



## **A4-574 Sustentabilidad ecológica de secuencias de doble cultivo bajo dos manejos en La Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina**

Chamorro, Adriana M.<sup>(1)</sup>, Silvina I. Golik<sup>(2)</sup>, Rodolfo Bezus<sup>(1)</sup>, Andrea E. Pellegrini<sup>(3)</sup>.

<sup>(1)</sup> Curso Oleaginosas y Cultivos Regionales, <sup>(2)</sup> Curso Cerealicultura, <sup>(3)</sup> Curso Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.  
[chamorro@agro.unlp.edu.ar](mailto:chamorro@agro.unlp.edu.ar), [silvinagolik@yahoo.com.ar](mailto:silvinagolik@yahoo.com.ar), [bezus@agro.unlp.edu.ar](mailto:bezus@agro.unlp.edu.ar), [aepellegrini@hotmail.com](mailto:aepellegrini@hotmail.com)

### **Resumen**

El avance de la soja en su modalidad trigo/soja en el área de La Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina, hace necesaria la valoración de distintas alternativas de producción agrícola. En una primera aproximación, el objetivo de este trabajo fue evaluar en términos comparativos, la sustentabilidad ecológica de las secuencias avena/soja, cebada/soja, colza/soja y trigo/soja producidas bajo dos manejos: el “manejo promedio”, usado por la mayoría de los productores de la zona, y un “manejo de mayor uso de insumos”, también utilizado en la zona. La utilización de indicadores biofísicos permitió identificar a la secuencia cebada/soja como la de mayor sustentabilidad ecológica entre las cuatro secuencias evaluadas. También permitió observar cambios en la sustentabilidad ecológica al modificar el uso de insumos y detectar al balance de nutrientes como un aspecto importante a mejorar asociado a la eficiencia energética, siendo necesario buscar maneras poco intensivas en el uso de la energía para restituir los nutrientes.

**Palabras-clave:** eficiencia energética; eficiencia de uso del agua; impacto por uso de plaguicidas; balance de nutrientes; contribución a la materia orgánica del suelo.

**Abstract:** The advance of soybean in their wheat/soybean modality in the area of influence of La Plata, Buenos Aires, Argentina, requires the evaluation of alternative production. In a first approach, the aim of this study was to assess in comparative terms, the ecological sustainability of the oat/soybean, barley/soybean, rapeseed/soybean and wheat/soybean sequences produced under two managements: the “mean management”, used by the most of farmers in the area, and a “management increased use of inputs”, also used in the area. The use of biophysical indicators allowed us to identify barley/soybean sequence as the largest ecological sustainability among the four sequences evaluated. It also allowed us to observe changes in ecological sustainability due to alteration in the use of inputs. Nutrient balance was detected as an important factor to improve in association with energy efficiency, being necessary to seek some less intensive ways to use the energy to restore nutrients in these crops.

**Keywords:** energy efficiency; water use efficiency; pesticide use impact; nutrients balance; contribution to soil organic matter.

### **Introducción**

El sector agropecuario argentino ha experimentado significativos cambios en las últimas décadas, relacionados con la fuerte expansión del cultivo de la soja (*Glycine max* (L.) Merr) y su paquete tecnológico, que han dado en llamarse “sojización” y “pampeanización”, conduciendo un creciente deterioro ambiental, concentración económica, exclusión social y pérdida de soberanía alimentaria (Pengue, 2004). El área de influencia de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, principalmente el partido de Magdalena, provincia de Buenos Aires, Argentina, se caracteriza por ser de

producción mixta (agrícola-ganadera), por lo cual, la soja se ha difundido más lentamente, pero no queda exenta a esta problemática. Con el fin de evitar o minimizar los problemas ambientales y sociales asociados al monocultivo sojero se considera necesario generar información local que permita incluir a este cultivo de manera más racional en los esquemas productivos zonales. Una primera aproximación implica evaluar, comparativamente, distintas secuencias que incluyan la soja pero que permitan incrementar la diversidad de cultivos en los sistemas de producción.

Una forma generalizada de producir soja en la Argentina es como “soja de segunda”, es decir, sembrada inmediatamente después del cultivo antecesor sin mediar un período de barbecho. El cultivo antecesor en este planteo, tradicionalmente es el trigo (*Triticum aestivum* L.), pero existen otros cultivos que pueden cumplir la misma función, por ejemplo avena (*Avena sativa* L.) o cebada (*Hordeum distichum* L.), que también son cereales, o también la colza (*Brassica napus* L.) que es una oleaginosa. Un secuencia agrícola, en la zona de La Plata, puede completarse incluyendo también otros cultivos como girasol (*Helianthus annuus* L.), maíz (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L. (Moench)) y también trigo, lo que favorecería un incremento de la biodiversidad necesaria para reforzar las funciones del agroecosistema (Susó et al., 2013). Con este objetivo se iniciaron ensayos en la Estación Experimental Julio Hirschhorn (UNLP) evaluando secuencias de cultivos de 4 años. Como el comportamiento de los cultivos y sus efectos sobre los agroecosistemas, no sólo dependen del ambiente sino también de cómo se realicen, también se condujeron bajo dos tipos de manejo identificados en el área a través de entrevistas a productores y técnicos de la zona.

Basados en una definición de la agricultura sustentable como aquella que permite mantener en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades socioeconómicas y culturales de la población, dentro de los límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales (agroecosistemas) que lo soportan (Sarandón et al., 2006), en este trabajo se pretendió avanzar en la evaluación de la dimensión ecológica de la misma con los resultados disponibles hasta el momento, que son los dos primeros cultivos de las rotaciones planteadas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar en términos comparativos, a través de distintos indicadores biofísicos, la sustentabilidad ecológica de las secuencias avena/soja, cebada/soja, colza/soja y trigo/soja producidas bajo dos manejos en La Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina.

## Metodología

Los datos utilizados para la evaluación provinieron de dos ensayos a campo llevados a cabo en la Estación Experimental Julio Hirschhorn (34° 5' S, 57° 57' O) en las campañas 2011-12 y 2012-13. En los mismos se evaluaron las secuencias de cultivo: avena/soja, cebada/soja, colza/soja y trigo/soja. Las distintas secuencias fueron manejadas bajo dos modelos de producción existentes en el área, que se conocieron a través de entrevistas a productores y técnicos que se desempeñan en la zona. Un manejo es el utilizado por la mayor parte de los productores de la zona, identificado como “manejo promedio”, el otro es un “manejo de mayor uso de insumos”, que es implementado por un menor número de productores, que se caracteriza por, precisamente, aplicar habitualmente una mayor cantidad de insumos a sus cultivos, principalmente en forma de fertilizantes y fungicidas, y obtener, habitualmente, mayores rendimientos en las cosechas. Se utilizaron cinco indicadores para evaluar la sustentabilidad ecológica: dos relativos a la calidad del suelo (balance de nutrientes y contribución a la materia orgánica del suelo) por considerarse la base de la producción agrícola, uno relativo a la biodiversidad (impacto por uso de plaguicidas) y dos relativos a otros dos recursos importantes para los agroecosistemas, la energía (eficiencia energética)

y el agua (eficiencia de uso del agua). Se realizó el balance de nutrientes (BN) para N, P y S. Para la extracción de los nutrientes se consideró su concentración en los granos y los rendimientos alcanzados por cada cultivo. Los aportes a través de fertilizantes se calcularon según la dosis aplicada y el grado técnico de cada formulación. Se estimó el aporte de nitrógeno en soja por la fijación simbiótica. Para el cálculo del indicador se utilizó el porcentaje de restitución de nutrientes. Para calcular el índice “contribución a la materia orgánica (M.O.) del suelo” (CMOS) se consideró el valor de materia seca aportado por cada cultivo como rastrojo. Debido a que los cultivos incluidos en las secuencias tienen diferentes calidades de rastrojo, se afectó los respectivos volúmenes por el valor de la relación carbono:nitrógeno correspondiente a cada uno dividido por 100 considerándose, por lo tanto, como un indicador adimensional. Se le dio relevancia a una relación carbono:nitrógeno alta ya que, si bien produce una mayor lentitud en la degradación del rastrojo, también determina a largo plazo la producción de materia orgánica más estable. Para evaluar el riesgo asociado al uso de plaguicidas se utilizó el “coeficiente de impacto ambiental de plaguicidas” (CIAP), desarrollado por Kovach *et al.* (1992). Este índice es útil sólo en términos comparativos ya que en su construcción, las variables utilizadas por el método se convierten a factores que asumen valores de 1, 3 ó 5 y se introducen en una fórmula para generar el CIAP. Se compone además de tres componentes (el riesgo para el trabajador rural, el riesgo para el consumidor y el riesgo ambiental) y el método asigna el mismo peso a los tres. La eficiencia energética (EE) se calculó como la relación entre la salida de energía como rendimiento para cada secuencia y las entradas de energía necesaria para su producción. El ingreso de energía se calculó según la cantidad de labores e insumos usados, incluyendo la energía directa (combustible) y la energía indirecta asociada a la fabricación de los insumos utilizados. La salida de energía para cada producto se calculó relacionando su rendimiento con su contenido energético. La eficiencia de uso del agua (EUA) se calculó como la relación entre el rendimiento de cada cultivo en la secuencia y las precipitaciones ocurridas durante el barbecho y el ciclo de los mismos. Los datos fueron procesados por el análisis de la varianza usando la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ) para la separación de medias. Dado que el objetivo es comparativo entre las secuencias de doble cultivo bajo estudio, para cada indicador se establecieron cinco clases tomando como referencia el rango de valores obtenidos en el ensayo. En todos los casos se asignó el mayor valor a la situación más deseable, es decir, una mayor reposición de nutrientes, una mayor eficiencia energética, un menor impacto por uso de plaguicidas, una mayor eficiencia de uso del agua y una mayor contribución a la materia orgánica del suelo.

### Resultados y discusiones

En la Tabla 1 se presentan los valores obtenidos para cada indicador en las distintas secuencias y manejos. Se observaron mayores diferencias entre secuencias de cultivos que entre manejos. Los manejos responden a los implementados por los productores de la zona, y si bien permiten la obtención de márgenes económicos relativamente diferentes, el incremento en los insumos aplicados al igual que el de los rendimientos obtenidos fue relativamente bajo (datos no mostrados). Los valores de EE obtenidos resultaron realmente altos por la elevada producción alcanzada debido a las buenas condiciones climáticas de los dos años analizados. A pesar de esto, la EUA fue relativamente baja porque en 2013 se produjo una lluvia excepcional que no fue capitalizada a través de una mayor producción. El CIAP fue más alto que valores reportados previamente por Chamorro & Sarandón (2012) para las mismas secuencias producidas en Tres Arroyos (Buenos Aires, Argentina) y se asoció principalmente a un mayor uso de insecticidas en la soja. Los BN fueron negativos para los tres nutrientes considerados en todos los cultivos y manejos, con un rango de reposición de los mismos de entre el 40 y 60%. La CMOS fue elevada debida a los altos volúmenes de rastrojo que registraron un rango de 10000 a 15000 kg.ha<sup>-1</sup>.

La categorización de estos indicadores y su aplicación simultánea en la evaluación de la sustentabilidad ecológica se observa en la Figura 1. En ambos manejos la secuencia cebada/soja registró el mejor comportamiento distinguiéndose por presentar los mejores valores de CIAP, EE y EUA. Por su lado, la secuencia de menor sustentabilidad ecológica fue colza/soja, compuesta por dos oleaginosas, de menor productividad, lo que explicaría sus bajas EE y EUA, con menor aporte de rastrojos y de menor relación C:N, resultando en una menor CMOS, y en la que usó distintos herbicidas, de mayor impacto sobre todo en el manejo de mayor uso de insumos, incrementando el CIAP.

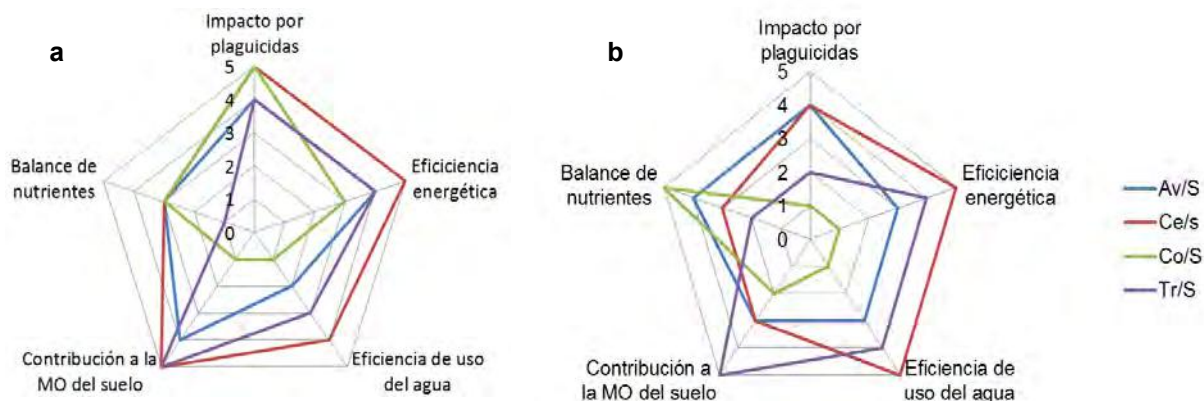
**TABLA 1.** Valores de los indicadores usados para la evaluación de sustentabilidad de cuatro secuencias de doble cultivo en La Plata, provincia de Buenos Aires (Argentina), producidas bajo dos manejos. Valor de P para el ANOVA de cada indicador.

	EE (MJ de salida.MJ de entrada <sup>-1</sup> )	EUA (kg.ha <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	CIAP (adimensional)	BN (%)	CMOS (adimensional)
Manejo promedio					
Avena/soja	12,7	8,61	84,78	51,2	8296
Cebada/soja	15,0	11,35	59,96	48,5	8582
Colza/soja	12,5	6,38	71,01	49,0	5739
Trigo/soja	13,2	9,65	84,78	43,7	9090
Manejo de mayor aplicación de insumos					
Avena/soja	11,5	9,08	85,37	55,1	7195
Cebada/soja	14,5	12,31	85,37	51,3	7615
Colza/soja	9,4	6,88	131,38	59,4	6909
Trigo/soja	13,6	10,80	104,32	44,6	9285
Secuencia	P=0,0000	P=0,0000	P=0,0000	P=0,0000	P=0,0000
Manejo	P=0,004	P=0,02	P=0,0000	P=0,0000	P=0,01
Sec x Man	P=0,009	n.s.	P=0,0000	P=0,002	n.s.

EE: eficiencia energética, EUA: eficiencia de uso del agua, CIAP: coeficiente de impacto ambiental de plaguicidas, BN: balance de nutrientes, CMAS: contribución a la materia orgánica del suelo.

Llamativamente, la tendencia de las distintas secuencias de cultivo fue de mejorar su sustentabilidad ecológica cuando se produjeron bajo el manejo de mayor aplicación de insumos, lo que se registró en distintos indicadores según la secuencia (Tabla 1, Figura 1), pero la EE, en casi todos los casos, se redujo y se incrementó el riesgo por el uso de plaguicidas. El balance de nutrientes pareció ser el aspecto más débil en todas las secuencias de cultivos analizadas. Se consideró al N fijado simbióticamente como parte de la reposición, pero la reposición de nutrientes vía fertilización fue casi nula en la soja, y en los cultivos de invierno varió entre 23 y 46% en el manejo promedio y entre 25 y 51% al aumentar la aplicación de insumos. En ambos manejos se plantea una situación de insustentabilidad asociada a la degradación del suelo como base de la producción. Fue muy claro el cambio operado en la secuencia colza/soja que, al recibir mayor fertilización, si bien mejoró el BN redujo fuertemente su EE, aspecto mencionado previamente por Iermanó & Sarandón (2009). Considerando que el N es el principal nutriente aportado como fertilizante y a la vez el de mayor costo energético, es importante buscar alternativas para mejorar los aportes a través de la fijación biológica en la soja, como también la posibilidad de incrementarla, por ejemplo, a través del uso de leguminosas como cultivos acompañantes en el cultivo de invierno. En el marco de una rotación más larga, la inclusión de cultivos de cobertura cumpliría una importante función, no sólo en el manejo de los nutrientes sino también por su aporte a la mejora de las propiedades físicas, microbianas y bioquímicas del suelo, su contribución en el manejo de las malezas a través de la supresión, y en el manejo de plagas brindando alimento alternativo a las mismas o refugio a sus enemigos naturales, su aporte en la mejora de la economía del agua y, en definitiva, una reducción de los

aportes de insumos a través del incremento de la biodiversidad como base para reforzar las distintas funciones ecológicas de los agroecosistemas (Ruffo y Parsons, 2004; Suso *et al.*, 2013)



**FIGURA 1.** Representación gráfica de cinco indicadores de sustentabilidad ecológica comparativa para cuatro secuencias de doble cultivo producidas bajo el manejo promedio (a) y bajo el manejo de mayor aplicación de insumos (b) en La Plata (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Av: avena, Ce: cebada, Co: colza, Tr: trigo, S: soja.

## Conclusiones

La utilización de indicadores biofísicos permitió identificar a la secuencia cebada/soja como la de mayor sustentabilidad ecológica entre las cuatro secuencias evaluadas. También permitió observar, comparativamente, los cambios operados en la sustentabilidad ecológica cuando se modifica el uso de insumos y detectar al balance de nutrientes como un aspecto importante a mejorar en asociación con la eficiencia energética, siendo necesario buscar maneras poco intensivas en el uso de la energía para restituir los nutrientes. Se plantea mejorar la fijación biológica del nitrógeno como principal nutriente responsable del costo energético de la fertilización.

## Referencias bibliográficas

- Chamorro AM & SJ Sarandón (2012) Cambios en el uso de la tierra por la actividad agrícola: la necesidad de su evaluación para disminuir su impacto ambiental. I Jornadas Nacionales de Ambiente Tandil, Buenos Aires, 31 de octubre al 2 de noviembre. Libro de Trabajos completos: 447-461.
- Iermanó MJ & SJ Sarandón (2009) ¿Es sustentable la producción de agrocombustibles a gran escala? El caso del biodiesel en Argentina. *Revista Brasileira de Agroecologia* 4(1):4-17.
- Kovach J, C Petzoldt, J Degni & J Tette (1992). A method to measure the environmental impact of pesticides. Disponible en: <http://www.nysipm.cornell.edu/publications/EIQ/>. Último acceso: julio de 2012.
- Pengue W (2004) Producción agroexportadora e (in)seguridad alimentaria: El caso de la soja en Argentina. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 1:46-55.
- Ruffo ML & AT Parsons (2004) Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur (INPOFOS)* 21:13-15.
- Sarandón SJ, MS Zuluaga, R Cieza, C Gómez, L Janjetic & E Negrete (2006) Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Agroecología* 1: 19-28.
- Suso MJ, R Bocci & V Chable (2013) La diversidad, una herramienta poderosa para el desarrollo de una agricultura de bajos-insumos. *Ecosistemas* 22:10-15.