



## AGROECOLOGIA A GRAN ESCALA II: REQUERIMIENTO, BALANCE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA COMPARADA CON UN MODELO DE AGRICULTURA INDUSTRIAL EN EL CENTRO-SUR DE BUENOS AIRES, ARGENTINA.

Martín Zamora, Agustín Barbera, Natalia Carrasco y Micaela Malaspina

Chacra Experimental Integrada de Barrow (convenio INTA-MAIBA). CC 50 (CP 7500) Tres Arroyos, Buenos Aires, Argentina. Tel +54 (2983) 431081

[zamora.martin@inta.gob.ar](mailto:zamora.martin@inta.gob.ar), [barbera.agustin@inta.gob.ar](mailto:barbera.agustin@inta.gob.ar), [carrasco.natalia@inta.gob.ar](mailto:carrasco.natalia@inta.gob.ar),  
[malaspina.micaela@inta.gob.ar](mailto:malaspina.micaela@inta.gob.ar)

### RESUMEN

El objetivo de esta experiencia fue comparar la demanda de energía, el balance y la eficiencia energética de dos sistemas productivos extensivos agrícola-ganaderos. En 2011 se establecieron dos módulos en la Chacra Experimental de Barrow, uno de producción Agroecológica (AGROE) y el otro con la agricultura predominante en la región (ACTUAL) (ACTUAL). La demanda energética de los cultivos fue menor en el modelo AGROE. Desde el inicio de la experiencia, el modelo AGROE, tuvo una tendencia a disminuir la demanda energética, principalmente por menor utilización de insumos como fertilizantes industriales y herbicidas, mientras que el modelo ACTUAL mostró tendencia a un aumento constante. La producción de energía del modelo ACTUAL fue superior al AGROE. No obstante, el balance de energía fue similar en ambos modelos. La eficiencia energética global del modelo AGROE fue superior al ACTUAL, básicamente sustentado en la mayor diversificación, el reemplazo de agroquímicos de síntesis industrial de alto costo (fertilizantes y herbicidas), por procesos o funciones ecológicas. Por otra parte, el rediseño de los sistemas productivos hacia la utilización de tecnologías de procesos promueve la sustentabilidad ambiental y la menor dependencia energética.

**Palabras Clave:** Agroecología extensiva, demanda energética y eficiencia energética

### Introducción

La agroecología es una disciplina científica que define, clasifica y estudia los sistemas agrícolas desde una perspectiva más ecológica y socioeconómica. La agroecología va más allá de un punto de vista unidimensional de los agroecosistemas y en lugar de centrar su atención en algún componente particular, enfatiza las interrelaciones entre sus componentes y la dinámica compleja de los procesos ecológicos (Vandermeer, 1995).

Este enfoque aplicado al desarrollo agrícola es más sensible a las complejidades de la agricultura local, al ampliar los objetivos y criterios agrícolas, para abarcar propiedades de sustentabilidad, seguridad alimentaria, estabilidad biológica, conservación de los recursos y equidad, junto con el objetivo de una mayor producción (Altieri y Nicholls, 2000). Los enfoques agroecológicos son económicamente viables porque minimizan los costos de producción al aumentar la eficiencia del uso de los recursos localmente disponibles.

En un ecosistema natural la principal fuente de energía es el sol. Sin embargo, en los agroecosistemas debemos utilizar, además, energía de otras fuentes para sostener determinados procesos o evitar determinadas interacciones. Esta energía entra al sistema en forma de combustibles, en la energía necesaria para la fabricación de los insumos (plaguicidas, fertilizantes, etc.) o maquinarias (Sarandón, 2014). Es por este motivo que, el modelo agrícola moderno intensivo y altamente productivo, se basa en el uso de elevadas cantidades de

insumos derivados del petróleo, en forma de aportes directos de combustibles e indirectos para la producción de agroquímicos, fertilizantes, maquinaria y semillas (Gliessman, 2001).

La eficiencia energética, entendida como unidades de energía cosechada por cada unidad de energía suministrada, ha sido analizada en diversos sistemas de producción (Ozkan *et al.*, 2003; Flores *et al.*, 2004, Iermanó y Sarandón, 2009a, 2009b, 2010).

El objetivo de esta experiencia fue comparar la demanda de energía y la eficiencia energética de dos sistemas productivos extensivos mixtos, uno que utiliza los principios de la agroecología y otro con el modelo predominante actual de altos insumos el centro sur bonaerense.

### Materiales y métodos

*Sitio experimental:* en enero de 2011 se estableció un módulo de 8 hectáreas dentro de un lote de producción de la Chacra Experimental de Barrow, ubicado en el partido de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires, sobre un suelo Paleudol petrocálcico fino, illítico, térmico, con limitaciones en el perfil por presencia de un manto calcáreo que varía entre 0,3 y 0,6 m. El fósforo disponible (Bray-Kurtz N° 1) presentó valor inicial de 8 ppm. El contenido de materia orgánica fue de 4,5 % y el pH 6,3.

Climáticamente la zona se clasifica como mesotermal subhúmeda. Presenta un régimen hídrico con disminución de las precipitaciones desde el este al oeste. El promedio histórico de lluvias alcanza los 750 milímetros. Desde el régimen térmico, el partido de Tres Arroyos puede ser caracterizado como un ambiente templado con un período libre de heladas de 172 días.

En el módulo 1 o AGROE se planificó un manejo agroecológico de cultivos extensivos con ganadería, teniendo como ejes centrales los principios de la agroecología, entre ellos, el balance y ciclado de nutrientes, aumento de biodiversidad, utilización de cultivos de cobertura y el manejo integrado de plagas con el objetivo de disminuir progresivamente el uso de plaguicidas. El resto del lote fue considerado como segundo módulo (módulo 2 o ACTUAL) que cuenta con el manejo de cultivos extensivos con ganadería predominante o actual de la zona, con un uso intensivo de insumos (fertilizantes y plaguicidas). En la Tabla 1 se indican las rotaciones y secuencia realizadas en cada uno de los módulos.

Tabla 1. Rotaciones y secuencias de cultivo en cada módulo.

Modulo	Fechas de siembra de cada cultivo									
	Mar-11	Nov-11	Jul-12	Mar-13	Nov-13	Aug-14	Mar-15	Dec-15	Jul-16	Mar-17
AGROE	Avena + vicia	Sorgo+ soja	Trigo multivarietal + Trebol rojo	Avena + vicia	Sorgo	Trigo multivarietal + Trebol rojo	Avena+ vicia	Sorgo/maíz+soja	Trigo multivarietal + Trebol rojo	Avena+ vicia
ACTUAL	Avena	Soja	Trigo candeal	Avena	Soja	Trigo	Avena	Soja	Trigo candeal	Avena

*Manejo de los cultivos:* para el manejo de los cultivos en el módulo ACTUAL, se estableció un modelo productivo industrial de altos insumos, altamente frecuente en la zona y para el módulo AGROE fueron utilizados principios de la agroecología, consensuados a través del accionar de un equipo interdisciplinario, a través de reuniones periódicas y determinando los manejos más adecuados. El sistema de labranza utilizado es de siembra directa pero evaluando y utilizando labranzas en caso de ser necesario. Un mayor detalle del manejo aplicado a cada módulo puede observarse en Carrasco y col., (2015).

Se calculó la demanda energética en base a la energía asociada de los diferentes insumos (semillas, plaguicidas, fertilizantes, labores, etc.), la producción de energía en base a los rendimientos de los cultivos y la producción de carne, el balance energético como las diferencias entre las entradas y las salidas y la eficiencia energética como la relación entre la energía producida y la demandada. Las entradas y salidas se convirtieron en unidades equivalentes = MJ (Megajoules), según diferentes citas bibliográficas (Flores y Sarandón, 2014; Hernánz et al., 1995).

## Resultados y discusión

- *Energía demandada:* en la Tabla 2 se muestran los resultados del cálculo de la energía asociada al proceso productivo para cada uno de los cultivos de la secuencia en ambos modelos productivos. Todos los cultivos del modelo AGROE demandaron menor energía que los del ACTUAL. Luego de 10 cultivos, la energía demandada por hectárea cultivada en el sistema ACTUAL fue 196% superior a la energía demandada por el modelo AGROE.

Tabla 2. Energía demandada en insumos y labores para cada modelo de producción (MJ/ha).

Año/campaña	AGROE		ACTUAL	
	Cultivo	Demanda de Energía (MJ/ha)	Cultivo	Demanda de Energía (MJ/ha)
2011	Av+Vi	4196	Av	7207
2011/12	Sg+Sj	2496	Sj	6537
2012	Tr+TR	5046	Tr	12863
2013	Av+Vi	3601	Av	8205
2013/14	Sg/Mz+Vi	1013	Sj	4746
2014	Tr+TR	4392	Tr	13971
2015	Av+Vi	2357	Av	6218
2015/16	Sg/Mz+Vi	1225	Sj	7036
2016	Tr+TR	3571	Tr	15535
2017	Av+Vi	1791	Tr	5750
<b>Total</b>		<b>29689</b>		<b>88069</b>

Referencias: Av: avena, Vi: vicia, Sg: sorgo, Sj: soja; Tr: trigo, Mz: maíz, TR: trébol rojo

Las demandas energéticas de los fertilizantes y herbicidas de los cultivos del modelo AGROE disminuyeron con el tiempo, mientras que para el modelo ACTUAL, tendieron al crecimiento. En ambos modelos se mantuvo estable la energía demandada por las labores, sin embargo la demanda energética del modelo ACTUAL siempre fue superior (Fig. 1A y 1B). Salvo en aquellas situaciones en que el cultivo fue soja, el modelo ACTUAL superó en 10 veces la energía insumida en fertilizantes con respecto al AGROE, tendiendo hacia una menor demanda total de energía, mientras que en el ACTUAL, la tendencia fue a un crecimiento (Fig. 1C).

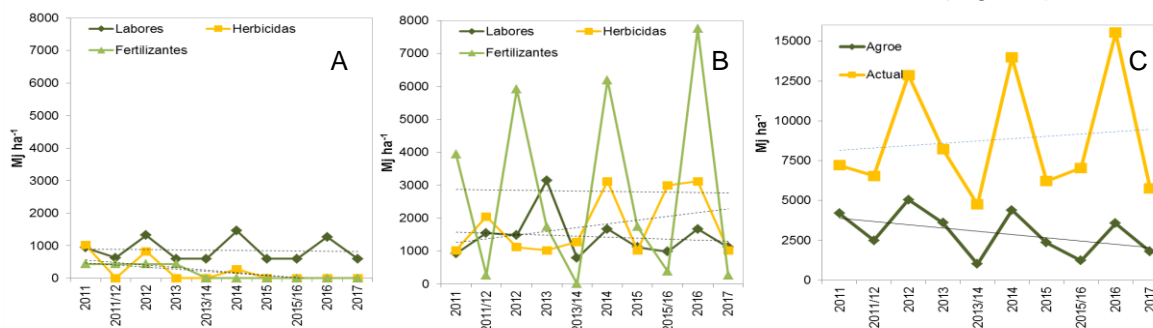


Figura 1. Evolución de la demanda de energía, según los principales insumos, para el modelo AGROE (A), el modelo ACTUAL (B) y demanda total (C). En líneas punteadas se muestran las tendencias.

Para toda la secuencia aquí evaluada (10 cultivos), la demanda energética en las labores fue un 70% mayor en el modelo ACTUAL, un 736% mayor en la energía asociada a herbicidas y 16 veces mayor la utilizada por fertilizantes, que el modelo AGROE (Tabla 3).

Tabla 3. Demanda Total de Energía (MJ/ha) en labores, herbicidas y fertilizantes según modelo productivo, para los 9 cultivos de la rotación.

	Demanda Total de Energía		Promedio por cultivo	
	Agroe	Actual	Agroe	Actual
Labores	8598	14617	860	1462
Herbicidas	2122	17752	212	1775
Fertilizantes	1754	28185	175	2818

- *Balance energético*: el modelo ACTUAL presentó mayores valores de energía producida, generalmente asociada a la mayor proporción de producción de granos, mientras que el modelo AGROE, la producción fue más equitativa entre producción de granos y carne. Siempre los cultivos forrajeros presentaron balances energéticos cercanos a cero, incluso levemente negativos. El balance energético del modelo ACTUAL fue 10 % superior al del modelo AGROE, aunque estos valores superiores eran esperables, ya que si bien ambos sistemas son agrícola ganaderos, el ACTUAL tuvo mayor proporción de cultivos de grano que el AGROE.

Tabla 4. Balance de energía (MJ/ha) para cada uno de los cultivos y para cada uno de los modelos productivos evaluados.

Año	AGROE			ACTUAL		
	E producida	E demandada	Balance	E producida	E demandada	Balance
2011	1573	4196	-2623	1070	7207	-6137
2011/12	1744	2496	-752	40200	6537	33663
2012	54259	5046	49213	67356	12863	54493
2013	3264	3601	-337	4997	8205	-3208
2013/14	1006	1013	-8	0*	4746	-4746
2014	71098	4392	66706	71098	13971	57127
2015	3264	2357	906	2429	6218	-3789
2015/16	1840	1225	615	67000	7036	59964
2016	44904	3571	41333	37420	15535	21885
2017	33678	1791	31887	1926	5750	-3824
<b>Total</b>	<b>216629</b>	<b>29689</b>	<b>186941</b>	<b>293496</b>	<b>88069</b>	<b>205427</b>

\* Cultivo de soja que no prosperó por falta de lluvias

- *Eficiencia energética*: la eficiencia energética global del modelo AGROE resultó ser superior a la del modelo ACTUAL (Tabla 5). Los valores de eficiencia energética logrados en el ACTUAL son similares a los informados por Hernáñez et al., 1995. En cambio, en el modelo AGROE, se alcanzaron mayores eficiencias debidas principalmente a la mayor utilización de tecnologías de procesos, mayor diversificación productiva, el reemplazo de ciertos insumos como los fertilizantes nitrogenados por funciones ecológicas tal como la fijación biológica de nitrógeno y disminución progresiva del uso de plaguicidas.

Tabla 5. Eficiencia energética por cultivo y global, para los dos modelos evaluados.

Año	AGROE	ACTUAL
2011	0,37	0,15
2011/12	0,70	6,15
2012	10,75	5,24
2013	0,91	0,61
2013/14	0,99	0
2014	16,19	5,09
2015	1,38	0,39
2015/16	1,50	9,52
2016	12,58	2,41
2017	18,80	0,33
<b>Total</b>	<b>7,30</b>	<b>3,33</b>

### Conclusiones

De la comparación de los dos modelos, surge como conclusión que la demanda energética de los cultivos fue menor en el modelo AGROE. Esto sugiere una menor dependencia energética de este modelo. Desde el inicio de la experiencia, el modelo AGROE, tuvo una tendencia a disminuir la demanda energética, principalmente por menor utilización de insumos como fertilizantes industriales y herbicidas, mientras que el modelo ACTUAL mostró tendencia a un aumento constante en la demanda de energía. La producción de energía del modelo ACTUAL fue superior al AGROE, mientras que en el balance de energía, estas diferencias no fueron tan marcadas.

La eficiencia energética global del modelo AGROE fue superior al ACTUAL, básicamente sustentado en la mayor diversificación, el reemplazo de agroquímicos de síntesis industrial de alto costo (fertilizantes y herbicidas), por procesos o funciones ecológicas. Por otra parte, el rediseño de los sistemas productivos hacia la utilización de tecnologías de procesos promueve la sustentabilidad ambiental y la menor dependencia energética.

### Bibliografía

- Altieri MA y CI Nicholls. 2000. Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Primera edición. Serie de textos básicos para la formación ambiental. PNUMA. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México D.F. México. 250 pp.
- Carrasco, N., Zamora, M., Cerdá, E., Pusineri, L., Barbera, A., De Luca, L. y Perez, R. 2015. Agroecología en Cultivos Extensivos en el Centro Sur Bonaerense. Manejo a campo y servicios ecosistémicos. En: Actas V Congreso Latinoamericano de Agroecología. La Plata, Argentina, 7-9 de octubre.
- Gliessman, SR. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sustentable. Editora da Universidade. 380 pp.
- Hernández JL, VS Girón & C Cerisola (1995) Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. Soil & Tillage Res. 35 :183-198.
- Sarandón, Santiago. 2014. El Agroecosistema: un sistema modificado. En: Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de los agroecosistemas sustentables (eds Santiago Sarandón y Claudia Flores). Capítulo 4. Editorial Universidad de La Plata. Pp 100-130.
- Sarandón SJ y CC Flores. 2014. La energía en los agroecosistemas. En: Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de los agroecosistemas sustentables (eds Santiago Sarandón y Claudia Flores). Capítulo 7. Editorial Universidad de La Plata. Pp 190-210.