

## EFICIENCIA Y BALANCE ENERGÉTICO DE BIODIESEL DE SOJA EN DIFERENTES CONDICIONES DE DEGRADACIÓN EDÁFICA EN EL SUR DE SANTA FE

DENOIA, J.<sup>1</sup>; DI LEO, N.<sup>1</sup>; BONEL, B.<sup>1</sup> & MONTICO, S.<sup>1</sup>

### RESUMEN

Los biocombustibles son considerados como una alternativa a la actual crisis energética mundial derivada de la disminución en las reservas de petróleo y de las crecientes dificultades para su extracción, entre otras causas.

La principal fuente de materia prima para la producción de biocombustibles en la Argentina es el cultivo de soja y el grado de deterioro de los suelos en los sistemas de producción agrícolas condicionaría la eficiencia del proceso productivo, afectando consecuentemente a la cadena productiva de biodiesel.

El objetivo de este trabajo fue determinar la incidencia de la condición de degradación del recurso suelo sobre la eficiencia y el balance energético del proceso productivo de biodiesel a partir de grano de soja en la región sudeste de la provincia de Santa Fe.

Se trabajó en la región de influencia de la localidad de Zavalla. La serie de suelos seleccionada fue Peyrano, de amplia difusión en la zona, afectándola por dos grados de erosión: leve (15% de pérdida del horizonte superficial) y severo (70% de pérdida del horizonte superficial) para representar la situación de degradación. Para 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). Posteriormente se construyó un balance energético para el cultivo integrando los datos de rendimiento con los inputs correspondientes al modelo tecnológico regional. Al incluir el gasto energético del transporte de granos se obtuvo el consumo de energía pre industrialización. Luego se caracterizó energéticamente la etapa industrial y por último se elaboró el balance energético de la producción de biodiesel al considerar su poder calorífico y el de sus subproductos.

El balance y la eficiencia energética fueron afectados principalmente por el régimen de lluvias y en menor medida por el grado de erosión hídrica.

*Palabras claves:* biodiesel, balance energético, soja, degradación de suelos.

---

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

Manuscrito recibido el 12 de octubre de 2011 y aceptado para su publicación el 2 de marzo de 2012.

## SUMMARY

### Efficiency and energetic balance of soybean biofuel in different soil resource degradation condition in south of Santa Fe.

Biofuels are considered as an alternative to the current global energy crisis generated from the decline in oil reserves and the increasing difficulties for its removal, among others causes.

In Argentina, soybean crop is the main source of raw material for biofuel production and the degree of soil degradation in the agricultural production systems could condition the efficiency of the productive process, consequently affecting the biodiesel production chain.

The objective of this work was to determine the incidence of soil resource degradation condition on efficiency and energetic balance of biodiesel productive process from soybean grain in southeast region of Santa Fe province. The study was performed over the influence area of Zavalla village. The selected soil serie was Peyrano, widely distributed in the area. This was affected by two degrees of erosion to represent the state of degradation: slight (loss of 15% from topsoil) and severe (loss of 70% from topsoil). To obtain yield data of soybean crop the Decisions Support System for Agrotechnology Transference (DSSAT, version 4.0) was used. Subsequently, an energetic balance of crop was done an energetic balance of crop by integrating yield data and the corresponding inputs of the regional technologic model. The pre-industrialization energy consumption was obtained by including the energetic waste due to grain transportation. Then, the industrial phase was characterized in terms of energy and finally, the energetic balance of the biodiesel production was elaborated by considering its calorific power and that of its subproducts.

Energetic efficiency and balance were mainly affected by rainfall and to a lesser extent by the degree of water erosion.

*Key words:* biofuels, energetic balance, soybean, soil degradation.

## INTRODUCCIÓN

La disminución de las reservas de combustibles fósiles, la reducción de las zonas de abastecimiento y la inestabilidad política en las que aún están en producción, el mayor desarrollo industrial que impulsa el aumento de las importaciones de energía y el crecimiento de la base de consumidores, sumados a la creciente contaminación ambiental, ha llevado a la comunidad científica a buscar posibles soluciones para superar esta seria problemática que ha instalado una crisis generalizada en el sector, surgiendo, entre otras, la necesidad de diversificar la matriz energética. En este contexto aparecen los biocombustibles a los que parte de la comu-

nidad ubica en un rol fundamental en el diseño de sistemas energéticamente sostenibles, aportando no solamente a la diversificación de estrategias energéticas sino también a la reducción de emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero, en la creación de nuevas fuentes de empleo en el sector rural y en el mejora-miento de la distribución de la rentabilidad. Es necesario señalar que otra parte de la comunidad científica considera que el reemplazo de los combustibles fósiles con los biocombustibles no representaría una solución de fondo debido al mayor uso de los recursos naturales que se plantea para poder satisfacer la demanda de materia prima (granos) empleados en la elaboración de bio-diesel o bioetanol.

Por otra parte, los sistemas agrícolas constituyen la fuente de provisión de materia prima para la elaboración de biocombustibles a gran escala. Estos sistemas, basados en un alto nivel de aporte de insumos fósiles, son relativamente productivos, pero su sostenibilidad puede ser cuestionada, debido principalmente a los severos problemas de degradación que los afectan, y que están vinculados a la erosión del suelo, la salinización y la contaminación del agua. Dentro del menú de cultivos agrícolas factibles de ser empleados en la elaboración de biocombustibles y particularmente de biodiesel, la soja es el que en mayor proporción se emplea en el área núcleo de la agricultura argentina. Al igual que el resto de los cultivos agrícolas, el de soja es afectado desde el punto de vista de la productividad con la aparición de limitantes originadas en la degradación del recurso suelo, existiendo la posibilidad de deteriorar la eficiencia del proceso productivo de biodiesel.

El objetivo de este trabajo fue determinar la incidencia de la condición de degradación del recurso suelo sobre la eficiencia y el balance energético del proceso productivo de biodiesel a partir de grano de soja en la región sudeste de la provincia de Santa Fe.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló para la región de influencia de la localidad de Zavalla, Santa Fe. Para 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 efec-

tos 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.

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 influencia de Zavalla.

Para la información climática que se ingresó al programa se empleó una serie de datos de 23 años correspondiente a localidad de Zavalla (Santa Fe). Las variables incluidas en la serie fueron: radiación, heliofanía efectiva, temperatura diaria máxima, temperatura diaria mínima y lluvia diaria.

Respecto a suelos, la serie considerada fue Peyrano de amplia difusión en el área de influencia de la localidad de Zavalla, la que ocupa las lomas planas, muy suavemente onduladas y marcadamente pronunciadas del sudeste de Santa Fe (INTA, 1983).

El grado de erosión hídrica fue la variable considerada para analizar el efecto de la degradación del recurso suelo sobre el potencial de producción de biodiesel por el cultivo de soja. La serie de suelo fue afectada por dos grados de erosión: leve (15% de pérdida del horizonte superficial) y severo (70% de pérdida del horizonte superficial), quedando conformadas tres situaciones al considerar la serie sin erosión. Los cambios ocurridos en el suelo a causa de la pérdida de parte del horizonte superficial son reflejados por el modelo al trabajar éste sobre una condición edáfica diferente respecto a la serie sin erosión.

Cuadro 1: Serie de suelos Peyrano. Características texturales y capacidad de uso.

Serie de Suelo	Características	Capacidad de Uso
Serie Peyrano	Argiudol típico, franco limoso en superficie; arcillo limoso en profundidad.	1 - 2

Cuadro 2: Rendimiento de soja en la serie de suelo Peyrano con distintos grados de erosión hídrica.

Serie de suelos	Grado de erosión	Rendimiento (kg/ha)
Peyrano	Sin Erosión	2953,4
	Leve	2906,6
	Severo	2788,2

Una vez obtenidas las salidas del modelo considerando las diferentes situaciones de degradación, los rendimientos simulados del cultivo de soja se incluyeron en un esquema representativo del modelo tecnológico promedio para el área de influencia de la localidad de Zavalla (Bonel *et al*, 2005). A partir de los inputs registrados en la situación descripta y del valor de rendimiento arrojado por el modelo DSSAT 4.0 se construyó un balance de energía para el cultivo de soja (en cada una de las alternativas de degradación propuestas), cuyo resultado se sumó al input derivado del transporte de la producción hasta el sitio de industrialización, obteniéndose el consumo de energía pre industrialización.

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.

Por último para el cálculo del balance 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 y Huerga, 2009).

## RESULTADOS

Los valores de rendimiento promedio para la serie climática considerada y para cada una de las situaciones de degradación por erosión hídrica se muestran en el Cuadro 2.

Los resultados obtenidos a partir del modelo empleado permiten observar que la erosión hídrica afectó los rendimientos en un 5,6% en la serie analizada, con la pérdida del 70% del horizonte superficial, a diferencia de lo hallado por Gvozdenovich y Papparotti (2011) en un suelo Argiudol ácuico (Serie Puiggari) donde la soja sufrió un descenso del 43% en su rendimiento cuando el suelo perdió un 43% de horizonte superficial. A su vez Xingwu *et al*, 2011 empleando modelos de simulación para determinar el efecto de la pérdida de suelos por erosión en suelos con epipedón mólico de China, determinaron una relación de 1% de disminución de rendimiento por cada centímetro de suelo erosionado, lo que representaría para la serie Pey-

rano con erosión severa (17,5 cm de pérdida) una restricción en la producción de 17,5% frente al 5,6% obtenido en este trabajo. Estos resultados obtenidos por otros investigadores indicarían una subestimación del modelo empleado respecto al efecto del proceso erosivo sobre la producción de soja y por lo tanto sobre el balance de energía propuesto. Para la situación de erosión leve, el modelo no arrojó diferencias significativas

en el rendimiento respecto a la situación sin erosión hídrica.

Por otra parte, al considerar la producción de granos para los diferentes grados de erosión a lo largo de toda la serie de años se puede observar un comportamiento similar para la variable rendimiento, independientemente del nivel de degradación del recurso suelo (Figura 1).

A continuación, en la Figura 2 se

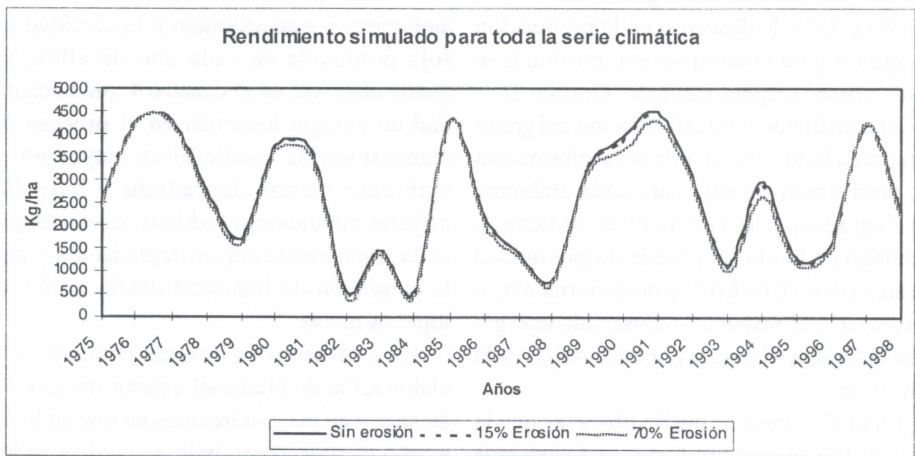


Gráfico 1: Rendimiento del cultivo de soja en la serie climática 1975 - 1998 en ambientes diferenciados según el grado de erosión hídrica.

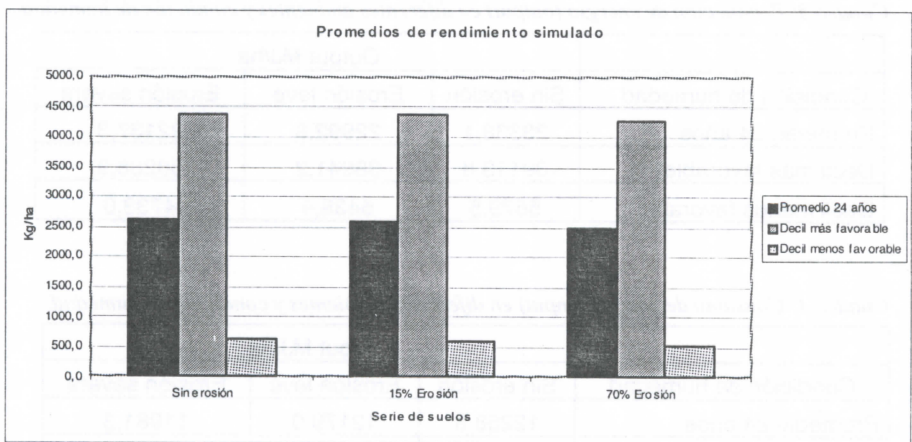


Figura 2: Rendimientos para años lluviosos (decil superior) y años secos (decil inferior) en diferentes condiciones de degradación.

representan los valores de rendimiento obtenidos a partir de la consideración de los años ubicados en los extremos superior e inferior y del promedio respecto al volumen de lluvias ocurridas (decil superior e inferior de la serie climática).

El rendimiento en el cultivo de soja, obtenido por el modelo empleado, disminuyó significativamente cuando se consideraron los años más secos de la serie climática. Este efecto ocurrió en todas las situaciones de erosión planteadas, con registros de 78,6%, 76,3% y 75% de descenso en la producción de granos para erosión severa, erosión leve y sin erosión respectivamente (Gráfico 2).

Al considerar la transformación del grano de soja en biodiesel, a partir de la información de producción de soja para cada ambiente de degradación (Gráfico 2) se obtiene la cantidad de biodiesel producido por unidad de superficie (Cuadro 3) y posteriormente, al asignársele el respectivo contenido energético se obtiene el output por hectárea en cada ambiente.

En el Cuadro 3 se puede observar que la cantidad de energía producida está vinculada

estrechamente al régimen de lluvias y en mucho menor medida al grado de erosión hídrica. La máxima producción energética se alcanza en la situación de menor degradación y con el mejor régimen de lluvias.

Por último, en el Cuadro 4 se observa el gasto energético (input) registrado en cada ambiente. Debido a que este valor incluye los costos energéticos relacionados a la producción de soja, a su transporte hasta el sitio de procesamiento y a su transformación en biodiesel, el mismo resulta variable entre ambientes y está asociado a la cantidad de soja producida en cada uno de ellos. Se puede observar en el Cuadro 4 que la cantidad de energía insumida en el proceso de elaboración de biodiesel es mayor en el ambiente menos degradado y bajo las mejores condiciones hídricas, mientras que en la situación de mayor degradación y con la condición de humedad desfavorable, el input es menor.

Para caracterizar energéticamente a la elaboración de biodiesel a partir del cultivo de soja y en las condiciones en que se llevó a cabo el presente trabajo, se analiza en los

*Cuadro 3: Producción de energía (output) en diferentes ambientes y condición de humedad.*

Condición de humedad	Output MJ/ha		
	Sin erosión	Erosión leve	Erosión severa
Promedio 24 años	23338,1	22992,8	22137,3
Decil más favorable	39113,8	38941,2	38208,9
Decil menos favorable	5679,5	5438,4	4733,0

*Cuadro 4: Consumo de energía (input) en diferentes ambientes y condición de humedad.*

Condición de humedad	Input MJ/ha		
	Sin erosión	Erosión leve	Erosión severa
Promedio 24 años	12258,8	12179,0	11981,3
Decil más favorable	15904,7	15864,8	15695,6
Decil menos favorable	8177,8	8122,1	7959,1

Cuadros 5 y 6 tanto el balance de energía del proceso como así también su grado de eficiencia.

En el Cuadro 5 se observa que para la condición de humedad promedio de toda la serie de años y para el decil más favorable, el balance energético fue positivo (el gasto energético fue menor a la producción de energía), siendo éste el caso en el que existe coincidencia con el trabajo de Huerga *et al*, 2009 en el que se toma como insumo al cultivo de soja producido en el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe y en el cual el balance energético de la producción de biodiesel resulta positivo al estudiar el proceso en cuatro empresas productoras.

En el caso del decil menos favorable, se obtuvieron en todas las situaciones de degradación planteadas, balances negativos, indicando un consumo energético involucrado en el proceso mayor a la energía contenida en el producto y una dependencia del proceso de las condiciones hídricas impuestas por el clima.

Por último, el análisis de la eficiencia energética del proceso indica que en las condiciones generadas en los años menos lluviosos de la serie analizada, la producción de biodiesel a partir de soja resulta ineficiente, siendo proporcionalmente mayor el gasto que la producción energética. En los años con mejor condición de humedad, el balance resulta positivo, coincidiendo estos resultados con los obtenidos por Huerga *et al*, 2009. La eficiencia decae también en el caso del suelo afectado por erosión severa, donde la energía insumida en el proceso de elaboración es casi el doble que la obtenida.

## CONCLUSIONES

En las condiciones planteadas en este trabajo, el balance de energía en el proceso de producción de biodiesel a partir de grano de soja fue negativo cuando se simulaban condiciones restrictivas respecto al régimen de lluvias.

*Cuadro 5. Balance de energía en el proceso de producción de biodiesel a partir de soja bajo diferentes condiciones de degradación del recurso suelo.*

Condición de humedad	Balance (MJ/ha)		
	Sin erosión	Erosión leve	Erosión severa
Promedio 24 años	11079,3	10813,8	10156,0
Decil más favorable	23209,1	23076,4	22513,4
Decil menos favorable	-2498,3	-2683,7	-3226,1

*Cuadro 6. Eficiencia energética del proceso de producción de biodiesel a partir de soja bajo diferentes condiciones de degradación del recurso suelo.*

Condición de humedad	Eficiencia energética (Output/input)		
	Sin erosión	Erosión leve	Erosión severa
Promedio 24 años	1,90	1,89	1,85
Decil más favorable	2,46	2,45	2,43
Decil menos favorable	0,69	0,67	0,59

La eficiencia energética también estuvo condicionada por el régimen de lluvias.

El grado de erosión hídrica afectó en menor medida tanto al balance como a la eficiencia energética del proceso, aunque siempre los menores valores se obtuvieron en la condición de máxima degradación (erosión severa).

## BIBLIOGRAFÍA

- BONEL, B.; MONTICO, S.; DILEO, N.; J. DENOIA & VILCHE, M. S.** 2005. Análisis energético de las unidades de tierra en una cuenca rural. *Revista FAVE*, 4 (1-2):37-47.
- DENOIA, J.; M. S. 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. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. Universidad Nacional de Entre Ríos. ISSN (Versión impresa): 0327-5566. Vol. XVII, número 033. Noviembre. Pp. 209-226.
- DONATO, L. D. & HUERGA, I. R.** 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.
- GVOZDENOVICH, J. & PAPANOTTI, O.** 2011. Variación del rendimiento del cultivo de soja debido a la erosión hídrica en Entre Ríos. INTA EEA Paraná. Entre Ríos.
- [http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/soja/evaluacion\\_manejo/20220\\_110524\\_vari.htm](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/soja/evaluacion_manejo/20220_110524_vari.htm) - Fecha de consulta: 11/08/11
- 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.
- 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.
- INTA.** 1983. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja Arroyo Seco - San Nicolás de los Arroyos. 129 p.
- JONES, J. W.; G. HOOGENBOOM; C. H. PORTER; K. J. BOOTE; W. D. BATCHELOR; L. A. HUNT; P. W. WILKENS; U. SINGH; A. J. GIJSMAN & J. T. RITCHIE.** 2003. The DSSAT Cropping System Models. *European Journal of Agronomy*, Volume 18, Issues 3-4-. Pages 235-265.
- XINGWU, D.; YUN X.; TINGHAI, O. & HONGMEI, L.** 2011. Effects of soil erosion on long-term soil productivity in the black soil region of northeastern China. *Catena*. Volume 87, Issue 2, Pages 268-275.