencia energética. PE= Productividad de la energía.

Cuadro 13. Sistema de producción IV. Subsistema alimentación. Parámetros energéticos.

IE (Mj/ha/año)	19093
EE (Mj/ha/año)	141175
EE/IE	7,4
PE (kgMS/100 Mj)	50,1

Cuadro 14. Sistema de producción IV. Parámetros energéticos.

Producción leche (lt/ha/año)	10000
IE (Mj/ha/año)	133058
EE (Mj/ha/año)	27200
EE/IE	0,2
PE (lt leche/100 Mj)	7,5

IE= Ingreso de energía total. EE= Egreso de energía. EE/IE= Eficiencia energética. PE= Productividad de la energía.

condicionó la productividad del sistema (Cuadro 14). En el caso de las pasturas, el gasto energético en fertilizantes, representó el 99,4% del total de energía indirecta y el 88% de la energía ingresada al sistema en el año analizado. Respecto al gas oil, este fue un rubro de mucha incidencia en el caso de las pasturas y el maíz, asociado a las tareas de acondicionamiento para el henificado y ensilado respectivamente de cada producción.

A pesar de obtenerse una buena producción de leche, la relación entre egreso e ingreso de energía resultó muy ajustada. La productividad energética fue inferior a la medida por Meul *et al* (2007) en sistemas lecheros europeos.

Los subsistemas de alimentación mostraron diferencias vinculadas a la eficiencia en el uso de la energía y a su productividad, lo que podría estar relacionado a los cultivos que integran estos subsistemas y a su manejo tecnológico. Los tambos emplearon una mayor variedad de recursos forrajeros en relación a los sistemas productores de carne. A su vez dentro de esa diversidad, la intensidad de uso de insumos en cada cultivo expli-

caría los valores de eficiencia energética (EE/IE) y la productividad energética alcanzados. El sistema I, alcanza alta eficiencia y alta productividad en base al desempeño del pastizal (cuadro 1) en el que sin empleo de energía indirecta, se produjeron 12650 Mj/ha/año. Además, la pastura produjo una alta cantidad de materia seca en relación a la energía empleada, lo que sumado a la superficie ocupada (40% del establecimiento), le permitió al sistema alcanzar una elevada productividad.

El sistema IV, coincidente con el anterior en cuanto al objetivo productivo, presentó niveles productivos mayores, lo que no se vio reflejado en los valores de eficiencia energética y en los de productividad (Cuadro 15), lo que estaría explicado por la alta intensidad de insumos empleada (el ingreso de energía al sistema es casi diez veces mayor respecto al sistema I y su producción de energía es solo 1,7 veces mayor).

Respecto a los subsistemas de alimentación en los sistemas productores de carnes, (Cuadro 15) la alta productividad de la pastura en el sistema III condicionó de forma decisiva el resultado del balance energético.

Cuadro 15. Subsistemas de alimentación. Comparación de los parámetros energéticos.

Parámetros energéticos	Subsistema de alimentación Sistema I	Subsistema de alimentación Sistema II	Subsistema de alimentación Sistema III	Subsistema de alimentación Sistema IV
IE (Mj/ha/año)	1915	6533	3176	19093
EE (Mj/ha/año)	80491	83183	174344	141175
EE/IE	42	13	54,8	7,4
PE (Kg /100 Mj)	437	96	426	50,1

Cuadro 16. Sistemas de producción. Comparación de los parámetros energéticos.

Parámetros energéticos	Sistema I	Sistema II	Sistema III	Sistema IV
IE (Mj/ha/año)	55650	83183	221381	133058
EE (Mj/ha/año)	9651,7	4922	7041	27200
EE/IE	0,17	0,06	0,03	0,2
PE (Kg-Lt /100 Mj)	5,6	0,32	0,32	7,5

Una alta producción de materia seca obtenida con un ingreso relativamente bajo de energía, permitió alcanzar una elevada productividad energética al cultivo (945 Kg. MS/100 Mj.). Además, la superficie ocupada por la pastura representó el 86% del total, lo que se vio reflejado en la eficiencia lograda por el subsistema de alimentación. En el caso del sistema II, la producción de la pastura (que representa un 76,5% de la superficie total) fue baja y esto incidió negativamente en el balance energético del subsistema, sumado al ingreso de energía, que fue el segundo en magnitud entre los sistemas analizados.

Por último, considerando la ubicación geográfica de los sistemas y su ambiente productivo, los localizados en el área de Nogoyá produjeron una menor cantidad de energía al compararlos con los del sureste de Santa Fe. Luego, las diferencias observadas en los parámetros energéticos de eficiencia y productividad estarían explicadas por el nivel de insumos empleados.

Al analizar a los sistemas en su conjunto, los resultados mostraron un condicionamiento según el objetivo central de los sistemas. La producción de leche aparece como más eficiente y con mayor cantidad de producto logrado por unidad de energía aplicada. En términos generales los valores de eficiencia son muy bajos en comparación con sistemas zonales con diferentes objetivos (producción de soja, maíz trigo, etc.) (Denoia *et al*, 2006). En todos los sistemas analizados, el balance energético resultó negativo, por lo que la eficiencia siempre fue menor a la unidad.

El sistema IV, cuyo subsistema de alimentación fue el de menor productividad, logró la mayor eficiencia en base a la alta producción lograda, mientras que el sistema I, también productor de leche, se ubicó por debajo del anterior. Los sistemas productores de carne alcanzaron valores de eficiencia muy

inferiores a los productores de leche, y entre ellos las diferencias fueron escasas. La elevada cantidad de energía empleada en el sistema III neutralizó la mayor producción de carne y por lo tanto la más alta producción de energía por parte del sistema.

En este nivel de análisis, la ubicación geográfica y el ambiente productivo no habrían incidido en los valores de los parámetros energéticos empleados para caracterizar a los sistemas de producción. La eficiencia energética y la productividad de la energía mostraron valores similares cuando se compararon sistemas con idénticos objetivos -producción de leche o de carne (Cuadro 16).

CONCLUSIONES

En los sistemas de producción de leche y en los de carne, el proceso de producción de alimentos fue energéticamente eficiente, siendo el gasto en energía indirecta, el más importante.

La transformación de los alimentos en productos (carne y leche), constituyó una etapa ineficiente en términos energéticos. La producción de leche resultó más eficiente que la de carne en las dos regiones analizadas.

BIBLIOGRAFÍA

- CECCON, P.; C. COIUTTI ; R. GIONANARDI.** 2002. Energy balance of four farming systems in north-eastern Italy. *Italian Journal of Agronomy.* 6, 1, 73-83.
- DALGAARD, T.; N. HALBERG; J. R. PORTER.** 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agric. Ecosyst. Environ.* 87, 51-65.

- DENOIA, J. A.; M. S. VILCHE; MONTICO, S.; B. BONEL & N. DI LEO.** 2006. Análisis descriptivo de la evolución de los modelos tecnológicos difundidos en el Distrito Zavalla (Santa Fe) desde una perspectiva energética. *Ciencia Docencia y Tecnología.* 33:1. 209-226.
- GINGINS, M. & E. F. VIGLIZZO.** 1981. Eficiencia energética de producción de carne bovina en distintos sistemas de engorde. *Prod. Anim.* 8:401-414.
- LEACH, G.** 1976. *Energy and food Production.* IPC Science and Technology Press limites, Guildford, Surrey, 151 pp
- LEWANDOWSKI, I. & U. SCHMIDT.** 2006. Nitrogen, energy and land use efficiencies of miscanthus, reed canary grass and triticale as determined by the boundary line approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 112:4. 335-346.
- MEUL, M.; F. NEVENS; D. REHEUL & G. HOFMAN.** 2007. Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 199 135-144.
- MONTICO, S.; N. DI LEO; B. BONEL & J. DENOIA.** 2007. Gestión de la energía en el sector rural. UNR Editora. Colección Académica. 204 pp.
- PEREIRA DOS SANTOS, H.; R.S. FONTANELLI; 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.
- REFSGAARD, K.; N. HALBERG & E. KRISTENSEN.** 1998. Energy utilization in crop and dairy production in organic and conventional livestock production systems. *Agricultural Systems.* 57, 599-630.
- SANTOS, H. P. DOS; R. S. FONTANELLI; 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.
- UHLIN, H. E.** 1999. Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 73 63-81.