

ANÁLISIS DE PARÁMETROS ENERGÉTICOS EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE MAÍZ (*ZEAMAYS*, L.) PARA BIOCOMBUSTIBLE

BONEL, B.¹; COSTANZO, M. ¹; LOMBARDO, F.¹ & MONTICO, S.¹

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue analizar parámetros energéticos en sistemas de producción de maíz en tres ambientes edafoclimáticos: Argiudol típico, Peludert árgico y Hapludol éntico, en una serie climática de 30 años. Se consideraron dos situaciones de fertilidad y humedad inicial. Se compararon tres híbridos y cuatro niveles de ingresos energéticos (IE) correspondientes a fertilizantes nitrogenados. Para obtener los egresos energéticos (EE) se utilizó un modelo de simulación de rendimientos (DSSAT v.4.0). La probabilidad acumulada de EE fue diferente entre sitios, híbridos y nivel de IE. El Peludert árgico resultó más riesgoso frente a IE crecientes. La relación EE/IE al aumentar los IE decreció en todos los ambientes y en algunos casos el uso de mayores IE produjo menores EE. La variabilidad de las precipitaciones explicó parte de la variabilidad de los EE, con R^2 entre 0,36 y 0,64, por lo que habría otros factores determinantes de los EE. La interacción de suelo, clima, manejo y genotipo determina los parámetros energéticos derivados de la producción de materia prima, primer eslabón en la planificación sustentable de la cadena bioenergética.

Palabras clave: biocombustibles, maíz (*Zea mays*, L.), modelos de simulación de cultivos, uso de la energía.

SUMMARY

Analysis of energetic parameters in corn (*Zea mays*, L.) production for biofuels.

The objective of this work was to discuss energetic parameters in maize (*Zea mays*, L.) production systems in three agro-climatic environments: Typical Argiudolls, Argic Peludert and Entic Hapludol in a 30 years climatic series. Two situations of initial fertility and moisture were considered. Three hybrids and four levels of energy inputs (IE) for nitrogen fertilizers were compared. Energy outputs (EE) were calculated by using a simulation model yields (DSSAT v.4.0). The acumulative probability of EE was different between environments, hybrids and level of IE. The Argic Peludert was more risky compared to the increasing IE. As IE increased the relationship EE/EI decreased in all environments and in some cases the use of more IE determine less EE. The variability in rainfall explained part of the changes in EE, R^2 ranged between 0.36 and 0.64 suggesting that would have other determinants of the EE. The combination of soil, climate, management and genotype determines the energetic parameters from the production of raw materials, the first steel in sustainable planning of bioenergy chain.

Key words: biofuels, corn (*Zea mays* L.), crop simulation model, energy utilization.

1.- Cátedra Manejo de Tierras. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. Parque Villarino. C. C. 14. (2125) Zavalla, provincia de Santa Fe. e-mail: bonel@arnet.com.ar
Manuscrito recibido el 11 de febrero de 2009 y aceptado para su publicación el 7 de abril de 2009.

INTRODUCCIÓN

En la última década surge el fenómeno de cambio de la matriz energética a nivel mundial, producto de la diversificación de las fuentes de energía a expensas principalmente del desarrollo de la bioenergía (Montico *et al.*, 2007). Uno de los impactos derivados del crecimiento de los biocombustibles es la sustracción de parte de la producción de maíz (*Zea mays*, L.) y soja (*Glycine max*, L.) del mercado de alimentos para dedicarlo a la producción de etanol y biodiesel. En el caso particular del maíz el balance energético neto del uso de los granos como biocombustibles es bajo, con una conversión menor a dos (FAO, 2008) por lo que las prácticas de manejo pueden impactar de manera sustancial sobre los rendimientos y con ello evitar balances negativos. En relación a esto hay escasa información disponible sobre la eficiencia energética de los sistemas agropecuarios en Argentina. Asimismo el sector rural conoce poco sobre las capacidades de los agroecosistemas para transformar los “inputs” naturales y tecnológicos en “outputs” de materia prima, menos aún su vinculación con calidades de la tierra, oferta ambiental de los territorios y aspectos económicos (Montico *et al.*, 2006; Di Leo *et al.*, 2007). Por ello, resulta necesario profundizar el conocimiento y generar mayor información sobre los modelos de producción de maíz que se destinan a la obtención de biocombustibles en distintos escenarios ambientales y estudiar sus balances energéticos. Esta información debería ser aplicada en la posterior transformación industrial del grano, de manera de abarcar la cadena agroenergética en forma completa y evaluar la eficiencia real de este destino frente al uso alternativo como alimento.

Para el análisis energético Odum (1975) propone un modelo basado en las relacio-

nes de entradas y salidas de energía estimadas a partir de diferentes fuentes de información. Los parámetros comúnmente utilizados en estudios energéticos brindan información acerca de distintos aspectos vinculados a la gestión de la energía. La relación entre ingresos y egresos energéticos (IE/EE) es un indicador de la eficiencia en el uso de la energía, mientras que el total de ingresos energéticos (IE) da una idea sobre el grado de intensificación. En los casos donde se deba priorizar la producción de energía para un posterior uso humano, el parámetro de comparación más adecuado es el egreso energético (EE) (Hülshbergen *et al.*, 2001).

La producción sustentable de biocombustibles debe realizarse considerando el impacto ecológico de la producción de cultivos para este fin. En particular, el uso eficiente de los fertilizantes es necesario debido a su alto costo y por los impactos ambientales derivados de su aplicación. Numerosos autores coinciden en la importancia del régimen de aplicación de fertilizantes en la gestión del uso de la energía (Lewandowski & Schmidt, 2006). Este rubro es el más importante respecto a semillas, pesticidas y herbicidas, especialmente en planteos de siembra directa donde el consumo de energía en forma directa es menor que en planteos bajo otro sistema de labranza. En este sentido el manejo que se puede hacer de la fertilidad tiene mayor impacto sobre la gestión de la energía que el manejo de plagas y enfermedades.

Por otra parte, a escala territorial la gestión de la energía está condicionada por las diferentes características agroecológicas de una región, incluyendo aspectos de manejo y condiciones naturales de producción (Montico *et al.*, 2006). Dentro de los aspectos naturales, el suelo es uno de los factores más importantes que definen la potencialidad energética del sitio. Es así que la granulometría puede generar diferentes con-

diciones de mineralización de la materia orgánica traduciéndose en distintas necesidades de fertilizantes nitrogenados (Mc Laughlin *et al.*, 2000) y determinando diferentes IE en este rubro. El clima, a través de la oferta de agua, condiciones de temperatura y radiación genera patrones en los flujos de energía que se interrelacionan a su vez con aspectos edáficos y de manejo de cultivo.

La predicción del comportamiento de los cultivos bajo diferentes ambientes debe ser abordada mediante herramientas de simulación debido a la complejidad generada a partir de la interacción entre suelo, clima, híbrido, estrategia de fertilización y condiciones iniciales. Los modelos de la familia CERES que están incluidos dentro del “paquete” DSSAT (Hoogenboom *et al.*, 2003) simulan el crecimiento y rendimiento de cereales y han sido probados en diferentes regiones de la Argentina y en una amplia variedad de cultivos, incluyendo maíz (Guevara *et al.*, 1999; Mercau *et al.*, 2001). Estos modelos permiten cuantificar la probabilidad de ocurrencia de rendimientos en áreas homogéneas atendiendo a la variabilidad temporal (Salvagiotti *et al.*, 2003), y cuantificar el riesgo asociado a diferentes alternativas de manejo extrapolables a proyectos de obtención de biocombustibles.

El objetivo de este trabajo fue analizar parámetros energéticos, relacionados con la producción de energía, en sistemas de producción de maíz de tres regiones edafoclimá-

ticas en escenarios contrastantes de manejo de la fertilización nitrogenada y condiciones iniciales de humedad y fertilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para reproducir el comportamiento de los cultivos bajo escenarios ecológicos y tecnológicos variados se utilizó un modelo de simulación agronómica, pudiendo predecir los rendimientos potenciales y alcanzables. El software utilizado corresponde al *Decisión Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT), versión 4.0 (Hoogenboom *et al.*, 2003).

El análisis energético se efectuó a partir de los resultados del modelo y de la aplicación de los parámetros descritos en el Cuadro 1 (Hülsbergen *et al.*, 2001). En este trabajo se utilizó como dato para el cálculo del EE el rendimiento alcanzable que está definido por el rendimiento potencial, disminuido por limitantes de agua y de nutrientes. Como ingreso energético se tomó sólo el correspondiente a fertilizante debido a la importancia relativa de este rubro respecto al resto (Bonel *et al.*, 2005) y para facilitar la aplicación del modelo de simulación agronómica. Los coeficientes utilizados para la conversión de biomasa cosechada y fertilizante nitrogenado a términos energéticos fueron de 16,54 MJ.kg⁻¹ de grano cosechado y de 77,53 MJ.kg⁻¹ de fertilizante nitrogenado (Santos, H.P. dos *et al.*, 2000).

Cuadro 1: Parámetros energéticos utilizados en la comparación de regiones edafoclimáticas para la producción de maíz.

Parámetros energéticos	Definición
Ingreso de energía (IE)	Fertilizantes
Egreso de energía (EE)	Biomasa cosechada
Relación egreso/ingreso	EE/IE

Los modelos de simulación agronómica establecen potencialidades en “áreas homogéneas” bajo distintos escenarios. En este trabajo se consideran tres áreas homogéneas resultantes de la combinación de suelos y bases de datos climáticos. Los suelos seleccionados corresponden a un Argiudol típico serie Pergamino, a un Peludert árgico serie El Sauce y a un Hapludol éntico serie Saforcada. El Argiudol típico presenta una secuencia de horizontes A – BA – Bt – BC – C, 46 % de arcilla entre los 45 y 60 cm de profundidad y 1,5% de C orgánico en los primeros 15 cm. El Peludert árgico presenta una secuencia de horizontes A – B – BC – C, con un porcentaje de arcilla próximo al valor de 50% entre los 30 y 90 cm, y un contenido de C orgánico de 2,8% en los primeros 15 cm. El Hapludol éntico, cuya secuencia de horizontes es A – AC – C, presenta valores de arcilla menores al 9,5% en todo el perfil y 0,5% de C orgánico en los primeros 15 cm. La base de datos climáticos combinada con las series Pergamino y Saforcada es representativa del norte de Buenos Aires, y la utilizada para la serie El Sauce es representativa de la zona Oeste de Entre Ríos. Las series climáticas abarcan 30 años, desde 1971 a 2001 y contienen datos diarios de precipitaciones, temperatura y radiación. De la combinación del tipo de suelo y series climáticas, surgen los ambientes edafoclimáticos: Argiudol típico (At), Peludert árgico (Pa) y Hapludol éntico (He). Los escenarios productivos corresponden a dos niveles de humedad inicial: 80% de agua útil (AU), y 50% de AU; y dos niveles de fertilidad nitrogenada inicial: medio (38,4 ppm de N-NO₃ más 2 ppm de N-NH₄ repartidos proporcionalmente en los distintos horizontes hasta los 75 cm) y bajo (16,5 ppm de N-NO₃ más 2 ppm de N-NH₄ repartidos proporcionalmente en los distintos horizontes hasta los 75 cm). Por otra parte, el modelo calcula el aporte de nitrógeno por

mineralización a partir de la relación C/N y del contenido inicial de C orgánico, considerando un 2 % de mineralización para los meses estivales. La definición de los contenidos de agua y nitrógeno inicial se consideran, en este trabajo, como parte de la variabilidad probable de encontrar en sistemas de producción agropecuarios, por lo que no se harán comparaciones entre estos escenarios, sino que se promediarán los resultados.

Se compararon cuatro niveles de IE correspondientes a fertilizantes nitrogenados: 0, 50, 100 y 200 kg de nitrógeno en forma de urea aplicada a la siembra, incorporados en los primeros cinco centímetros de suelo. Transformados en valores de energía los cuatro niveles de IE resultaron N₀: 0 MJ.ha⁻¹; N₁: 3.877 MJ.ha⁻¹; N₂: 7.753 MJ.ha⁻¹ y N₃: 15.506 MJ.ha⁻¹. Se consideraron tres híbridos simples de diferente ciclo (DK 752: ciclo completo, madurez relativa 125; DK 682: semiprecoz – intermedio, madurez relativa 120 y DK 615: precoz, madurez relativa 111). Las fechas de siembra consideradas en el modelo fueron las recomendadas para el área donde están más difundidas las series de suelo analizadas, siendo el 10 de setiembre para At (Pergamino), el 01 de setiembre para Pa (La Paz) y el 25 de setiembre para He (Junín). Se consideró una densidad de siembra de 78.000 plantas, sembradas a 52 cm entre líneas.

Los resultados se analizaron a través de las probabilidades acumuladas a través del tiempo con el objetivo de evaluar el riesgo asociado a cada modelo de manejo en los distintos sitios edafoclimáticos. Este enfoque resulta apropiado para la evaluación de tecnologías de alto riesgo, como es la aplicación de nutrientes, y donde la respuesta está condicionada por características edáficas del lote, el clima y la eficiencia de cada genotipo. En este trabajo, además de la curva acumulada se analizaron los rendimientos que se dan en al menos el 80% de los años.

RESULTADOS

Los EE potenciales, es decir sin limitantes de agua y nitrógeno fueron de 191.806, 167.906 y 189.625 MJ.ha⁻¹ para At, Pa y He respectivamente, considerando el promedio de los híbridos analizados y para las fechas de siembras recomendadas para cada “área homogénea”. El EE promedio de los ambientes a través de niveles de AU, niveles de fertilidad inicial, híbridos y manejo de la fertilidad fue de 100.724 MJ.ha⁻¹ para At, 78.012 MJ.ha⁻¹ para Pa y de 80.543 MJ.ha⁻¹ para He, con precipitaciones promedio durante el desarrollo del cultivo de 526 mm (CV=0,29), 494 mm (CV=0,26) y 539 mm (CV=0,25) para cada ambiente edafoclimático, respectivamente.

En el análisis de datos se consideraron los promedios de las combinaciones de humedad y fertilidad inicial con el objetivo de simular variabilidad en las situaciones comparadas de suelo, serie climática y manejo de la fertilidad nitrogenada. En este sentido, la producción de energía en los distintos ambientes edafoclimáticos, considerando las dos condiciones iniciales de humedad y fertilidad, presenta curvas acumuladas de probabilidad de ocurrencia de EE diferentes. También se observan diferencias entre híbridos y niveles de fertilización dentro de cada ambiente (Figs. 1 y 2). En At, desde niveles de probabilidad bajos se diferencian las curvas de EE de acuerdo al aumento de IE (EE en N₃ > N₂ > N₁), en He esto ocurre a partir de probabilidades medias y en Pa en la parte final de la curva. Aunque en el último caso con IE de 15.506 MJ.ha⁻¹ (N₃) los EE no superan los obtenidos con IE de 7.753 MJ.ha⁻¹ (N₂).

Para el análisis de la eficiencia energética se tomó como EE de referencia el que ocurre en el 80% de los años, es decir que la probabilidad acumulada de que ocurran rendimientos menores corresponde a 0,2. Se halló que la relación EE/IE y la respuesta en términos

de EE en cada ambiente frente a un aumento en los IE, medido como el incremento de EE por unidad de IE ($\Delta EE/IE$), están condicionados por las características e interrelaciones dadas por el tipo de suelo y las variables ambientales utilizadas por el modelo (precipitaciones, temperatura y radiación diaria) (Cuadro 2). Los ingresos crecientes de energía como fertilizante en Pa no se traducen en egresos energéticos proporcionales, sino que obran en forma contraria, siendo estos casos altamente ineficientes desde el punto de vista energético.

Las mayores eficiencias se observan con IE de 3.877 MJ.ha⁻¹ (N₁), mientras que al incrementar los IE la eficiencia decrece o desaparece.

La correlación entre la oferta hídrica, medida como precipitaciones durante el ciclo completo del cultivo y el EE fue diferente entre sitios, entre híbridos dentro de sitios y con una tendencia general creciente al aumentar los IE (Cuadro 3). Esto demuestra que la variabilidad de los EE en cada caso no se explica en igual magnitud por la variabilidad de las precipitaciones, por lo que existirían otros factores que en mayor o menor medida influirían sobre los resultados esperados.

DISCUSIÓN

En algunos sitios los modelos que usan menores insumos energéticos pueden ser considerados que hacen un uso ineficiente de la tierra ya que la producción de energía se ve incrementada frente al agregado de “inputs” energéticos. No obstante, la ganancia de energía lograda debe ser evaluada en función del riesgo de ocurrencia, en base a la oferta agroclimática. En este trabajo se detectaron diferencias en los parámetros energéticos analizados (EE y relación EE/IE), ya sea entre ambientes edafoclimáticos,

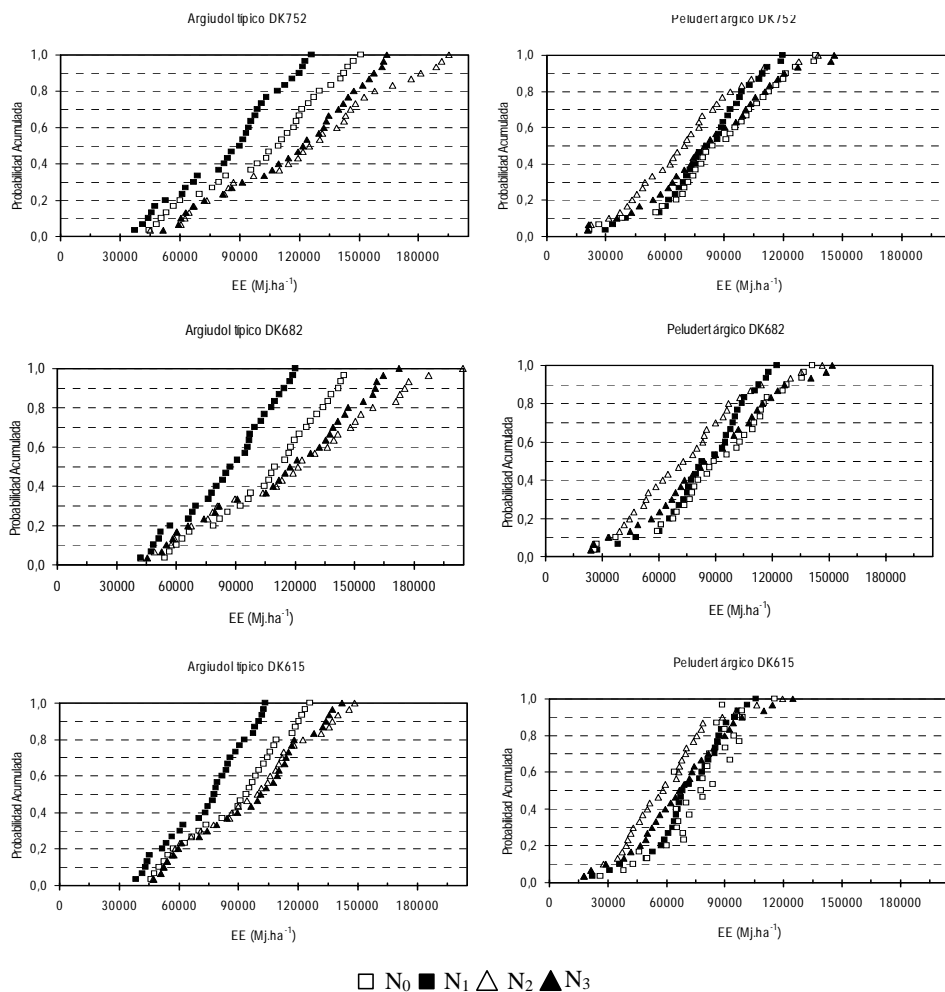


Fig. 1: Probabilidades acumuladas de egresos energéticos (EE) para un Argiudol típico y un Peludert árgico y tres híbridos de maíz obtenidos mediante el modelo de simulación agronómica. Diferentes símbolos representan cada uno de los cuatro escenarios de ingresos energéticos (N_0 : 0 MJ · ha⁻¹; N_1 : 3.877 MJ · ha⁻¹; N_2 : 7.753 MJ · ha⁻¹ y N_3 : 15.506 MJ · ha⁻¹). Los valores son promedio de combinaciones de humedad y fertilidad inicial (50 y 80% de AU, nivel medio y bajo de fertilidad).

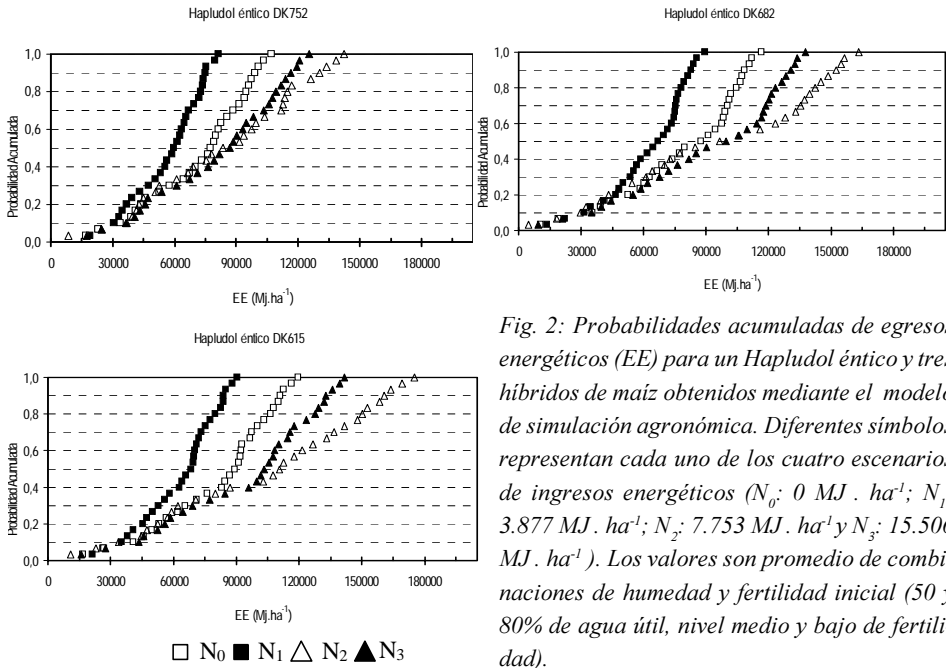


Fig. 2: Probabilidades acumuladas de egresos energéticos (EE) para un Hapludol éntico y tres híbridos de maíz obtenidos mediante el modelo de simulación agronómica. Diferentes símbolos representan cada uno de los cuatro escenarios de ingresos energéticos (N_0 : 0 MJ . ha⁻¹; N_1 : 3.877 MJ . ha⁻¹; N_2 : 7.753 MJ . ha⁻¹ y N_3 : 15.506 MJ . ha⁻¹). Los valores son promedio de combinaciones de humedad y fertilidad inicial (50 y 80% de agua útil, nivel medio y bajo de fertilidad).

	EE/IE			ΔEE/IE		
	N_1	N_2	N_3	N_1	N_2	N_3
<i>Argiudol típico</i>						
DK 752	15,5	8,5	4,4	1,9	1,7	0,9
DK 682	17,2	9,3	4,8	2,5	1,9	1,1
DK 615	14,8	7,7	3,8	1,4	1,0	0,4
<i>Peludol érgico</i>						
DK 752	16,9	6,9	2,8	0,9	0	0
DK 682	17,5	7,2	2,9	0,6	0	0
DK 615	15,5	5,9	2,5	0,8	0	0
<i>Hapludol éntico</i>						
DK 752	11,3	5,9	2,8	1,8	1,2	0,39
DK 682	13,6	7,1	2,8	1,5	1,0	0
DK 615	13,8	7,2	3,4	2,1	1,4	1,47

Cuadro 2: Relación entre egresos (EE) e ingresos energéticos (IE) e incremento de EE por unidad de IE ($\Delta EE/IE$) para tres niveles de IE como fertilizante nitrogenado (N) y tres híbridos de maíz en distintos ambientes edafoclimáticos. Datos obtenidos a partir de valores promedio de combinaciones de humedad y fertilidad inicial (50 y 80% de agua útil, nivel medio y bajo de fertilidad).

$N_1 = 3.877 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$; $N_2 = 7.753 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$; $N_3 = 15.506 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$; $\Delta EE = EE_{N_n} - EE_{N_0}$, siendo EE_{N_n} el correspondiente a la simulación sin IE en forma de fertilizantes y N_n los tratamientos N_1 , N_2 y N_3 .

Cuadro 3. Correlación (R^2) entre precipitaciones y egreso energético para distintos niveles ingreso energético como fertilizante nitrogenado (N) y tres híbridos de maíz en distintos ambientes edafoclimáticos. Datos obtenidos a partir de valores promedio de combinaciones de humedad y fertilidad inicial (50 y 80% de agua útil, nivel medio y bajo de fertilidad).

	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃
<i>Argiudol típico</i>				
DK 752	0,57	0,56	0,57	0,56
DK 682	0,58	0,61	0,63	0,59
DK 615	0,60	0,63	0,64	0,63
<i>Peludert árgico</i>				
DK 752	0,45	0,46	0,49	0,45
DK 682	0,47	0,52	0,53	0,51
DK 615	0,46	0,48	0,51	0,55
<i>Hapludol éntico</i>				
DK 752	0,42	0,53	0,58	0,62
DK 682	0,40	0,48	0,51	0,55
DK 615	0,36	0,46	0,52	0,59

$$N_0 = 0 \text{ MJ.ha}^{-1}; N_1 = 3.877 \text{ MJ.ha}^{-1}; N_2 = 7.753 \text{ MJ.ha}^{-1}; N_3 = 15.506 \text{ MJ.ha}^{-1}$$

híbridos y manejo de la fertilidad nitrogenada que justificarían un análisis más preciso de la información referente a los proyectos de bioenergía en la región productora de maíz. De acuerdo a este trabajo los Argiudoles típicos de la serie Pergamino serían sitios menos riesgosos para la obtención de energía en forma de grano, mientras que los Peluderts árgicos de la serie El Sauce serían los más riesgosos. Los Hapludoles énticos de la serie Junín se hallarían en una situación intermedia. En cuanto a la eficiencia en el uso de la energía ingresada a través de fertilizantes, en general disminuye a medida que se incrementan los “inputs” energéticos, coincidiendo con lo hallado por Lewandowski & Schmidt (2006). Esto impli-

caría que la energía neta producida en una región también resulte menor. De todas formas deberían explorarse planteos de manejo de cultivo que apunten a disminuir el riesgo y aumentar la eficiencia en el uso de los inputs energéticos. Estos aspectos son sumamente importantes ya que la utilización de recursos vegetales con fines energéticos conlleva una presión adicional sobre las actuales áreas trabajadas (Hilbert, 2008).

El manejo agronómico uniforme en diferentes regiones edafoclimáticas es ineficiente desde el punto de vista ambiental y económico. El clima es un factor variable que influye marcadamente sobre la producción de energía en forma de grano, pero la capacidad de predecir con exactitud la ocurrencia de

determinadas condiciones para un ciclo es baja, por eso el análisis de riesgo aporta información confiable para la toma de decisiones (Basso *et al.*, 2007). El maíz es un cultivo con una alta respuesta al monto de precipitaciones por lo que el análisis en base a series climáticas adquiere mayor relevancia. Montico *et al.* (*en prensa*) hallaron relación directa entre eficiencia y producción de energía y diferentes restricciones de oferta hídrica climática. No obstante ello, la baja explicación de los EE a través de la variabilidad de las precipitaciones, sugiere que en determinados ambientes además de la oferta hídrica durante el ciclo completo del cultivo, habría que considerar las lluvias ocurridas durante el período crítico. Asimismo la profundidad efectiva explorada por las raíces puede diferir en cada ambiente y restringir de esta manera el desarrollo vegetal. Las prácticas de manejo del cultivo (fecha de siembra, densidad, arreglo espacial) y en especial de manejo de la fertilidad (fuente, dosis y momento de aplicación de los nutrientes) también son factores que pueden estar determinando la respuesta del ambiente al escenario planteado y a la serie climática seleccionada. Estos aspectos son fuente de variabilidad de EE probables.

Por otra parte existen diferencias entre cultivos vinculadas al rendimiento en combustión (Lewandowski & Schmidt, 2006), que deberían ser analizadas para optimizar propuestas de producción de cultivos con fines energéticos. Los límites espaciales y temporales, así como el modelo de análisis energético utilizado influye sobre los resultados obtenidos (Hülsbergen *et al.*, 2001), por lo que la información presentada en este trabajo es orientativa y general, planteando la necesidad de homogeneizar herramientas de evaluación de proyectos bioenergéticos que contemplen flujos de materia y energía, así como coeficientes de conversión de esos flujos a energía. En este sentido FAO (2008),

plantea que los criterios de sostenibilidad en la producción de materias primas para la elaboración de biocombustibles no difieren significativamente de los efectos de otra forma de agricultura, pero que está pendiente la definición de la mejor forma de evaluarlos y aplicarlos a las actividades de campo.

CONCLUSIONES

Los modelos de simulación agronómica que reproducen procesos funcionales de los cultivos son útiles para plantear escenarios y evaluar la probabilidad de ocurrencia de los parámetros energéticos teniendo en cuenta las interacciones existentes entre clima, suelo, manejo y genotipo. En este trabajo se pone en evidencia la variación de los egresos energéticos y la eficiencia en el uso de la energía ingresada como fertilizante nitrogenado en función de diferentes características edafoclimáticas y en escenarios contrastantes de condiciones iniciales de producción de maíz.

Para poder participar del mercado de biocombustibles la producción de materias primas es el primer eslabón de toda una cadena bioenergética. Identificar parámetros energéticos probables permitirá definir zonas de aptitud potencial y actual para usos energéticos, elaborar cartografía, generar bases de datos e incorporar esta información a métodos de evaluación de sustentabilidad desarrollados o que se desarrollen con estos fines.

BIBLIOGRAFÍA

- BASSO, B.; M. BERTOCCO; L. SARTORI & E.C. MARTIN.** 2007. Analyzing the effects of climate variability on spatial pattern of yield in a maize – wheat – soybean

- rotation. *European Journal of Agronomy*. 26: 82-91.
- BONEL, B.A.; S. MONTICO; N. DI LEO; J. DENOIA & M.S. VILCHE.** 2005. Análisis energético de las unidades de tierra en una Cuenca Rural. *Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias*. Vol. 4 (1-2): 37 – 47.
- DI LEO, N.; B. BONEL; S. MONTICO, M.S. VILCHE & J. DENOIA.** 2007. Balance energético en unidades de tierra basado en un sistema de información geográfica. *Revista UNCuyo*. Tomo XXXIX (1):41-57.
- FAO,** 2008. *El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Biocombustibles: perspectivas riesgos y oportunidades*. Roma, 2008. 162 pp.
- GUEVARA E.R.; S. MEIRA; M. MATURANO & G. COCA.** 1999. Maize simulation for different environment of Argentina. *International Symposium Modelling Cropping System*. Lleida, España.
- HILBERT, A.** 2008. Avances en el programa de bioenergía del INTA. Seminario de energías renovables. II Seminario de biocombustibles. *Actas XVI Congreso de Aapresid*, Rosario, Argentina. 107 – 115.
- HOOGENBOOM, G.; J.W. JONES; C.H. PORTER; P.W. WILKENS; K.J. BOOTE; W.D. BATCHELOR; L.A. HUNT & G.Y. TSUJI.** 2003. *Decision Support System Agrotechnology Transfer Version 4.0*. University of Hawaii, Honolulu, H.I.
- HÜLSBERGEN, K. J.; B. FEIL; S. BIERMANN; G. W. RATHKE; W.D. KALK & W. DIEPENBROCK.** 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in long – term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 86:303–321.
- 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 & Environment*, 112:335–346.
- Mc LAUGHLIN, N.B.; A. HIBA; G.J. WALL & D.J. KING.** 2000. Comparison of energy inputs for inorganic fertilizer and manure based corn production. *Canadian Agricultural Engineering*, 42 (1): 009 – 017.
- MERCAU, J.L.; E.H. SATORRE; M.E. OTEGUI; G. MADDONI; J. CÁRCOVA; R.A. RUIZ; M.A. URIBELARREA & F.J. MENENDEZ.** 2001. Evaluación a campo del comportamiento del modelo CERES en cultivos de maíz en el norte de la provincia de Buenos Aires. *Actas VII Congreso Nacional de Maíz*, Pergamino, Argentina.
- MONTICO S.; B. BONEL.; N. DI LEO; M.S. VILCHE & J.DENOIA.** 2006. Balance de agua y energía en la cuenca del arroyo Ludueña, Argentina. *Revista Ciencia e Investigación Agraria*, 33 (3):225-236.
- MONTICO, S.; N. DI LEO; B. BONEL & J. DENOIA.** 2007. Gestión de la energía en el sector rural. UNR Editora, Rosario, Argentina. 212 pp.
- MONTICO, S.; B. BONEL; N. DILEO; J. DENOIA & G. GIUBILEO.** Incertidumbre sobre la producción de energía neta en cultivos de la región centro Argentina. *Revista UNLaR, en prensa*.
- ODUM, E.P.** 1975. *Ecology: The link between the Natural and Social Sciences*. Holt, Reinerhart and Winston, New York. 295 pp.
- SALVAGIOTTI, F.; J. CASTELLARIN; H. PEDROL & E. SATORRE.** 2003. El modelo de simulación CERES como herramienta en el diagnóstico de la fertilización nitrogenada en trigo. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* N° 17.
- SANTOS, H. P. dos; R.S. FONTANELI; J. C. IGNACZAK, J. C. & 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.