

EFICIENCIA Y BALANCE ENERGÉTICO DE BIODIESEL DE SOJA BAJO CONDICIONES DE RIEGO COMPLEMENTARIO EN LA CUENCA DEL ARROYO LUDUEÑA, SANTA FE

DENOIA, J.¹; DI LEO, N.¹; BONEL, B.¹ & MONTICO, S.¹

RESUMEN

El cultivo de soja constituye la principal materia prima para la elaboración de biodiesel en la Argentina. La irregularidad en la distribución de las lluvias en el tiempo otorgan a la producción de soja características de incertidumbre que podrían ser atenuadas por el suministro oportuno de agua de riego, aunque con la posibilidad de afectar a la gestión energética de los sistemas.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del empleo de riego complementario sobre el balance y la eficiencia energética en sistemas de producción de soja para biodiesel en la cuenca del arroyo Ludueña, al sur este de la provincia de Santa Fe. Se utilizó el modelo DSSAT para la obtención de rendimientos simulados. Se trabajó sobre tres series de suelos y dos condiciones de humedad inicial contrastantes para una serie climática de 25 años.

El empleo de riego complementario disminuyó la eficiencia energética de la etapa agrícola, afectando al proceso integrado. El rendimiento de soja bajo riego complementario fue mayor y más estable que el de soja de secano. La producción de soja para biocombustible en el tratamiento Py hd (serie Peyrano, condición inicial húmeda) fue la más eficiente energéticamente.

Palabras clave: biodiesel, soja, riego.

SUMMARY

Efficiency and energetic balance of soybean biodiesel under complementary irrigation in the Ludueña river basin, Santa Fe.

Soybean crops constitute the main raw material for the production of biodiesel in Argentina. The irregular distribution of rains throughout the year conveys uncertainty to the soybean production, which could be attenuated by opportune irrigation water; however, this practice might affect the energetic management of the systems.

1.- Cátedra Manejo de Tierras. Facultad de Ciencias Agrarias (UNR). C.C. 14. (ZAA2125) Zavalla, provincia de Santa Fe. Email: jdenoia@unr.edu.ar

2.- CONICET

Manuscrito recibido el 22 de octubre de 2012 y aceptado para su publicación el 13 de diciembre de 2012.

The goal of this study was to analyze the effect of the use of complementary irrigation on the balance and the energetic efficiency in soybean production systems for biodiesel located in the Ludueña river basin, in the Southeast of the Santa Fe province. Model DSSAT modeling was used for obtaining simulated yields. Three series of soils and two opposite conditions of initial humidity were evaluated for a climatic series of 25 years.

The use of complementary irrigation diminished the energetic efficiency of the agricultural stage, affecting the integrated process. The yield of soybean under complementary irrigation was greater and more stable than the one of dry land soybean. The production of soybean for biofuels in the Py treatment had was the most energetically efficient.

Key words: biodiesel, soybean, irrigation.

INTRODUCCIÓN

La producción de biodiesel en la Argentina está sustentada principalmente en el cultivo de soja (*Glycine max L. Merr.*) a partir de cuyos granos se obtiene el combustible. Los agrosistemas orientados a la producción de este cultivo integran la etapa primaria del proceso de obtención de biocombustibles a la que sigue la de transformación en combustible o industrial. Cada una de estas etapas puede ser analizada desde el punto de vista de la gestión energética, siempre con el objetivo de considerar el uso de la energía en el total de la cadena productiva.

Los agrosistemas mencionados requieren de insumos naturales (lluvias, radiación, temperatura y suelo) y de otros de origen antrópico (fertilizantes, pesticidas, combustibles) para la producción de biomasa. La interacción de éstos con la tecnología y el trabajo humano resulta en productos del sistema de producción que se vuelcan al sistema económico. En la agricultura de secano, la magnitud de la producción anual de granos y/o el uso de inputs para lograrla, está fuertemente condicionada por el aporte de agua que realizan las precipitaciones (FAO, 2010), y la variabilidad interanual de rendimientos también está afectada por la ocurrencia de períodos de sequía de diferente

magnitud e intensidad (Andriani, 2012), lo que otorga al sistema de producción cierto grado de inestabilidad, incertidumbre y vulnerabilidad en función de la irregular distribución de las lluvias en el espacio y en el tiempo (Ravic *et al.*, 2003). Es así que la etapa primaria de la cadena productiva de biodiesel puede resultar afectada y por lo tanto resentidos su balance energético y su eficiencia energética (Denoia *et al.*, 2010). Bajo estas condiciones, la aplicación estratégica de agua por medio de un sistema de riego podría incrementar y a la vez hacer más estable la producción de biomasa disminuyendo las condiciones sistémicas de inestabilidad, incertidumbre y vulnerabilidad planteadas con anterioridad.

Por otra parte, el riego es considerado un consumidor primario de energía en los sistemas de producción y su empleo puede generar cambios en la gestión de la misma según el método de riego adoptado (Jackson *et al.*, 2010). Según algunos autores (Singh *et al.*, 2002; Lal, 2004) entre un 23% y un 48% del total de energía directa empleada en sistemas de producción regantes es requerida para el proceso de extracción y aspersión en los sistemas de riego a excepción de aquellos que se valen del agua superficial y la distribuyen por gravedad. La energía requerida en el bombeo dependerá de la

demanda de agua del cultivo, del aporte de las lluvias en el período del cultivo, del nivel dinámico del pozo, del caudal de aplicación y de la eficiencia del sistema (Lal, 2004).

El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto sobre el balance de energía y la eficiencia energética del empleo de la técnica de riego complementario en diferentes sistemas de producción de soja y en el proceso integrado de obtención de biodiesel.

MATERIALES Y MÉTODO

El trabajo se desarrolló para la región de influencia de la localidad de Zavalla, Santa Fe. En la obtención de los datos de rendimiento del cultivo estudiado se empleó el Sistema de Soporte de Decisiones para la Transferencia de Agrotecnología (DSSAT, versión 4.0) (Hoogenboom *et al.*, 1999; Jones *et al.*, 2003) consistente en un paquete de software a través del cual se integran los efectos del suelo, el clima, el fenotipo de cultivos y las opciones de manejo de los mismos, permitiendo la realización de simulaciones del desempeño vegetal a partir de la caracterización de distintos ambientes y/o escenarios productivos. Mediante la combinación de bases de datos de cultivos, suelos y series climáticas en formatos estándar, es posible la modelización de distintas situaciones productivas y estrategias de manejo para numerosos cultivos en cualquier localización. El modelo DSSAT ha sido evaluado convenientemente en condiciones experimentales en la Región Pampeana (Travasso & Magrin, 2001, Guevara & Meira, 1995) lo que permitió su aplicación con objetivos diversos como por ejemplo el análisis de modificaciones en la producción de grano a partir de variaciones climáticas interanuales (Magrin *et al.*, 2005), o del cambio climático

(Magrin & Travasso, 2002). También se lo empleó para establecer pautas de manejo (Magrin & Travasso, 1994) o para hacer predicciones de rendimiento a escala regional (Magrin *et al.*, 1997).

Para este trabajo se seleccionó en el cultivo de soja, el grupo de maduración IV, en función de su amplia utilización en el área de la cuenca del arroyo Ludueña (Santa Fe) y se empleó el modelo DSSAT para establecer rendimientos potenciales para condiciones climáticas establecidas y en diferentes series de suelos y humedad antecedente. El modelo fue corrido considerando el riego complementario y el cultivo en seco.

Para la información climática que se ingresó al programa se empleó una serie de datos de 25 años (años 1975 a 1999 inclusive) correspondiente a localidad de Zavalla. Las variables climáticas incluidas en la serie fueron: radiación, heliofanía efectiva, temperatura diaria máxima, temperatura diaria mínima y lluvia. Todas las series estuvieron compuestas por registros diarios tomados en la estación agrometeorológica sita en el Campo Experimental José Villarino de la localidad de Zavalla, Santa Fe, Argentina (latitud 32° 02' 20,89"S; longitud 60° 56' 06,09"W).

Se trabajó con las series de suelo Peyrano, Zavalla y Roldán de amplia difusión en el área de influencia de la cuenca del arroyo Ludueña (INTA, 1983).

Además se incluyó en la simulación la demanda hídrica del cultivo necesaria para lograr el rendimiento potencial, bajo condiciones reales en el resto de las variables climáticas.

Se consideraron dos condiciones hídricas iniciales diferentes para cada serie de suelo: humedad inicial alta (70% de la capacidad de campo) y humedad inicial baja (45% de la capacidad de campo). Además se incluyó una simulación en la que el modelo calcula

Cuadro 1: Series de suelos estudiadas. Características texturales y capacidad de uso.

Serie de Suelo	Características	Paisaje Asociado	Capacidad de Uso
Serie Roldán	Argiudol vértico, franco limoso en superficie; franco arcillo limoso en profundidad	Lomas planas, suavemente onduladas y pronunciadas	I - 2
Serie Peyrano	Argiudol típico, franco limoso en superficie; arcillo limoso en profundidad.	Lomas planas de pendientes medias a suaves	I - 2
Serie Zavalla	Natracualf típico, franco limoso en superficie, alcalino-sódico arcilloso en profundidad	Medias lomas bajas y bajos planos de escasa pendiente, mal drenaje	VI ws

la lámina de agua a reponer como riego complementario, en función de la obtención del rendimiento potencial y de las condiciones climáticas de la serie de 25 años empleada.

De esta manera quedaron definidos tanto para soja bajo riego como para secano, seis tratamientos derivados de las tres series de suelos y las dos condiciones de humedad al inicio de cada cultivo y que se simbolizan de la siguiente manera:

T1: serie Peyrano. Alta humedad inicial (Py hd)

T2: serie Roldán. Alta humedad inicial (Rd hd)

T3: serie Zavalla. Alta humedad inicial (Za hd)

T4: serie Peyrano. Baja humedad inicial (Py sec)

T5: serie Roldán. Baja humedad inicial (Rd sec)

T6: serie Zavalla. Baja humedad inicial (Za sec)

El modelo de simulación generó una salida por cada año, en la que quedaron contempladas todas las condiciones del ensayo para cada tratamiento, por lo que cada uno de ellas constituyó una repetición.

Los resultados se procesaron estadísticamente mediante análisis de la variancia. Cuando se detectaron diferencias significativas a causa de algún tratamiento, se

utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, con un nivel de significación del 5 %. Para el análisis de la variancia de empleó el software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2010).

Respecto al sistema de riego, se consideró el empleo de un pivote central de 500 metros de longitud con una velocidad promedio de avance de 0,4 m. min⁻¹. El caudal de extracción supuesto fue de 120 m³ .h⁻¹ y el nivel dinámico de 40 metros. Se consideró el empleo de un motor a explosión de 120 HP. El consumo de gas oil se estableció en 0,88 litros por cada milímetro de agua aplicado por el sistema de riego (Bongiovanni *et al.*, 2011).

Como indicadores de la gestión energética en el sistema se emplearon el balance de energía (diferencia entre ingreso de energía al sistema y el egreso), la eficiencia energética (expresada como la relación entre el egreso y el ingreso de energía del sistema) y en el caso particular del riego, el rendimiento energético (producción de granos por cada Mj empleado en riego).

En este estudio se empleó el método de análisis de procesos (Meul *et al.*, 2007), considerando todos ingresos de energía (directa e indirecta) al sistema, caracterizados a través de flujos de materia física. La energía consumida en la labor del hombre y la apor-

tada por el sol, no fueron incluidas. Sólo se contempló la energía indirecta empleada en un paso previo al ingreso de los insumos al sistema. Por ejemplo en el caso de los herbicidas, se incluyó la energía de producción, empaque y transporte, pero no la empleada para fabricar los equipos que intervinieron en su manufactura.

Además, el riego fue considerado un imput de energía directa derivado del empleo de combustible para extraer el agua subsuperficial, para dar presión al sistema y así lograr la aspersión sobre el terreno y para permitir el giro del equipo. La energía indirecta que podría estar involucrada (la que se emplea en la construcción del equipamiento de riego y otros bienes y servicios usados en el sistema de producción) quedó excluida de este análisis.

En relación al análisis del cultivo de soja, el esquema de producción considerado en la simulación corresponde a la condición más habitual hallada en la cuenca del arroyo Ludueña (Bonel *et al.*, 2005; Denoia *et al.*, 2006; Montico *et al.*, 2006). Este planteo productivo involucra la utilización de insumos y la realización de labores culturales que totalizan en términos energéticos 6.865,25 MJ/ha (definidos como constantes en todos los tratamientos) y sobre el cual se agregan los input correspondientes a los diferentes niveles de riego incluidos en la simulación para definir la etapa agrícola de la cadena energética de producción de biodiesel. En el cálculo de la energía producida en el sistema (output) se consideró un contenido energético de 16,75 MJ.kg⁻¹ de grano de soja. (Santos, H.P. dos *et al.*, 2000), definiendo al contenido energético como la energía calórica del producto o sea el monto de energía desprendido en el proceso de combustión (Denoia *et al.*, 2008), Para la caracterización energética de la etapa industrial o de elaboración del producto biodiesel se adoptaron

los valores sugeridos por Donato y Huerga (2009): energía para transporte a la aceitera (EITAc) 1,43 MJ.kg⁻¹ BD; energía para extracción de aceite (EIEAc) 5,30 MJ.kg⁻¹ BD; energía para obtención de biodiesel (EIEBD) 5,68 MJ.kg⁻¹ BD, la proporción de conversión de kilogramos de poroto de soja a kilogramos de biodiesel se fijó en el 17%.

Para el cálculo del balance en la etapa industrial se consideró el poder calorífico del BD y de los subproductos, glicerina y cáscaras, siendo el valor de referencia total 52,53 MJ.kg⁻¹ BD (Donato & Huerga, 2009).

Por último se estableció un análisis comparativo del desempeño energético de la cadena de producción de biodiesel a partir de granos de soja, con y sin la adición complementaria de agua de riego.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de la aplicación del modelo de simulación DSSAT 4.0 se obtuvieron los rendimientos potenciales en grano del cultivo de soja bajo diferentes condiciones de humedad edáfica y para tres series de suelo aplicando riego complementario. El bajo coeficiente de variación del 6,41 se explica por la orientación del modelo aplicado a crear las condiciones necesarias para obtener rendimientos potenciales en todos los tratamientos suponiendo el aporte hídrico necesario.

Respecto a los parámetros que se relacionan al riego, para arribar a un rendimiento en granos similar en las diferentes condiciones impuestas en el trabajo, se requirieron inputs de energía estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$): el tratamiento Py hd fue el de menor empleo de energía diferenciándose de Rd sec y de Za sec. Por otra parte, el rendimiento energético (kg de grano de soja producido

Cuadro 2: Cultivo de soja. Parámetros de rendimiento y energéticos asociados al riego complementario.

Tratamiento	Lámina de riego (mm)	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	Input energía para riego (Mj.ha ⁻¹)	Rendimiento energético riego (kg.Mj ⁻¹)
1 Py hd	182,7 a	4657,4 a	7429 a	0,76 a
2 Rd hd	216,2 ab	4657,5 a	8691 ab	0,58 ab
3 Za hd	206,2 ab	4655 a	8289 ab	0,62 ab
4 Py sec	211,7 ab	4655,4 a	8514 ab	0,66 ab
5 Rd sec	235,9 b	4652,9 a	9485 b	0,53 b
6 Za sec	235,8 b	4652,7 a	9482 b	0,52 b

Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas Duncan ($p \leq 0,05$)

por cada unidad energética empleada para regar) de la aplicación de agua de forma complementaria fue menor a la unidad en todos los tratamientos, existiendo diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre Py hd (el tratamiento de mayor eficiencia) y Rd sec y Za sec. Ante similares producciones de granos, un incremento del 28,6% en el requerimiento hídrico complementario en Rd sec y Za sec explica su menor rendimiento energético (Cuadro 2).

Entre series de suelo (Py, Rd y Za) no se registraron diferencias con significancia estadística ($p \leq 0,05$) en lámina aplicada ni en rendimiento energético atribuibles a la condición hídrica. Entre los tratamientos Py hd y Py sec se registraron las mayores diferencias para una misma serie de suelo y bajo diferente condición de humedad (15% de incremento en la lámina de agua aplicada).

Considerando el empleo de energía en el cultivo de soja (input) y de acuerdo al esquema productivo considerado, el input derivado de la aplicación complementaria de agua es superior, en todos los casos, a la sumatoria de los gastos energéticos derivados del empleo de los demás insumos. Por otra parte, el input total de energía, al igual que el originado por el riego, es significativamente mayor en Rd sec y Za sec respecto a Py hd,

no existiendo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los demás tratamientos.

La asignación de tierras de mejor aptitud productiva podría vincularse a un menor requerimiento de agua complementaria y por lo tanto a un menor consumo energético en el tratamiento Py hd.

En todos los tratamientos, la energía producida en el cultivo de soja bajo riego superó a la ingresada al sistema. El balance fue negativo, sin que existieran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos (Cuadro 3). Por otra parte, siguiendo la tendencia de los demás parámetros energéticos, la eficiencia energética fue mayor en el tratamiento Py hd y la diferencia respecto a Rd sec y Za sec fue estadísticamente significativa ($p \leq 0,05$).

La producción de biodiesel a partir de grano de soja para los rendimientos simulados obtenidos en cada tratamiento se analiza desde la perspectiva energética en el Cuadro 4.

A partir de la producción de granos similar en todos los tratamientos, y con un proceso de industrialización basado en dicha producción, no existieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos, respecto a la eficiencia energética del proceso integrado de obtención de biodiesel.

Cuadro 3: Parámetros energéticos del cultivo de soja bajo riego en diferentes series de suelos y condiciones de humedad.

Tratamiento	Output de energía (EE) (MJ.ha ⁻¹)	Input total de energía (IE) (MJ.ha ⁻¹)	Balance de energía (MJ.ha ⁻¹)	Eficiencia energética cultivo EE/IE
1 Py hd	78011 a	14294 a	- 63717 a	5,4 a
2 Rd hd	78013 a	15556 ab	- 62457 a	5 ab
3 Za hd	77971 a	15154 ab	- 62817 a	5,1 ab
4 Py sec	77977 a	15379 ab	- 62598 a	5 ab
5 Rd sec	77936 a	16350 b	- 61586 a	4,8 a
6 Za sec	77933 a	16347 b	- 61586 a	4,8 a

Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas Duncan ($p \leq 0,05$)

Cuadro 4: Cultivo de soja bajo riego. Proceso de producción de biodiesel. Etapa industrial. Consumo de energía y eficiencia energética.

Tratamiento	IEi (1) (MJ.ha ⁻¹)	IEp (2) (MJ.ha ⁻¹)	EEp (3) (MJ.ha ⁻¹)	Ef Energ p (EEp/IEp)
1 Py hd	9825,7 a	24119,7 a	41353,5 a	1,7 a
2 Rd hd	9825,9 a	25381,9 a	41354,4 a	1,6 a
3 Za hd	9820,7 a	24974,7 a	41332,2 a	1,7 a
4 Py sec	9821,5 a	25200,5 a	41335,8 a	1,6 a
5 Rd sec	9816,2 a	26166,2 a	41313,6 a	1,6 a
6 Za sec	9815,8 a	26162,8 a	41311,8 a	1,6 a

(1) IEi: Input etapa industrial; (2) IEp: Input proceso integrado. Etapa agrícola + input etapa industrial; (3) EEp: Output del proceso producción de BD; (4) Ef Energ p: eficiencia energética del proceso integrado.

Cultivo de soja en condición de seco. Se analizó el desempeño energético del proceso de producción de biodiesel a partir de soja bajo condiciones de seco. En este caso se consideró el mismo esquema de producción (válido para el área de la cuenca del arroyo Ludueña) que para el cultivo bajo riego. Ante la ausencia del aporte complementario de agua y bajo las condiciones climáticas de la serie de años considerada, los rendimientos obtenidos a partir del modelo DSSAT resultaron menores y más variables (CV: 48,1) si se los compara con los tratamientos regados. A su vez, la producción de biomasa como grano fue significativamente mayor en el tratamiento Py hd respecto a

Rd sec y Za sec (Cuadro 5). Esta diferencia en la producción, condicionó al balance de energía a nivel de cultivo. Existieron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre Py hd y Rd sec y Za sec. La eficiencia energética de la denominada etapa agrícola fue alta en todos los tratamientos, superior a los valores obtenidos por Hueriga *et al.* (2009), donde la relación entre el egreso de energía (EE) y la energía incorporada al sistema (IE) se ubicó algo por encima de las 2 unidades. Diferencias similares se encontraron respecto al trabajo desarrollado en ambientes tropicales con soja en seco, y para un período de ocho años por Carvalho *et al.* (2011), donde la relación de eficiencia energética resultó

Cuadro 5: Soja de secano. Rendimiento, balance energético y eficiencia energética

Tratamiento	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	Balance de energía (Mj.ha ⁻¹)	Eficiencia Energética (EE/EI)
1 Py hd	3293,4 b	- 48300 a	8,03 b
2 Rd hd	2560,7 ab	- 36025 ab	6,25 ab
3 Za hd	2383,5 ab	- 36015 ab	6,25 ab
4 Py sec	2613,4 ab	- 36909 ab	6,38 ab
5 Rd sec	2050,6 a	- 27482 b	5,00 a
6 Za sec	1952,3 a	- 28270 b	5,13 a

Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas Duncan ($p \leq 0,05$).

Cuadro 6: Cultivo de soja de secano. Proceso de producción de biodiesel. Etapa industrial y proceso integrado. Consumo de energía y eficiencia energética

Tratamiento	Input etapa industrial (IEi) (1) (MJ.ha ⁻¹)	Input proceso integrado (IEp) (2) (MJ.ha ⁻¹)	Output de energía (EEp) (3) (MJ.ha ⁻¹)	Eficiencia energética (EEp/IEp)
1 Py hd	6948 b	13813 b	29411 b	2,04 b
2 Rd hd	5402 ab	12267 ab	22867 ab	1,78 ab
3 Za hd	5401 ab	12266 ab	22861 ab	1,76 ab
4 Py sec	5513 ab	12379 ab	23338 ab	1,76 ab
5 Rd sec	4326 a	11191 a	18312 a	1,53 a
6 Za sec	4425 a	11290 a	18732 a	1,54 a

Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas Duncan ($p \leq 0,05$). (1) IEi: Input etapa industrial. (2) IEp: Input proceso integrado. Etapa agrícola + input etapa industrial. (3) EEp: output energía del proceso producción de BD.

inferior a la unidad. Las diferencias entre tratamientos detectadas en las anteriores variables, se mantuvieron.

En cuanto al análisis integrado de la producción de grano de soja en secano (etapa agrícola) y de la obtención de biodiesel (etapa industrial), la eficiencia energética disminuyó en relación a la obtenida en el cultivo (Cuadro 6). En el tratamiento Py hd se midió la máxima eficiencia, existiendo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) respecto a Rd sec y Za sec. Los valores registrados en el proceso de elaboración de biodiesel a partir del grano de soja sin riego complementario resultaron similares a los obtenidos por Huerga *et al.*

(2009) en un trabajo relacionado a la región Pampeana Norte.

Por último, en todos los tratamientos empleados, la producción de biodiesel a partir de soja en secano resultó más eficiente energéticamente que en el caso en que se empleó riego complementario en el sistema productivo de soja.

CONCLUSIONES

La producción de soja con empleo de riego complementario en la serie de años

estudiada resultó menos eficiente energéticamente que cuando se produjo soja en seco, a pesar de haberse obtenido rendimientos simulados menores en éste último caso.

En las condiciones impuestas en este trabajo, el proceso integrado (agrícola + industrial) de obtención de biodiesel a partir de soja es menos eficiente energéticamente cuando se emplea riego complementario.

El rendimiento promedio de soja bajo riego complementario fue mayor y más estable en la serie de 25 años empleada al compararlo con la producción en seco.

El tratamiento correspondiente al suelo de mayor calidad (Serie Peyrano) y en la condición de alta disponibilidad hídrica inicial para el cultivo resultó el de mejor comportamiento para la producción eficiente de biodiesel, diferenciándose de los tratamientos que incluyen a las series Roldán y Zavalla con baja disponibilidad hídrica inicial.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRIANI, J. 2002. Estrés hídrico en soja. Revista IDIA XXI 2 (31) 48 - 51.

BONEL, B.A.; S. MONTICO; N. DI LEO; J.A. DENOIA & M.S. VILCHE. 2005. Análisis energético de las unidades de tierra en una Cuenca Rural. . Revista de la FAVE - Ciencias Agrarias. 4 (1-2) 37 - 47. ISSN 1666-7719.

BONEL, B.; M. COSTANZO; F. LOMBARDO & S. MONTICO. 2009. Análisis energético en la producción del cultivo de maíz (*Zea Mays*, L.) para biocombustible. Revista FAVE - Ciencias Agrarias 8 (1): 37-46.

BONGIOVANNI, R., N. BARBERIS & J.M. SIMONDI. 2011. Análisis económico del riego en Córdoba. En "Estudios sociales del riego en la agricultura argentina". Editor

Miranda Omar. 1ª e. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Ediciones INTA. 348p.

CARVALHO, E.; A. DE FARIA & D. DALLEMOLE. 2011. Flujos Energéticos y Económicos de la Producción de Soja en Mato Grosso (Brasil): ¿hacia una crisis anunciada? V Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente de REDIBEC y V Jornadas de la Asociación Argentina Uruguaya de Economía Ecológica. Santa Fe. Argentina. 15 p.

DENOIA, J.; M. VILCHE; S. MONTICO; B. BONEL & N. DI LEO. 2006. Análisis descriptivo de la evolución de los modelos tecnológicos difundidos en el distrito Zavalla (Santa Fe) desde una perspectiva energética. Revista Ciencia, Docencia y Tecnología N° 33, año XVII (ISSN 0327-5566) 211- 226.

DENOIA, J.; B. BONEL; N. DI LEO & S. MONTICO. 2008. Análisis de la gestión energética en sistemas de producción ganaderos. Revista FAVE, Sección Ciencias Agrarias. Volumen 7, N° 1.

DENOIA, J.; N. DI LEO; B. BONEL & S. MONTICO. 2010. Eficiencia y balance energético de biodiesel de soja en diferentes condiciones de degradación edáfica en el sur de Santa Fe. IV Jornada de Ciencia y Tecnología. Secretaría de Ciencia y Tecnología. UNR. Rosario, noviembre de 2010. 157-160.

DI RIENZO, J. A.; F. CASANOVES; M.G. BALZARINI; L. GONZALEZ; M. TABLADA & C.W. ROBLEDO. 2010. InfoStat. Release. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

DONATO, L & I. HUERGA. 2009. Balance energético de la producción de biodiesel a partir de soja en la República Argentina. Informe INTA N° Doc IIR-BC-INF-08-09, 20 p. Argentina.

FAO. 2010. Perspectivas de cosechas y situación alimentaria. SMIA. Sistema mundial de información y alerta sobre la agricultura

- y alimentación. N° 4. Disponible en la Word Wide web en <http://www.fao.org/docrep/013/al972s/al972s00.pdf>. Acceso diciembre 2011.
- GUEVARA, E. & S. MEIRA.** 1995. Application of CERES-Maize model in Argentina. Second International Symposium on Systems Approaches for Agricultural Development (SAAD2). Los Baños- IIRRI. Philippines.
- HOOGENBOOM, G.; P. W. WILKENS; P. K. THORNTON; J. W. JONES & L. A. HUNT.** 1999. Advances in the development and application of DSSAT. p. 201-202. In M. Donatelli *et al.*. (ed.) Proc. Int. Symp. Modelling Cropping Systems, Le´rida, Spain. 21-23 June 1999. Agroclimatology and Agronomic Modelling Division of the Eur. Soc. for Agron., Inst. Natl. de la Recherche Agron., Grignon, France.
- HUERGA, I.; J. A. HILBERT & L. DONATO.** 2009. Balances energéticos de la producción argentina de biodiesel con datos locales de la etapa industrial. Informa INTA N° Doc IIR-BC_INF 03-09. 7 p. Argentina.
- INTA.** 1983. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Arroyo Seco - San Nicolás de los Arroyos. 129 p.
- JACKSON T; S. KHAN & M. HAFEEZ.** 2010. A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level. *Agricultural Water Management* 97: 1477-1485.
- JONES, J. W.; G. HOOGENBOOM; C. H. PORTER; K. J. BOOTE; W. D. BATCHE-LOR; L. A. HUNT; P. W. WILKENS; U. SINGH; A. J. GIJSMAN & J. T. RITCHIE.** 2003. The DSSAT Cropping System Models. *European Journal of Agronomy*, 18: 235-265.
- LAL, R.** 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International* 30: 981-990.
- MAGRIN, G.; M. I. TRAVASSO; R. DÍAZ & R. RODRÍGUEZ.** 1997. Vulnerability of the Agricultural Systems of Argentina to Climate Change. *Climate Res.*, 9:31-36.
- MAGRIN, G. & M. TRAVASSO.** 1994. Evaluación de riesgos en sistemas agrícolas I) Fertilización nitrogenada en trigo. *RIA*. 6: 23-31.
- MAGRIN, G. & M. TRAVASSO.** 2002. An Integrated Climate Change Assessment from Argentina (Chapter 10) In: Effects of Climate Change and Variability on Agricultural Production Systems. Otto Doering III; J. C. Randolph; J. Southworth and R.A. Pfeifer (Eds). Kluwer Academic Publishers, Boston. 296pp.
- MAGRIN, G.; M. TRAVASSO & G. RODRÍGUEZ.** 2005. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change* 72:229-249.
- MEUL, M.; F. NEVENS; D. REHEUL & G. HOFMAN.** 2007. Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 199:135-144.
- MONTICO, S.; B. A. BONEL; N. C. DILEO; M. S. VILCHE & J. DENOIA.** 2006. Balance de Agua y Energía de los Cultivos en la Cuenca del Arroyo Ludueña, Argentina. *Revista Ciencia e Investigación Agraria*, 33 (3):225-236.
- RAVIC, N.; H. HOOGENBOOM & J. JONES.** 2003. Optimizing irrigation management for a spatially variable soybean field. *Agricultural Systems* 76:359-377
- 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.
- SINGH, H.; D. MISHRA & N. NAHAR.** 2002. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone, India. Part I. *Energy Conversion and Management* 43, 2275-2286.
- TRAVASSO, M. & G. MAGRIN.** 2001. Testing Crop Models at the Field level in Argentina. pp. 89-90. In: Proc. 2nd International Symposium "Modelling Cropping Systems". July 16-18. Florence, Italy.