



Análisis energético en lecherías de la región Pampeana Argentina. Parte 2. Contabilidad energética¹

Energy analysis in dairies of the Argentina Pampa's region. Part 2. Energy accounting

Gustavo Daniel Gimenez², Bruno Idelfonso Novaira³, Pablo Roberto Marini⁴

- ¹ Recepción: 6 de diciembre, 2021. Aceptación: 10 de marzo, 2022. Este trabajo se originó a partir de la base de datos colectada por el primer autor, para su tesis doctoral intitulada "Evaluación de huellas ambientales seleccionadas en sistemas de producción primaria de leche con distintos niveles de intensificación, de la cuenca lechera central argentina" (2021), desarrollada para la Carrera de Posgrado Doctorado en Cs. Veterinarias de la Universidad Nacional de Rosario, respaldada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). El trabajo se desarrolla en dos partes, una primera en la cual se describen los principales modelos de sistemas lecheros existentes en la región, que surge a partir del análisis energético, cada cual explicado a partir de diagramas de flujos; y esta segunda parte, en la cual se realiza la contabilidad energética del proceso de producción primaria de leche bovina.
- ² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Agencia de Extensión Rural Roldán. Catamarca 948, Roldán, S2134ANY, Santa Fe, Argentina. zootechnista.gimenez@gmail.com (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0003-3089-0457>).
- ³ Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Veterinarias. Centro Latinoamericano de Estudios de Problemáticas Lecheras. Ruta 33 y Ovidio Lagos, Casilda, S2170HGJ, Santa Fe, Argentina. bnovaira@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-7941-772X>).
- ⁴ Universidad Nacional de Rosario. Carrera de Investigador Científico (CIC). Maipú 1065, Rosario, S2000CGK, Santa Fe, Argentina. pmarini@unr.edu.ar (<https://orcid.org/0000-0003-0826-0387>).

Resumen

Introducción. La actividad agropecuaria es usuaria y productora de energía, puede evaluarse mediante el análisis energético, que también relaciona conceptos de física, bioquímica y biología. **Objetivos.** Evaluar desde un enfoque energético expandido, distintos modelos comerciales de producción primaria de leche. **Materiales y métodos.** Se trabajó con datos retrospectivos de nueve establecimientos lecheros de la Región Pampeana Argentina, entre julio de 2014 a junio de 2015. Se calcularon cuatro indicadores: egreso energético (EE), ingreso energético (IE), eficiencia energética (EE/IE) y anergia (A). **Resultados.** Los mayores EE se basaron en productividad primaria neta, en condiciones de alta suplementación. El IE promedio fue 239,9 GJ/ha/año, rango en que se alinearon los sistemas con carga animal media. El agua (67 %) fue la principal aportante. La eficiencia (EE/IE) presentó marcada variabilidad, basada en los IE; aunque la biomasa vegetal fue la mayor causa de fluctuación de los EE, ya que los aportes de leche y carne no difirieron entre sistemas. El *stock* (almacenamiento) energético remanente no se utilizó dentro del sistema, ni contribuyó con el mismo mediante su exportación, por lo que se definió como una fracción sin utilidad práctica (A). **Conclusiones.** El análisis energético fue una herramienta válida para evaluar la sustentabilidad de los sistemas, se aplicó en modelos de producción con diferentes estrategias de intensificación. Al incluir la biomasa vegetal, los mayores egresos energéticos (EE) se apreciaron en modelos de alta suplementación, pero en el subsistema lechero tomado de manera individual, se asoció carga animal con mayores EE (por incremento de productividad) y mayores ingresos energéticos (IE), debido al incremento en el agua consumida.

Palabras clave: sustentabilidad, producción de leche bovina, carga animal, suplementación alimentaria.



Abstract

Introduction. Agricultural activity is a user and producer of energy, which can be evaluated through energy analysis, which also relates concepts of physics, biochemistry, and biology. **Objectives.** To evaluate from an expanded energy approach, different commercial models of primary milk production. **Materials and methods.** The study was based on retrospective data from nine dairy farms in the Pampa's Argentina Region, between July 2014 and June 2015. Four indicators were calculated: energy output (EE), energy input (IE), energy efficiency (EE/IE), and anergy (A). **Results.** The highest EE were based on net primary productivity, under high supplementation conditions. The average IE was 239.9 GJ/ha/year, a range in which the systems with medium stocking rates were aligned. Water (67 %) was the main contributor. The efficiency (EE/IE) showed marked variability, based on the IE; although the vegetal biomass was the main cause of EE fluctuation, since the contributions of milk and meat did not differ between systems. The remaining energy stock (storage) was not used within the system, nor did it contribute to the system through its export, so it was defined as a fraction without practical use (A). **Conclusions.** The energy analysis was a valid tool to evaluate the sustainability of the systems, it was applied in production models with different intensification strategies. When including vegetal biomass, the highest energy outputs (EE) were seen in models with high supplementation, but in the dairy subsystem taken individually, animal stocking rate was associated with higher EE (due to increased productivity) and higher IE, due to the increase of water consumption.

Keywords: sustainability, dairy farm production, animal stock rate, feed supplementation.

Introducción

La actividad agropecuaria se comporta como usuaria y también como productora de energía (Uhlin, 1999). Varios autores coinciden en afirmar que los procesos de tecnificación e intensificación de la agricultura reemplazaron la energía proveniente del trabajo humano y animal, lo que llevó a aumentar el uso de fuentes fósiles (Fluck & Baird, 1980; Leach, 1975; Pimentel et al., 1973). El modelo aplicado en agricultura, dependiente de un paquete tecnológico basado en semillas de alto potencial de rendimiento, biocidas y fertilizantes sintéticos, es cuestionado por requerir cantidades altas y crecientes de insumos, lo que implica elevados costos energéticos (Denoia et al., 2008; Viglizzo & Roberto, 1997).

En la producción lechera, también se ha acrecentado el uso de energías fósiles. Trabajos en que se analizaron distintos sistemas de producción lecheros de la cuenca central argentina, muestran que uno de los principales déficits en la dimensión ambiental se relaciona con el incremento en las emisiones de gases con efecto invernadero, asociándose tanto a las propias del ganado (fermentación entérica) como al consumo de energía durante el proceso de obtención de la leche, obtenida de fuentes fósiles (Gimenez, 2017; Litwin et al., 2017; Rótoló & Charlón, 2013). Por ello, el análisis energético resulta una metodología útil para el estudio, ya que “la administración de la energía en la producción agropecuaria... es un indicador de sustentabilidad” (Montico et al., 2007), pues el flujo energético permite relacionar conceptos físicos, con procesos bioquímicos (como fotosíntesis y respiración) y biológicos (debido a la interacción entre especies), comportándose como un enfoque de sistemas.

El análisis energético se ha aplicado en estudios con el objetivo de elaborar inventarios del uso de la energía, ya sea para un sistema o producto agrícola específico (Franzuebbers & Francis, 1995), como para estudiar los impactos y cambios de la gestión de energía (Cleveland, 1995); además, permite establecer un vínculo entre el consumo de energía y los impactos ambientales asociados, a través del agotamiento de los recursos naturales y, en parte, a través de las emisiones de gases con efecto invernadero (Vigne et al., 2012).

El análisis energético es una herramienta válida para abordar la sustentabilidad de los sistemas, permite realizar inventarios de energía consumida, producida, remanente y la eficiencia con que se utiliza; puede ser aplicado en modelos productivos con distintas estrategias de intensificación. Es útil para visibilizar la importancia de sistemas mixtos agrícola-ganaderos, incorporar el componente social en su evaluación y permite generar vínculos con indicadores como huellas hídricas y de carbono.

En la primera parte de este trabajo, los establecimientos lecheros bajo estudio fueron analizados mediante diagramas de flujos energéticos, determinándose la existencia de tres sistemas predominantes: sistema ganadero puro (con producción de carne y leche) y dos sistemas mixtos, que combinan agricultura y ganadería (entre estos, la diferencia radicó en que algunos suman a la producción de leche un subproducto como la carne, obtenida a partir del engorde complementario de algunas categorías de animales).

El objetivo de este trabajo fue evaluar, desde un enfoque energético expandido, distintos modelos comerciales de producción primaria de leche.

Materiales y métodos

Se trabajó con datos retrospectivos de nueve establecimientos comerciales de producción primaria de leche de la Región Pampeana Argentina, durante el período comprendido entre julio de 2014 a junio de 2015. Estos difirieron en sus condiciones de intensificación, según carga animal y nivel de suplementación alimentaria (alta, media y baja para cada parámetro, determinándose nueve combinaciones posibles). La asignación de categorías según estos parámetros, se estableció en base a los resultados obtenidos por la encuesta sectorial lechera del Programa Nacional de Producción Animal (PNPA 1126043) (Gastaldi et al., 2016). Las características principales de los establecimientos se observan en Cuadro 1.

Se utilizó la metodología de análisis energético modificado, ampliado por la incorporación en la contabilidad de fuentes de energía provistas por el trabajo humano y otras subsidiarias (Gimenez et al., 2022), como el agua azul [aquella requerida de manera directa para los procesos, de acuerdo con la metodología de huella hídrica desarrollada por Hoekstra & Chapagain (2006)]. Sin embargo, se estipuló un criterio de seguimiento *cradle to gate*, es decir el proceso de producción hasta que los bienes obtenidos del mismo son dispuestos en puerta del establecimiento, sin considerar su posterior transporte, almacenaje, transformación, empaquetado, comercialización y consumo.

En el estudio se contemplaron cuatro indicadores:

- Egreso energético (EE): es la energía producida por el sistema, bajo las formas de leche, carne y biomasa vegetal de forrajes y cultivos agrícolas.

En el caso de la leche se consideró la producción de energía vinculada al fluido obtenido durante el ciclo de análisis (en términos de leche corregida por grasa al 4 % y proteína al 3,3 % -kg FPCM por su sigla en inglés-) (International Dairy Federation, 2015).

La carne se diferenció en dos: se denominó básica cuando solo contempló los descartes de terneros machos y vacas sobre el final de su vida útil; además, se consideró la *invernada*⁵ realizada a partir de categorías como novillitos, novillos y vaquillonas de recría exentas de su selección como reproductoras.

Para la evaluación completa del sistema también se incorporó la energía de los forrajes producidos en el establecimiento (excedentes con respecto a los requerimientos alimentarios del rodeo en general) y la energía de los cultivos agrícolas (cereales y oleaginosas) en aquellos sistemas lecheros mixtos que incluyen agricultura en su planteo de uso de la tierra.

- Ingreso energético (IE): es la energía utilizada o consumida por el sistema durante el proceso productivo.

⁵ El vocablo “invernada” se refiere al proceso de ceba o engorde del ganado bovino.

Cuadro 1. Características de los nueve establecimientos lecheros comerciales situados en las provincias de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos, Argentina, durante el período de evaluación y análisis energético 2014-2015.

Table 1. Characteristics of nine commercial dairy farms located in Cordoba, Santa Fe, and Entre Rios, provinces of Argentina, during the evaluation and energy analysis period 2014-2015.

Caso	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Provincia	Córdoba	Santa Fe	Santa Fe	Santa Fe	Santa Fe	Entre Ríos	Córdoba	Entre Ríos	Santa Fe
Cuenca	sur	centro	centro	sur	sur	principal	Villa María	principal	sur
Temperatura $\frac{1}{2}$ anual (°C)	16,6	17,3	18,5	17,7	17,4	18,2	16,6	17,8	17,4
Precipitación anual (mm)	561	1068	1124	1129	994	1097	899	867	1144
Suelos (textura)	Franco-arenoso	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-arcilloso	Franco-arcilloso	Franco-arenoso	Franco-arcilloso	Franco-limoso
Superficie (ha)	240,0	193,8	108,3	307,8	123,0	262,0	220,0	189,3	155,0
Superficie tambero (haVT)	146,3	150,8	103,4	283,0	120,2	260,6	180,9	163,0	133,3
Producción anual (l/año)	1 338 361	1 863 467	1 336 500	2 645 083	1 040 480	2 521 605	976 699	828 586	798 386
Rodeo (VT)	205	235	204	343	157	288	170	162	136
Carga Animal (VT/haVT)	1,40	1,56	1,97	1,21	1,31	1,11	0,94	0,99	1,02
Suplementación (kg conc/l)	0,427	0,317	0,252	0,434	0,314	0,246	0,473	0,364	0,118
Recursos humanos (EH)	5,46	7,50	8,10	5,17	5,33	8,19	6,24	5,50	6,24
Categorización	AA	AM	AB	MA	MM	MB	BA	BM	BB
Tipología de sistema	LI	MLA	MLA	LI	MLA	LI	LI	MLAI	MLA

Nota: haVT (hectárea vaca total); VT (vacas totales); kg conc (kilogramos de alimento concentrado); EH (equivalentes hombre); AA (Carga animal y suplementación altas); AM (carga alta, suplementación media); AB (carga alta, suplementación baja); MA (carga media, suplementación alta); MM (carga y suplementación medias); MB (carga media, suplementación baja); BA (carga baja, suplementación alta); BM (carga baja, suplementación media); BB (carga y suplementación bajas); LI (sistema lechero con invernada complementaria); MLA (sistema mixto, lechero-agrícola); MLAI (sistema mixto lechero-agrícola con invernada). / Note: haVT (hectare adult cow); VT (adult cow); kg conc (kilograms of feed supplementation); EH (full time equivalents); AA (high animal stock rate and food supplementation); AM (High stock rate & medium food supplementation); AB (high stock rate & low food supplementation); MA (medium stock rate & high food supplementation); MM (medium stock rate & food supplementation); MB (medium stock rate & low food supplementation); BA (low stock rate & high food supplementation); BM (Low stock rate & medium food supplementation); BB (low stock rate & food supplementation); LI (pure dairy with fattening system); MLA (mixed dairy-agricultural system); MLAI (mixed dairy-agricultural with fattening system).

Este indicador se construyó a partir de la energía procedente de:

Uso de combustibles fósiles (*gas oil*, gas, electricidad) para el funcionamiento de las instalaciones de ordeño, abastecimiento eléctrico de alambrados y lo destinado a la maquinaria de laboreo y preparación de suelos, siembra, cosecha, procesamiento de forrajes y granos.

Insumos varios: se consideraron insumos para higiene de equipos e instalaciones (detergentes alcalinos y ácidos), alimentarios (concentrado destinado a la suplementación del rodeo), y aplicados a cultivos (semillas, fertilizantes y agroquímicos en general).

Se incorporaron dos rubros que por lo general no son considerados en la contabilidad energética: energía

provista por el trabajo humano y energía aportada por el agua (directa en el proceso productivo y derivada de procesos antrópicos, sea el agua de bebida y la ocupada en procedimientos de limpieza e higiene de instalaciones y equipo de ordeño).

- Eficiencia de uso de la energía (EE/IE), que se determinó por simple relación entre las energías producida y consumida. En este trabajo, el indicador puede entregar hasta cinco valores, coincidentes con las categorías de egreso: leche; leche y carne básica; leche, carne básica e invernada; leche, carne y forrajes; leche, carne, forrajes y agricultura.
- Anergía (A): desde el punto de vista físico se define como porción de la energía sin utilidad práctica (Rant, 1956). En este estudio se refirió al *stock* remanente energético posible de obtener a partir de la diferencia entre la oferta dada por la producción forrajera total (se incluyeron los suplementos alimentarios externos comprados) y la cantidad requerida para la satisfacción de las necesidades nutricionales del rodeo completo.

El procedimiento para calcular los indicadores se basó en contabilizar las unidades de materia ingresada y egresada, multiplicándolas por sus respectivos contenidos energéticos. Dichos valores se tomaron de bibliografía disponible referida al tema y se presentan en Cuadro 2. Los resultados obtenidos se expresaron en gigajoules por hectárea y por año (GJ/ha/año), a excepción de la eficiencia, indicador adimensional por tratarse de la relación entre variables cuya unidad de expresión es similar.

Resultados

Las medidas obtenidas de egreso, ingreso y eficiencia energética para cada uno de los casos se muestran en la Figura 1.

Con respecto a EE, el valor medio de producción de energía se estableció en 119,4 GJ/ha/año, las magnitudes alcanzadas siempre fueron mayores en los planteos con alta suplementación alimentaria (por sobre 150 GJ/ha/año).

Para el indicador IE el valor promedio fue de 239,9 GJ/ha/año. Muy próximos a este valor se alinearon los tres sistemas con carga animal media.

De la relación entre egreso e ingreso energético se calculó el indicador de eficiencia EE/IE, que tuvo marcada variabilidad. Muestra de ello son los casos de alta suplementación alimentaria, en donde a pesar de que todos tuvieron medidas muy próximas de producción de energía (EE), las diferencias en el consumo (IE) originaron valores disímiles en eficiencia. Todas estas cifras se refieren a la eficiencia total de los sistemas y variaron entre 0,16 (caso 8, carga baja, suplementación media –BM-) y 1,13 (caso 7, carga baja, suplementación alta –BA-).

Energía producida

La energía que se produjo en el sistema tanto de origen vegetal como animal se desglosa en Figura 2.

La energía aportada por leche promedió 19,9 GJ/ha/año, con valores extremos de 11,8 [(mínimo en la unidad baja carga –suplementación alta (BA)] y 33,7 GJ/ha/año [máximo en la unidad alta carga-suplementación baja (AB)]. Las participaciones del subsistema cárnico fueron muy escasas en la totalidad de los casos analizados (el valor máximo obtenido, para el establecimiento MB -carga media y suplementación baja- fue de solo 3,8 GJ/ha/año), lo que es posible debido a su carácter complementario en el planteo de producción de leche. De aquí se desprende que el principal aporte de energía provino de la biomasa vegetal (cultivos y reservas forrajeras).

En términos porcentuales, los EE procedentes de la producción láctea promediaron un 18,8 % y la aportada por la producción cárnica (tanto descartes como ceba) un 2,1 %. Esto significa que la productividad secundaria (el aporte de los herbívoros que componen el rodeo) es solo un 20% de la energía generada. El 80 % restante

Cuadro 2. Coeficientes energéticos en insumos y productos empleados en el análisis energético y evaluación de nueve establecimientos lecheros comerciales situados en las provincias de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos, Argentina, durante el período 2014-2015.

Table 2. Energy coefficients in inputs and products used in energy analysis and evaluation of nine commercial dairy farms located in Cordoba, Santa Fe, and Entre Rios, provinces of Argentina, during the period 2014-2015.

Concepto	Unidad (U)	Energía (MJ/U)	Concepto	Unidad (U)	Energía (MJ/U)
Agua	l	2,3 (a)	Semillas		
Agroquímicos			Alfalfa	kg	16,6 (j)
Fungicidas	g l ⁻¹	272,0 (b)	Avena	kg	16,6 (k)
Herbicidas	g l ⁻¹	418,0 (c)	Cebada	kg	16,6 (k)
Insecticidas	g l ⁻¹	364,0 (c)	Cebadilla	kg	16,6 (k)
Alimentos comprados			Festuca	kg	16,6 (j)
Alfalfa (heno)	kg	18,4 (d)	Lotus	kg	16,6 (k)
Algodón (semilla)	kg	9,4 (e)	Maíz	kg	33,0 (j)
Balanceado 13 %	kg	12,1 (e)	<i>Rye grass</i>	kg	16,6 (j)
Balanceado 16 %	kg	12,1 (e)	Soja	kg	16,6 (b)
Balanceado 22 %	kg	12,2 (e)	Sorgo	kg	33,0 (b)
Maíz (burlanda)	kg	12,1 (e)	Trébol blanco	kg	16,6 (k)
Maíz (grano)	kg	16,3 (d)	Trigo	kg	16,6 (b)
Soja (<i>expeller</i>)	kg	25,5 (e)	Productos		
Trigo (afrechillo)	kg	11,8 (e)	Leche	kg	2,6 (f)
Combustibles			Carne	kg	10,2 (f)
Gas	m ³	25,3 (d)	Forrajes		
<i>Gas oil</i>	l	43,3 (f)	Heno	kg	9,1 (e)
Energía eléctrica	kWh	14,4 (f)	Avena (silaje)	kg	9,0 (e)
Fertilizantes			Maíz (silaje)	kg	9,2 (e)
Nitrógeno (N)	kg	77,5 (g)	Pastura/sorgo (silaje)	kg	9,4 (d)
Fósforo (P)	kg	6,0 (g)	Granos	kg	13,4 (e)
Higiene			Cultivos agrícolas		
Detergente ácido	l	1,25 (h)	Maíz	kg	16,5 (b)
Detergente alcalino	l	1,25 (h)	Soja	kg	16,8 (b)
Trabajo humano	EH	11,3 (i)	Sorgo	kg	14,1 (b)
			Trigo	kg	15,4 (b)

Nota: EH (equivalentes hombre). El alimento balanceado varía entre 13, 16 y 22 % de proteína bruta. / Note: EH (full time equivalent). The balanced meal fluctuates between 13, 16, and 22 % crude protein.

Fuentes: (a) estimado con base en Hermitte (1904), (b) Bonel et al. (2005), (c) Pimentel (1980)*, (d) Viglizzo et al. (2011), (e) Gaggiotti (2008), (f) Leach (1975), (g) Marchioro (1985)*, (h) Institut d'Estudis de la Seguretat [IDES] (2010), (i) Lassey & Arias (1972), (j) Heichel (1980)*, (k) estimados según información suministrada por fuentes (b) y (j). * Citados por Pereira dos Santos et al. (2011). / Sources: (a) estimated based on Hermitte (1904), (b) Bonel et al. (2005), (c) Pimentel (1980)*, (d) Viglizzo et al. (2011), (e) Gaggiotti (2008), (f) Leach (1975), (g) Marchioro (1985)*, (h) Institut d'Estudis de la Seguretat [IDES] (2010), (i) Lassey & Arias (1972), (j) Heichel (1980)*, (k) estimated according to information provided by sources (b), and (j). * Cited by Pereira dos Santos et al. (2011).

se atribuyó a la productividad primaria neta (biomasa vegetal), gran parte (62,3 %) proporcionada por cultivos forrajeros. La agricultura complementaria, representada por cereales (trigo, maíz) y oleaginosas (soja), aportó el 16,4 % de la energía generada por el sistema.

La energía producida a partir de la leche fue superior en los modelos de alta carga y suplementación alimentaria media y baja. Una tendencia similar se aprecia con respecto a los EE de la carne (Cuadro 3).

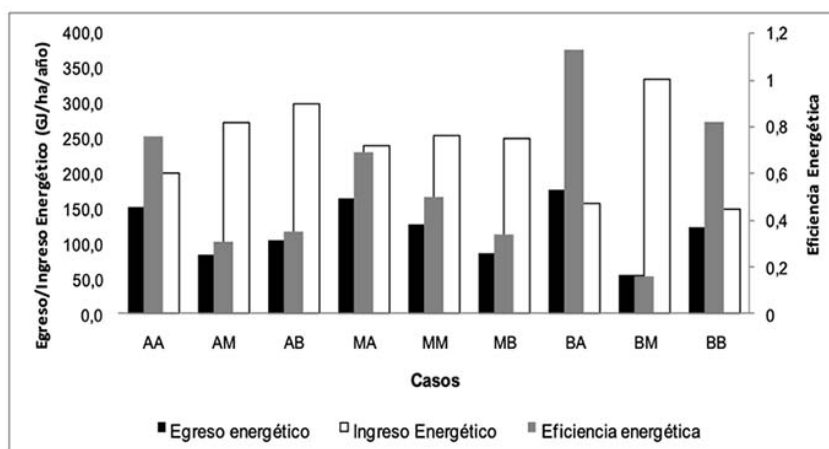


Figura 1. Egreso, ingreso y eficiencia energética para nueve sistemas comerciales de producción primaria de leche diferenciados por carga animal y nivel de suplementación alimentaria, situados en las provincias de Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos (Argentina), durante el período 2014-2015.

AA (carga animal y suplementación altas); AM (carga alta, suplementación media); AB (carga alta, suplementación baja); MA (carga media, suplementación alta); MM (carga y suplementación medias); MB (carga media, suplementación baja); BA (carga baja, suplementación alta); BM (carga baja, suplementación media); BB (carga y suplementación bajas).

Figure 1. Energy output, input, and efficiency for nine commercial dairy farm systems differentiated by animal stock rate and level of food supplementation, located in Santa Fe, Cordoba, and Entre Rios (provinces of Argentina), during the period 2014-2015.

AA (high stock rate and food supplementation); AM (high stock rate & medium food supplementation); AB (high stock rate & low food supplementation); MA (medium stock rate & high food supplementation); MM (medium stock rate & food supplementation); MB (medium stock rate & low food supplementation); BA (low stock rate & high food supplementation); BM (low stock rate & medium food supplementation); BB (low stock rate & food supplementation).

Energía consumida

Los valores estimados de ingresos de energía, procedentes de diferentes servicios y productos se observan en el Cuadro 4.

En la composición de aportes al sistema, el agua fue la principal fuente subsidiaria del proceso, consumida como agua de bebida por los animales y utilizada para limpieza e higiene de las instalaciones, lavado de los equipos para conducción y conservación de la leche. Representó en promedio un 66,7 % de la energía requerida de manera directa para el funcionamiento del sistema lechero. En términos cuantitativos, los mayores consumos correspondieron a sistemas de alta carga animal, con suplementación alimentaria media y baja; tendencia que se ratificó en los sistemas de mediana carga.

El alimento balanceado usado en la suplementación de las necesidades nutricionales del rodeo aportó poco más de 42 GJ/ha/año. Este valor representa un 17,5 % de los IE al sistema; sin embargo, si se excluyen del análisis energético los aportes de agua y trabajo, su participación crece hasta un 52,7 %. Los mayores valores se calcularon para los planteos con suplementación alta, a excepción del caso 2 (AM -alta carga y mediana suplementación-), donde el aporte energético de este ítem fue superior con relación a los otros modelos de carga similar. En este sistema, la medida en el rubro de suplementos alimentarios fue la mayor de todo el estudio (59,4 GJ/ha/año); sin embargo, este ingreso no se tradujo en mayor energía producida y tampoco se acumuló como *stock* energético remanente en el predio.

El ingreso de energía procedente de la utilización de fertilizantes y agroquímicos, alcanzó un valor promedio de 30,5 GJ/ha/año. Resulta elevado, en especial por el valor extremo alcanzado por el caso 8 (carga baja y

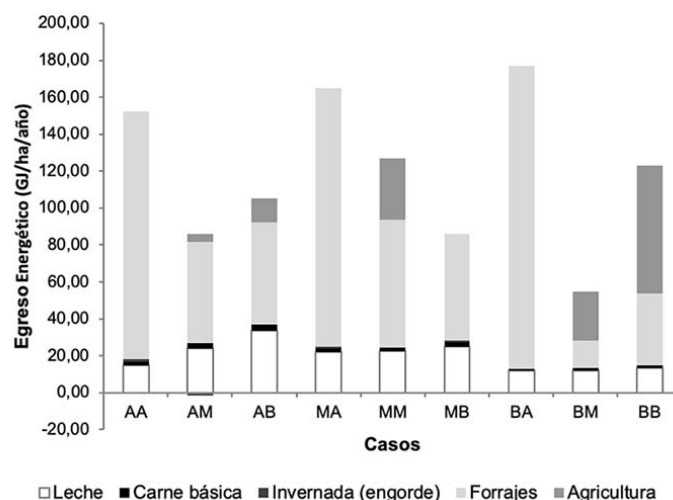


Figura 2. Egreso energético por producto (en GJ/ha/año), para nueve sistemas comerciales de producción primaria de leche diferenciados por carga animal y nivel de suplementación alimentaria, situados en las provincias de Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos (Argentina), durante el período 2014-2015.

AA (carga animal y suplementación altas); AM (carga alta, suplementación media); AB (carga alta, suplementación baja); MA (carga media, suplementación alta); MM (carga y suplementación medias); MB (carga media, suplementación baja); BA (carga baja, suplementación alta); BM (carga baja, suplementación media); BB (carga y suplementación bajas).

Figure 2. Energy output by product (in GJ/ha/year), for nine commercial dairy farm systems differentiated by animal stock rate and level of food supplementation, located in Santa Fe, Cordoba, and Entre Rios (provinces of Argentina), during the period 2014-2015.

AA (high animal stock rate and food supplementation); AM (high stock rate & medium food supplementation); AB (high stock rate & low food supplementation); MA (medium stock rate & high food supplementation); MM (medium stock rate & food supplementation); MB (medium stock rate & low food supplementation); BA (low stock rate & high food supplementation); BM (low stock rate & medium food supplementation); BB (low stock rate & food supplementation).

Cuadro 3. Egreso energético por productos (en porcentaje), para nueve sistemas comerciales de producción primaria de leche diferenciados por carga animal y nivel de suplementación alimentaria, situados en las provincias de Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos (Argentina), durante el período 2014-2015.

Table 3. Energy output by products (in percentage), for nine commercial dairy farm systems differentiated by animal stock rate and level of food supplementation, located in Santa Fe, Cordoba, and Entre Rios (provinces of Argentina), during the period 2014-2015.

Parámetro Producto (%)	Carga animal			Suplementación alimentaria		
	Nivel Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Leche	23,3	20,0	13,1	9,9	22,7	23,9
Carne básica	2,5	1,8	1,5	1,0	2,5	2,3
Invernada (engorde)	-0,2	0,8	-0,1	0,6	-0,6	0,4
Forrajes	68,6	68,7	50,6	88,5	48,9	50,5
Agricultura	5,8	8,7	34,8	0,0	26,4	22,9

Cuadro 4. Ingreso energético por servicios y productos (en GJ/ha/año), para nueve sistemas comerciales de producción primaria de leche diferenciados por carga animal y nivel de suplementación alimentaria, situados en las provincias de Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos (Argentina), durante el período 2014-2015.

Table 4. Energy input by services and products (in GJ/ha/year), for nine commercial dairy farm systems differentiated by animal stock rate and level of food supplementation, located in Santa Fe, Cordoba, and Entre Rios (provinces of Argentina), during the period 2014-2015.

Rubros	AA	AM	AB	MA	MM	MB	BA	BM	BB
Agua	142,2	199,2	242,1	163,4	181,6	182,7	107,4	107,9	113,9
Combustible+ electricidad	7,3	5,7	8,6	5,8	5,1	5,3	4,4	3,3	5,3
Insumos de higiene	0,003	0,004	0,005	0,002	0,006	0,003	0,002	0,002	0,003
Alimentos concentrados	46,1	59,4	42,3	59,2	34,9	51,2	37,7	29,9	17,5
Trabajo	0,077	0,131	0,254	0,057	0,147	0,106	0,096	0,098	0,136
Semillas	1,0	1,5	0,8	1,0	3,0	1,9	1,1	2,4	1,0
Agroquímicos + fertilizantes	4,1	7,5	5,8	9,5	29,2	9,7	6,4	190,2	12,1
Ingreso energético (GJ/ha/año)	200,8	273,4	299,9	239,0	253,9	250,9	157,1	333,8	149,9

Nota: AA (carga animal y suplementación altas); AM (carga alta, suplementación media); AB (carga alta, suplementación baja); MA (carga media, suplementación alta); MM (carga y suplementación medias); MB (carga media, suplementación baja); BA (carga baja, suplementación alta); BM (carga baja, suplementación media); BB (carga y suplementación bajas). / Note: AA (high animal stock rate and food supplementation); AM (high stock rate & medium food supplementation); AB (high stock rate & low food supplementation); MA (medium stock rate & high food supplementation); MM (Medium stock rate & food supplementation); MB (medium stock rate & low food supplementation); BA (low stock rate & high food supplementation); BM (low stock rate & medium food supplementation); BB (low stock rate & food supplementation).

suplementación media –BM-), del orden de 190,2 GJ/ha/año, muy superior con relación al resto de los valores obtenidos, que quedaron comprendidos en un rango entre 4,1 y 29,2 GJ/ha/año.

En términos de recursos no renovables demandados para la producción, estos adquieren importancia en la medida que se analizan de manera conjunta con otros rubros, por caso, el uso de combustibles y energía eléctrica imputan 5,6 GJ/ha/año al proceso lechero. El resto de los componentes del ingreso de energía al sistema no mostraron gran influencia en la medida total del indicador, incluido en el análisis el trabajo humano, cuyo aporte energético fue muy reducido (menos de 1 GJ/ha/año).

Eficiencia energética

Como resultado de la relación entre EE e IE, se determinó la eficiencia de cada caso analizado (Figura 3).

Fue evidente el aporte de la biomasa vegetal en el resultado absoluto de la eficiencia, ya que permitió incrementar la misma seis veces, con respecto a aquella obtenida si se considera de manera exclusiva la energía generada a partir de productos animales. También se aprecia la importancia de incluir en el análisis energético el aporte del recurso hídrico, por cuanto la eficiencia crece en promedio 3,5 veces por sobre el valor promedio de eficiencia del sistema.

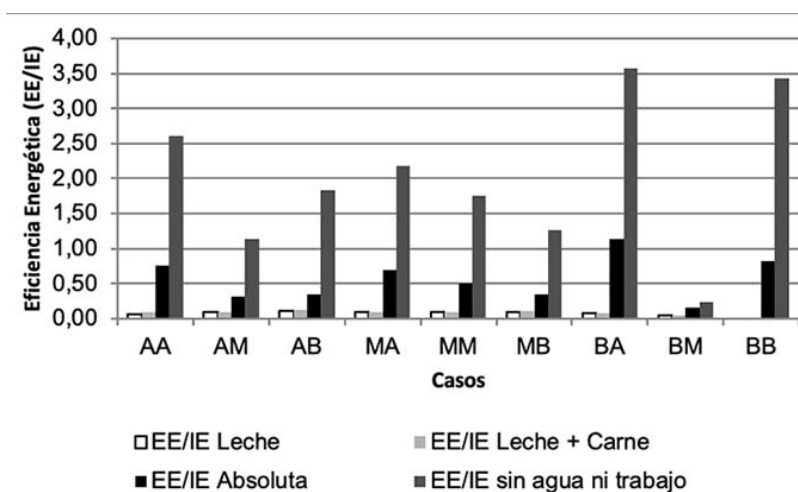


Figura 3. Comparación de valores de eficiencia energética (EE/IE), según productos, insumos y servicios seleccionados, para nueve sistemas comerciales de producción primaria de leche diferenciados por carga animal y nivel de suplementación alimentaria, situados en las provincias de Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos (Argentina), durante el período 2014-2015.

AA (carga animal y suplementación altas); AM (carga alta, suplementación media); AB (carga alta, suplementación baja); MA (carga media, suplementación alta); MM (carga y suplementación medias); MB (carga media, suplementación baja); BA (carga baja, suplementación alta); BM (carga baja, suplementación media); BB (carga y suplementación bajas).

Figure 3. Comparison of energy efficiency values (EE/IE), according to selected products, supplies, and services, for nine commercial dairy farm systems differentiated by animal stock rate and level of food supplementation, located in Santa Fe, Cordoba, and Entre Rios (provinces of Argentina), during the period 2014-2015.

AA (high animal stock rate and food supplementation); AM (high stock rate & medium food supplementation); AB (high stock rate & low food supplementation); MA (medium stock rate & high food supplementation); MM (medium stock rate & food supplementation); MB (Medium stock rate & low food supplementation); BA (low stock rate & high food supplementation); BM (low stock rate & medium food supplementation); BB (low stock rate & food supplementation).

Stock energético remanente

Luego de descontar a la oferta forrajera (producción propia del establecimiento y suplementos comprados) aquella energía requerida por los animales para satisfacer sus necesidades nutricionales, la potencial fuente de reserva alimentaria del *stock* energético remanente como heno, silaje (técnica de conservación de forraje por vía húmeda a diferencia de la henificación) u otros, no utilizada dentro del período analizado, resultó en una fracción de energía sin utilidad práctica, lo que se define como anergía.

En la mayoría de los casos, hubo un excedente de energía (Figura 4). La excepción fue el caso 3 (carga alta y suplementación baja –AB–), en el cual los requerimientos nutricionales del rodeo no pudieron ser cubiertos con pasturas, verdes y alimentos comprados, por lo que se verificó un déficit en la satisfacción de las demandas nutricionales de los animales.

El caso 5 (carga y suplementación medias –MM–) fue el de mejor ajuste, puesto que solo obtuvo un remanente de 1,8 GJ/ha/año, lo cual supone una presupuestación precisa de sus requerimientos y una adecuada cobertura de estos. Por oposición, el caso 8 (BM) (42,2 GJ/ha/año), además de ser el de menor eficiencia, refrenda esa condición al producir una cantidad de energía muy por encima de la requerida por el proceso.

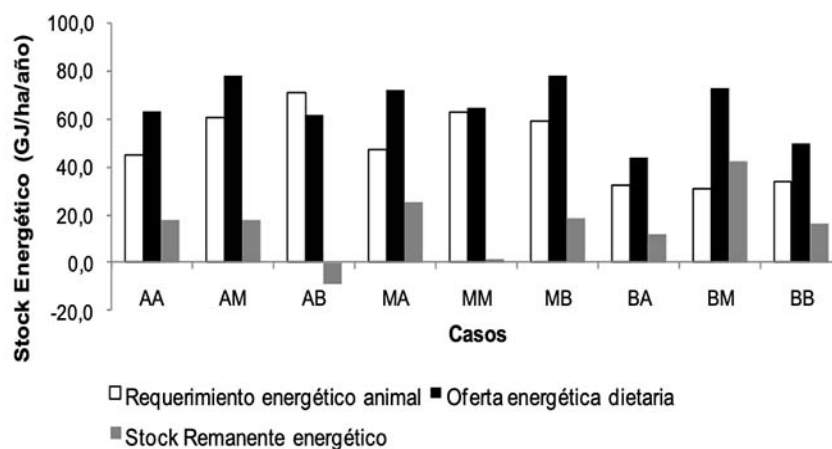


Figura 4. Stock energético remanente para nueve sistemas comerciales de producción primaria de leche diferenciados por carga animal y nivel de suplementación alimentaria, situados en las provincias de Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos (Argentina), durante el período 2014-2015.

AA (carga animal y suplementación altas); AM (carga alta, suplementación media); AB (carga alta, suplementación baja); MA (carga media, suplementación alta); MM (carga y suplementación medias); MB (carga media, suplementación baja); BA (carga baja, suplementación alta); BM (carga baja, suplementación media); BB (carga y suplementación bajas).

Figure 4. Remaining energy stock for nine commercial dairy farm systems of primary milk production differentiated by animal stock rate and level of food supplementation, located in Santa Fe, Cordoba, and Entre Rios (provinces of Argentina), during the period 2014-2015.

AA (high animal stock rate and food supplementation); AM (high stock rate & medium food supplementation); AB (high stock rate & low food supplementation); MA (medium stock rate & high food supplementation); MM (medium stock rate & food supplementation); MB (medium stock rate & low food supplementation); BA (low stock rate & high food supplementation); BM (low stock rate & medium food supplementation); BB (low stock rate & food supplementation).

Discusión

Con respecto a la energía generada por los sistemas (EE), la producción de forrajes y cultivos permitió que aquellos con limitados rendimientos de las actividades ganaderas (carga baja y suplementaciones alta y baja -BA y BB-), lograran un incremento en sus egresos energéticos. La participación de biomasa vegetal es decisiva, por cuanto se trata de productividad primaria neta (Paruelo & Batista, 2006). Este hecho se sustenta en que los procesos tróficos donde participan organismos consumidores (en los sistemas acá evaluados, herbívoros bovinos para la producción de leche), sugieren pérdidas de energía (por digestión, por excreciones e incremento calórico). Algunas de ellas, bajo la forma de gases como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), vuelven a la atmósfera y constituyen parte de las emisiones de gases con efecto invernadero (GEI) de la ganadería. Todas estas pérdidas explican la diferencia cuantitativa que se obtuvo en los resultados del trabajo, donde se propone un egreso energético sustentado 80 % en biomasa vegetal y 20 % por productos animales.

Si bien los animales de descarte del sistema están presentes en todos los esquemas con una participación muy exigua, las categorías destinadas a engorde (invernada) tampoco contribuyeron. Es posible atribuir esta condición a algunos factores: la mayor parte de las cabezas que componen el descarte son terneros de destete, de bajo peso vivo al momento de su salida del sistema. El resto de los descartes quedan condicionados al porcentaje de reposición de cada establecimiento, que, por lo general, varía entre un 20-25 % de las vacas totales⁶.

⁶ Por vaca total se entiende al total de animales que componen el rodeo productivo, surge de la sumatoria de vacas en ordeño y vacas secas.

La invernada (último engorde a los terneros para después venderlos a un frigorífico), por su parte, en los casos estudiados, solo estuvo caracterizada por engorde de novillitos y vaquillonas. En los primeros, la cantidad de cabezas no es importante a nivel cuantitativo y las hembras no destinadas a reposición tampoco adquieren una magnitud significativa, una vez descontadas las vaquillonas que se integrarán al servicio y pasarán a constituir el rodeo productivo lechero. Una posible causa en esta baja eficiencia de la invernada puede hallarse en las magras ganancias diarias de peso vivo de los biotipos utilizados con frecuencia en las lecherías de la cuenca central, animales de gran tamaño (frame), que demandan un mayor aporte energético para la satisfacción de sus requerimientos nutricionales, el cual supera la energía obtenida a partir de su carne.

En la composición de aportes al sistema, el agua consumida por los animales y utilizada para higiene de las instalaciones y lavado de los equipos destinados a conducción y conservación de la leche, es vital para el proceso. En todos los casos, su aporte se estimó por sobre los 100 GJ/ha/año (el 66,7 % de la energía utilizada). Dicha valoración avala lo expresado por Velázquez (2011), respecto del carácter distorsivo que tiene este recurso cuando es incluido en el análisis junto al resto de insumos y servicios, pero que el autor considera útil en el metabolismo propio del sistema; lo cual también refuerza los planteamientos de Gimenez (2017) y Rótolo y Charlón (2013). Esto requiere un enfoque de la gestión del recurso hídrico, la adopción de prácticas que permitan reducir los volúmenes usados (recirculación del agua de la placa de refrescado, reutilización del líquido para limpieza de instalaciones) y la incorporación al análisis de evaluaciones como huella hídrica o huella de agua. La importancia dentro del proceso productivo, así como su valoración, justifican la necesidad de incorporarla en el análisis energético y del uso de una versión expandida del mismo.

Respecto de la suplementación, una mayor cantidad de ración por unidad de producto no significa una mejor alimentación, sino que es atribuible a una menor eficiencia alimentaria, ya que se necesitó más cantidad de nutrientes para producir un litro de leche. Esto es coincidente con los conceptos de Russell (2002), que plantea algunas condiciones ideales para el logro de una mejor absorción de nutrientes y un mejor funcionamiento ruminal, tales como alta tasa de digestibilidad de fibra, ausencia de lactato, relación óptima entre ácidos acético y propiónico, alto rendimiento de proteína microbiana y escasa producción de CH_4 y NH_3 . A su vez, la relación entre forraje/concentrado, la forma física en que es ofrecida la ración o algunos de sus componentes y los principios nutritivos suministrados (energía, fibra, proteína, grasas), incidirán en la eficiencia con que la energía ingerida es aprovechada (y transformada en producto) y la magnitud que se pierde a partir de los procesos de digestión y disipación de calor (Boadi et al., 2004; McCaughey et al., 1997; Robertson & Waghorn, 2002).

El componente fertilizante requiere un análisis más extenso y específico, ya que en el caso con mayor IE, gran parte de esta medida (un 96 %) se atribuyó al aporte de cama de pollo⁷, por lo que no puede categorizarse ni como fuente de energía fósil, ni como fertilizante de síntesis. Bajo esta premisa, el aporte de este rubro se reduciría a algo menos de 10 GJ/ha/año. El reemplazo de fertilizantes de síntesis por excretas significa una sustitución de fuentes fósiles, sin embargo, la energía importada al sistema en esta situación puntual se incrementó de manera sustantiva, debido a que la utilización de fuentes orgánicas para el abono del suelo involucra una magnitud de producto muy superior a la requerida para la fertilización basada en productos de síntesis (Basso & Ritchie, 2005; Flores-Aguilar et al., 2012). Desde el punto de vista ambiental se presenta entonces la dicotomía entre los aportes en pro de la calidad del suelo de los abonos orgánicos, contrapuesto con la mayor incidencia en el consumo energético de los sistemas usuarios de este insumo.

Dado el bajo aporte en términos de energía provisto por el trabajo humano (Cuadro 4), parece de interés plantear la necesidad de fortalecer la propuesta de evitar la migración a las grandes urbes y sostener la población de áreas rurales a partir de sistemas de producción como la lechería, que crean puestos de trabajo y sin ejercer influencia negativa sobre el ambiente desde el enfoque de la energía directa que consumen, ya que la energía

⁷ Se denomina "cama de pollo" al material con el que se cubre el piso de los galpones donde se crían pollos parrilleros, con la finalidad de absorber sus excreciones, de modo tal que se evita la formación de zonas húmedas que les puedan causar alguna enfermedad. Puede ser utilizada como un abono orgánico, a modo de aporte de nutrientes, especialmente como fuente de fósforo.

necesaria por persona para las labores diarias representan como máximo un 3 % del recurso energético de lo que exige el modelo tecnológico basado en el uso de insumos y mayor participación de maquinaria de trabajo.

Desde el punto de vista de la eficiencia energética, de acuerdo con el tercer principio de la termodinámica, el sistema que sobrevive es el que recibe más energía y la emplea con más efectividad y eficacia (Montico et al., 2007). Si bien la producción de forrajes tiene como objetivo primario el sostenimiento del sistema total y es esencial en los subsistemas lechero y cárnico, el material no utilizado por los herbívoros puede tener dos destinos: caer al suelo y transformarse en biomasa muerta (necromasa), expuesta a la acción de organismos descomponedores; o ser exportada del sistema, pues ya se ha expuesto que la principal fuente de egreso energético la constituye la producción de forrajes (en todo caso, reservada en función del costo de oportunidad entre su uso interno o su comercialización al mercado).

En general, los resultados promedio obtenidos fueron muy superiores a otros citados en la bibliografía internacional (Bonel et al., 2005; Guevara-Hernández et al., 2015; Meul et al., 2007) (más de 119 GJ/ha/año producidos y casi 240 GJ/ha/año consumidos). En gran parte las diferencias se sustentaron en la concepción metodológica para la definición del alcance y límites del sistema en estudio. El sumar en los egresos la energía producida por la biomasa vegetal, así como incluir el trabajo humano y el agua de uso directo en el proceso productivo en los ingresos, sin dudas incrementaron las medidas obtenidas en cada indicador. La productividad primaria neta, a su vez, reforzó la energía generada, lo cual elevó sobremanera la eficiencia energética (56 %).

Si en la evaluación se enfocan los egresos de productividad secundaria (solo los productos ganaderos) y se restringen los ingresos a la energía fósil consumida por el sistema, los EE promedian poco más de 22 GJ/ha/año y el IE unos 54,6 GJ/ha/año, redondeándose una EE/IE de 35 %. Estos valores están dentro del rango obtenido por Denoia et al. (2008), aunque estos autores midieron eficiencias no mayores a 20 % y en este estudio se observaron casos con eficiencias superiores. El egreso de energía promedio específico de la producción de leche estuvo dentro del rango obtenido por Herrero et al. (2012), para lecherías con baja suplementación alimentaria, no así con los sistemas lecheros de alta suplementación, donde hubo un 34 % de diferencia entre valores promedio. Ingreso y eficiencia se hallaron en consonancia con ese trabajo realizado en veintisiete lecherías con distintos niveles de suplementación, en cuencas bonaerenses argentinas.

Cuando se propuso el análisis en función de la cantidad de leche producida, se obtuvo un promedio de 2,50 MJ/kg FPCM, con extremos de 1,98 a 2,78 MJ/kg FPCM. Con esta métrica, los IE fluctuaron entre 4,28 y 9,04 MJ/kg FPCM. De esta manera, la eficiencia (EE/IE) mínima fue de 0,26 y la máxima de 0,64 MJ/kg FPCM. Estas cifras coinciden con los costos energéticos y las eficiencias relevadas por Tieri et al. (2017) en 95 establecimientos de la cuenca central de Argentina; aunque no conciben con lo reportado por Llanos et al. (2013) en lecherías uruguayas. Este último trabajo entrega eficiencias superiores a 0,86, producto de mayor cantidad de energía entregada y también menor consumo. La diferencia en términos de unidades para el análisis relativo (kg FPCM vs. litros) no allana el contraste entre ambos estudios. El caso 3 (carga alta, suplementación baja -AB-), en el cual se obtuvo la menor valoración de energía ingresada (4,28 MJ/kg FPCM) y una EE/IE de 0,64, sí puede entrar en la comparación con los tambos del estrato bajo citado por el trabajo de Uruguay (4,58 MJ/l y 0,69 para cada indicador, respectivamente), así como con la experiencia de lecherías francesas de Rabier et al. (2010) con usos de energía pautados entre 4,26 y 5,62 MJ/l.

El *stock* remanente de energía es un indicador que poco se considera. Muestra un potencial energético desaprovechado, por cuanto excede los requerimientos nutricionales del rodeo y tampoco se exporta fuera del sistema. Resulta un indicador energético de sumo interés, ya que permitiría un mejor presupuesto forrajero/económico del planteo productivo lechero.

Conclusiones

El análisis energético fue una herramienta válida para el abordaje de la sustentabilidad de los sistemas, permite realizar un inventario de la energía consumida, producida, remanente y la eficiencia con que se utiliza.

Los egresos energéticos (EE) del sistema se incrementaron a nivel exponencial con los aportes de los cultivos forrajeros y agrícolas. Entre las producciones ganaderas, la de leche aportó más energía que la cárnica. A efectos de analizar la influencia de parámetros de intensificación, puede apreciarse que los sistemas con mayor aporte de leche al egreso energético se corresponden en gran medida con los de mayor productividad por hectárea y a la vez más carga animal.

En términos porcentuales, la composición del ingreso energético (IE) al sistema, se distribuyó entre un 67 % por agua, 17 % de alimentos balanceados y poco más de 10 % por fertilizantes y agroquímicos. Los sistemas con elevada carga animal evidenciaron mayor consumo de agua. Aunque los sistemas de alta suplementación tuvieron mayor participación de los alimentos comprados en los aportes de energía, no se lograron incrementos en la productividad ni mejor eficiencia energética; en tanto que los de baja suplementación tuvieron menos consumo de energías fósiles. El trabajo humano tuvo una baja participación sin diferencias significativas, independiente del uso más o menos intensivo de mano de obra.

La eficiencia total de los sistemas guardó relación con los EE por producción de forrajes y por los IE por suplementos alimentarios y fuentes fósiles; mientras que las eficiencias de leche y carne no mostraron diferencias entre sistemas. Este aporte a la eficiencia dado por la biomasa vegetal sustenta, por un lado, la importancia del recurso pastoril y, en menor medida, la provisión de energía generada por la agricultura.

El almacenamiento (*stock*) energético remanente no se utilizó dentro del sistema, ni contribuyó con el mismo mediante su exportación, por lo que se definió como una fracción sin utilidad práctica para el conjunto de los establecimientos lecheros analizados.

Referencias

- Basso, B., & Ritchie, J. T. (2005). Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 108(4), 329–341. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.01.011>
- Boadi, D., Benchaar, C., Chiquette, J., & Massé, D. (2004). Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: Update review. *Canadian Journal of Animal Science*, 84(3), 319–335. <https://doi.org/10.4141/A03-109>
- Bonel, B. A., Montico, S., Di Leo, N., Denoia, J. A., & Vilche, M. S. (2005). Análisis energético de las unidades de tierra en una cuenca rural. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 4(1-2), 37–47. <https://doi.org/10.14409/fa.v4i1/2.1312>
- Cleveland, C. J. (1995). The direct and indirect use of fossil fuels and electricity in USA agriculture, 1910–1990. *Agriculture, ecosystems & environment*, 55(2), 111–121. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(95\)00615-Y](https://doi.org/10.1016/0167-8809(95)00615-Y)
- Denoia, J., Bonel, B., Montico, S., & Di Leo, N. (2008). Análisis de la gestión energética en sistemas de producción ganaderos. *Revista FAVE- Ciencias Agrarias*, 7(1–2), 43–56.
- Flores-Aguilar, J. J., Vázquez-Rosales, R., Solano-Vergara, J. J., Aguirre-Flores, V., Flores-Pérez, F. I., Bahena-Galindo, M. E., Oliver-Guadarrama, R., Granjeno-Colín, A. E., & Orihuela-Truhillo, A. (2012). Efecto de fertilizante orgánico, inorgánico y su combinación en la producción de alfalfa y propiedades químicas del suelo. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 213–220.

- Fluck, R. C., & Baird, C. D. (1980). *Agricultural energetic*. Avi Publishing Company Inc.
- Franzluebbbers, A. J., & Francis, C. A. (1995). Energy output: input ratio of maize and sorghum management systems in eastern Nebraska. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 53(3), 271–278. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)00568-Y](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)00568-Y)
- Gaggiotti, M. C. (2008). *Tabla de composición química de alimentos para rumiantes* (1ª ed.). Ediciones INTA.
- Gastaldi, L., Engler, P., Litwin, G., Centeno, A., Maekawa, M., & Cuatrin, A. (2016). *Lechería Pampeana. Resultados productivos. Ejercicio 2014-2015*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://bit.ly/3bPcFVa>
- Gimenez, G. D. (2017). *Sustentabilidad en lecherías de Argentina. Evaluación de la gestión de sustentabilidad en sistemas de producción primaria de leche en la región pampeana argentina*. Editorial Académica Española.
- Gimenez, G. D., Novaira, B. I., & Marini, P. R. (2022). Análisis Energético en lecherías de la Región Pampeana Argentina. Parte 1. Flujos de Energía. *Agronomía Mesoamericana*, 33(3), Artículo 49024. <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.49024>
- Guevara-Hernández, F., Rodríguez-Larramendi, L. A., Hernández-Ramos, M. A., Fonseca-Flores, M. A., Pinto-Ruiz, R., & Reyes-Muro, L. (2015). Eficiencia energética y económica del cultivo de maíz en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biósfera “La Sepultura”, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1929–1941.
- Heichel, G. H. (1980). Assessing the fossil energy of propagating agricultural crops. In D. Pimentel (Ed.), *Handbook of energy utilization in agriculture* (pp. 27–33). CRC Press.
- Hermitte, E. M. (1904). *Consideraciones generales sobre los combustibles argentinos con relación a sus poderes caloríferos y a la situación económica de los yacimientos*. Repositorio Segemar. <http://repositorio.segemar.gov.ar/308849217/866>
- Herrero, M. A., Carbó, L. I., Gil, S. B., & Menéndez, G. (2012). Consumo y eficiencia de energía fósil en tambos con diferentes niveles de intensificación. *Revista Argentina de Producción Animal*, 32(1), 22.
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resource Management*, 21, 35-48. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9039-x>
- Institut d'Estudis de la Seguretat. (2010). *Búsqueda y validación de parámetros de la carga de fuego en establecimientos. Anexo. Tablas*. Institut d'Estudis de la Seguretat. https://www.tecnifuego.org/recursos/arxiu/20100317_0955Anexo_IDES.pdf
- International Dairy Federation. (2015). *A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology* (Bulletin 479). International Dairy Federation. <https://bit.ly/3OGY5h6>
- Lassey, W. R., & Arias, C. L. (1972). *Comunicación, cambio social y desarrollo agrícola en el área del lago de Izabal, Guatemala*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Leach, G. (1975). Energy and food production. *Food Policy*, 1(1), 62-73. [https://doi.org/10.1016/0306-9192\(75\)90009-3](https://doi.org/10.1016/0306-9192(75)90009-3)
- Litwin, G., Giménez, G., Álvarez, H., Esnaola, I., Centeno, A., Moretto, M., Maekawa, M., Butarelli, S., Engler, P., Spilj, G., Almada, G., Ferrer, J., Tieri, M., & Charlón, V. (2017). Propuesta para medir la sustentabilidad de tambos en la región pampeana. *Revista Técnica Planteos Ganaderos*, 2017, 82–86. <https://bit.ly/3a9ToNP>
- Llanos, E., Astigarraga, L., Jacques, R., & Picasso, V. (2013). Eficiencia energética en sistemas lecheros del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 17(2), 99–109.
- Marchioro, N. P. X. (1985). Balanço ecoenergético: uma metodologia de análise de sistemas agrícolas. *Treinamento em análise ecoenergética de sistemas agrícolas*, 1, 24–40.

- McCaughey, W. P., Wittenberg, K., & Corrigan, D. (1997). Methane production by steers on pasture. *Canadian Journal of Animal Science*, 77(3), 519–524. <https://doi.org/10.4141/A96-137>
- Meul, M., Nevens, F., Reheul, D., & Hofman, G. (2007). Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119(1-2), 135–144. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2006.07.002>
- Montico, S., Di Leo, N., Bonel, B., & Denoia, J. (2007). *Gestión de la energía en el sector rural*. UNR Editora.
- Paruelo, J. M., & Batista, W. (2006). El flujo de energía en los ecosistemas. En M. van Esso (Ed.), *Fundamentos de ecología. Su enseñanza con un enfoque novedoso* (pp. 97–115). Editorial Facultad de Agronomía. <https://www.agro.uba.ar/users/batista/EE/papers/paruelo.pdf>
- Pereira dos Santos, H., Serena Fontaneli, R., Spera, S. T., & Maldaner, G. L. (2011). Conversão e balanço de energia de sistemas de produção com integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(10), 1193–1199. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000011>
- Pimentel, D. (1980). Energy inputs for the production, formulation, packaging, and transport of various pesticides. In D. Pimentel (Ed.), *Handbook of energy utilization in agriculture* (pp. 45–48). CRC Press.
- Pimentel, D., Hurd, L. E., Bellotti, A. C., Forster, M. J., Oka, I. N., Sholes, O. D., & Whitman, R. J. (1973). Food production and energy crisis. *Science*, 182(4111), 443–449. <https://doi.org/10.1126/science.182.4111.443>
- Rabier, F., Mignon, C., Lejeune, L., & Stilmant, D. (2010). Assessment of energy consumption pattern in a sample of Walloon livestock farming systems. En *Grassland in a changing world. Grassland Science in Europe*, 15, 121–123.
- Rant, Z. (1956). Exergie, ein neues Wort für “Technische Arbeitsfähigkeit”. *Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens*, 22, 36–37.
- Robertson, L. J., & Waghorn, G. C. (2002). Dairy industry perspectives on methane emissions and production from cattle fed pasture or total mixed rations in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 62, 213–218.
- Rótolo, G. & Charlón, V. (2013, marzo 24-27). *Evaluación ambiental de un sistema de producción intensivo de leche en la cuenca central de Argentina utilizando el análisis de ciclo de vida (ACV) expandido* [Sesión de póster]. International Conference of LCA, Mendoza, Argentina. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.4309.7842>
- Russell, J. (2002). *Rumen microbiology and its role in ruminant nutrition*. Cornell University.
- Tieri, M. P., Charlón, V., Comerón, E., & Mascotti, M. (2017). La sustentabilidad de nuestros tambos. Estrategias productivas e indicadores ambientales. *Boletín Lechería Sustentable*, 2(5), 1–6. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_boletin_lecheria_sustentable_n_5.pdf
- Uhlín, H. E. (1999). Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 73(1), 63–81. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00002-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00002-X)
- Velázquez, E. (2011). *Agua virtual, huella hídrica y el binomio agua-energía: repensando los conceptos*. Universidad Pablo de Olavide. https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_documento/agua_virtual.pdf
- Viglizzo, E. F., Frank, F. C., Carreño, L. V., Jobbágy, E. G., Pereyra, H., Clatt, J., Pincén, D., & Ricard, M. F. (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology*, 17(2), 959–973. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02293.x>

- Viglizzo, E. F., & Roberto, Z. E. (1997). El componente ambiental en la intensificación ganadera. *Revista Argentina de Producción Animal*, 17(3), 271–292.
- Vigne, M., Vayssières, J., Lecomte, P., & Peyraud, J. -L. (2012). Evaluating the ability of current energy use assessment methods to study contrasting livestock production systems. *Journal of Environmental Management*, 112, 199–212. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.017>