

## Evaluación de la sustentabilidad de tres secuencias de doble cultivo en el partido de Tres Arroyos (Argentina) bajo diferentes condiciones de suelo y nivel tecnológico

### Sustainability evaluation of three double crop sequences in the Tres Arroyos Party (Argentina) under different soil conditions and technological levels

#### **Adriana M. Chamorro\***

Curso Oleaginosas y cultivos regionales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

#### **Santiago J. Sarandón**

CIC, Laboratorio de Investigación y reflexión en Agroecología (LIRA), Curso Agroecología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

#### **Revista de la Facultad de Agronomía**

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

**ISSN:** 1669-9513

**Periodicidad:** Semestral

Vol. 120, núm. 2, 2021

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

**Recepción:** 18/05/2020

**Aprobación:** 29/03/2021

**URL:** <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/23/232371001/index.html>

**DOI:** <https://doi.org/10.24215/16699513e074>

**\*Autor de correspondencia:** [chamorro@agro.unlp.edu.ar](mailto:chamorro@agro.unlp.edu.ar)



## Resumen

El partido de Tres Arroyos registra un proceso de agriculturización, intensificación y especialización productiva en el cual la secuencia trigo/soja es la protagonista principal. La cebada y la colza son alternativas al trigo que podrían diversificar la producción. En este marco, es importante evaluar el efecto del reemplazo del trigo por estos cultivos sobre la sustentabilidad de los agroecosistemas, antes de su difusión. Adicionalmente, el ambiente y el modelo tecnológico condicionan la sustentabilidad, por lo que el objetivo de este trabajo fue comparar la sustentabilidad ecológica de las secuencias trigo/soja, colza/soja y cebada/soja bajo diferentes condiciones ambientales y tecnológicas a través del uso de indicadores de sustentabilidad. Los resultados muestran a colza/soja como la secuencia de menor sustentabilidad ecológica, asociada al uso poco eficiente del agua y la energía, y al impacto por el uso de plaguicidas. El menor conocimiento de este cultivo por los productores, el alto contenido energético de sus semillas y la menor producción de biomasa de la colza serían algunas de las causas. Trigo/soja y cebada/soja vieron limitada su sustentabilidad, en la tecnología media, por la baja producción de biomasa (y sus efectos sobre el uso del agua y la energía), y en los planteos de tecnología altos, por un alto uso de herbicidas totales. La mayor aplicación de tecnología aumentó los rendimientos, pero redujo la sustentabilidad en todos los casos, mientras que, en general, la sustentabilidad fue mayor en el ambiente de suelos más profundos. Se considera importante evaluar otras formas de producción que intenten minimizar los problemas asociados a la baja producción de biomasa, la escasa eficiencia en el uso del agua y al impacto por el uso de plaguicidas, reconocidos como puntos críticos a la sustentabilidad e incorporar la evaluación de la dimensión económica y sociocultural en un plazo mayor de tiempo.

**Palabras clave:** cebada/soja, colza/soja, trigo/soja, indicadores, modelos productivos, manejo de agroecosistemas

## Abstract

The Tres Arroyos party registers a process of agriculturization, intensification and productive specialization in which the wheat / soybean sequence is the main protagonist. Barley and rapeseed are alternatives to wheat that could diversify production. In this framework, it is important to evaluate the effect of the replacement of wheat by these crops on the sustainability of agroecosystems before their diffusion. Additionally, the environment and the technological model condition sustainability, so the objective of this work was to compare the ecological sustainability of the wheat / soybean, rapeseed / soybean and barley / soybean sequences under different environmental and technological conditions. The results show rapeseed / soybean as the sequence with the least ecological sustainability, associated with the inefficient use of water and energy, and the impact of the use of pesticides. The lower knowledge of this crop by the producers, the high energy content of its seeds and the lower biomass production of rapeseed would be some of the causes. Wheat / soybean and barley / soybean saw their sustainability limited, in medium technology, by the low production of biomass (and its effects on the use of water and energy), and in high technology approaches, by a high use of total herbicides. Greater application of technology increased yields but reduced sustainability in all cases, while, in general, sustainability was higher in the deeper soils environment. It is considered important to evaluate other forms of production that try to minimize the problems associated with low biomass production, low efficiency in the use of water and the impact of the use of pesticides, recognized as critical points for sustainability, and incorporate the evaluation of the economic and sociocultural dimension in a longer period.

**Keywords:** barley/soybean, oilseed rape/soybean, wheat/soybean, indicators, production models, agroecosystems management

## INTRODUCCIÓN

El modelo actual de agricultura, caracterizado por su gran uniformidad biológica y el alto uso de insumos, ha generado cambios en el funcionamiento de los agroecosistemas que tienen consecuencias negativas tanto desde el punto de vista productivo como ambiental y social (MEA, 2005; Pengue, 2005). Por este motivo, ha sido fuertemente cuestionado (Altieri & Nicholls, 2000; Gliessman, 2002; MEA, 2005; Pengue, 2005, 2009, 2014) planteándose la necesidad de un cambio de paradigma que reduzca sus impactos negativos pero que mantenga la producción de los bienes y servicios necesarios para la humanidad. Esto se identifica con el concepto de desarrollo sustentable que, según la Comisión Brundtland, es *“aquel que permite la satisfacción de las necesidades de esta generación sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras”* (WCED, 1987). Más allá de los cuestionamientos que puedan hacerse a esta definición, es claro que plantea la necesidad de una agricultura sustentable, la cual, puede definirse como *“aquella que mantiene en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades alimenticias, 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). De esta definición se desprende la característica multidimensional de la sustentabilidad, la que determina la necesidad de que sea abordada de esa misma manera. La agroecología, como disciplina emergente, da respuesta a esta necesidad a través de su enfoque holístico y sistémico, de su mirada multidisciplinaria y de objetivos diferentes del enfoque productivista propio de la agricultura intensiva, más amplios y de más largo plazo (Sarandón & Flores, 2014).

Los diferentes modelos de uso de la tierra tienen efecto sobre cada una de las dimensiones de la sustentabilidad. Particularmente, la dimensión ecológica de la sustentabilidad se ha relacionado con aspectos como el balance de nutrientes y de carbono del suelo, el uso de la energía y del agua y el impacto por uso de plaguicidas, y diversos autores mostraron cómo el modelo de producción y uso de la tierra los modifican. Así, por ejemplo, la elección de los cultivos en una rotación resulta fundamental ya que las distintas especies tienen características que les imprimen diferentes comportamientos. Diferentes requerimientos de nutrientes y niveles de rendimiento determinan distintas extracciones y balances de nutrientes del suelo (Forján & Manso, 2012; Golik et al., 2014a; Voisin et al., 2018). Por otra parte, la cantidad y calidad de los rastrojos le darán distintos comportamientos con relación a la fijación de carbono en el suelo (Domínguez et al., 2006; Duval et al., 2015). Asimismo, sus niveles de rendimiento y la composición de sus granos determinarán diferentes egresos de energía del sistema en forma de productos de cosecha (Moreno et al., 2011; Zentner et al., 2011); y finalmente, sus niveles de producción de grano también definirán en gran medida la eficiencia con que el cultivo usa el agua proveniente de las precipitaciones para producir los granos (Micucci et al., 2003; Sadras & McDonald, 2012).

La implementación de la siembra directa también afecta el impacto ecológico de los cultivos ya que modifica el comportamiento de las adversidades bióticas (malezas, plagas y patógenos) como la estrategia para su manejo que, en el caso de las malezas, se apoya básicamente en el control químico. Por otro lado, la siembra directa modifica el ambiente en el cual se efectuará la degradación del rastrojo, reduciendo su tasa de mineralización (Álvarez & Steinbach, 2010), mejorando la fijación de carbono en el suelo y usualmente, requiriendo de un mayor uso de fertilizantes, modificando así los balances de nutrientes del suelo. Al mismo tiempo, la presencia del rastrojo en superficie y los cambios en la estructuración del suelo, usualmente mejoran el uso del agua por parte de los cultivos (Micucci & Álvarez, 2003; Peiretti & Dumanski, 2014).

La fertilización como práctica también modifica varios de estos aspectos relacionados con la sustentabilidad ecológica ya que, normalmente, mayores aportes de nutrientes resultan en mayor producción de biomasa y en mayores rendimientos, lo cual mejora el uso del agua (Micucci et al., 2003) y hace un mayor aporte de carbono al suelo (Álvarez & Steinbach, 2010), y también produce un mayor egreso de energía del sistema (Moreno et al., 2011, Hernanz et al., 2014). Pero, a la vez, la fertilización significa una mayor inversión de energía al sistema (Moreno et al., 2011, Hernanz et al., 2014) y cambios en los balances de nutrientes del suelo, no siempre positivos (Forján, 2003; Whitbread et al., 2003).

Por otro lado, las condiciones ambientales específicas del sitio de producción y su influencia sobre los rendimientos obtenidos, tienen incidencia, indirectamente, sobre el aporte de carbono al suelo, los niveles de extracción de nutrientes (Berardo, 2004; Forján & Manso, 2012), el egreso de energía del sistema (Moreno et al., 2011, Hernanz et al., 2014) y sobre el uso del agua por parte de los cultivos (Faraldo et al., 2011; Golik et al., 2014b).

De lo expuesto, surge la necesidad de mejorar nuestra capacidad de análisis sobre las consecuencias que la difusión de ciertos cultivos, su reemplazo por otros o el cambio en las formas de producción, puedan tener a nivel regional, no sólo en el corto sino en el mediano y largo plazo (Sarandón & Sarandón, 1993). Dado que los modelos de sistemas producción están en constante evolución según factores, generalmente económicos, y es altamente probable que se modifiquen tanto las relaciones de superficie entre los cultivos o secuencias de cultivos como la funcionalidad de los mismos, es necesario evaluar “a priori” la sustentabilidad de distintas opciones productivas a fin de poder promover o desalentar cultivos en ciertas áreas o bajo ciertos manejos.

Si bien, existen diferentes concepciones de la sustentabilidad agrícola, hay consenso sobre la necesidad de evaluarla, ya que sólo a través de un análisis objetivo de la misma y su cuantificación es posible avanzar hacia su logro (Viglizzo et al., 2003, 2006; Abbona et al., 2007; Flores, 2012).

El concepto de sustentabilidad es complejo ya que requiere del cumplimiento simultáneo de objetivos productivos, ecológicos, económicos, sociales, culturales y temporales. Esto implica la dificultad de su evaluación ya que debe realizarse de manera multidisciplinaria. Pero, al mismo tiempo, deben desarrollarse metodologías de evaluación que permitan simplificar esta complejidad para hacerla relativamente fácil de visualizar, ya sea para poder establecer comparaciones entre distintas opciones de uso de la tierra como entre distintas formas de producción con el objetivo de tomar decisiones.

Una opción para hacerlo es a través del uso de indicadores. Se entiende por indicador a una variable, seleccionada y cuantificada que permite ver una tendencia que de otra manera no es fácilmente detectable (Sarandón, 2002). Sin embargo, no existe un conjunto o sistema de indicadores listo para usar que se pueda aplicar en todas las situaciones, sino que la escala temporal y espacial, los objetivos de la evaluación, el tipo de establecimiento, la actividad productiva y las condiciones ecológicas, entre otros factores, condicionan el sistema de indicadores que es más adecuado, por lo tanto, deben construirse o adaptarse para cada situación particular.

En el Partido de Tres Arroyos (Buenos Aires, Argentina), los sistemas productivos han ido cambiando en las últimas décadas, sufriendo un proceso de agriculturización, de intensificación a través de la difusión de las “siembras de segunda” y de especialización en cultivos oleaginosos, particularmente soja (*Glycine max* (L.) Merr., Forján & Manso, 2013, 2016). Esta oleaginosa es la que más se ha difundido como cultivo de segunda, siendo el trigo (*Triticum aestivum* L.) el cultivo tradicionalmente usado como antecesor. Pero también existen otros cultivos que pueden usarse en reemplazo del trigo, entre ellos, la cebada (*Hordeum vulgare* L.) y la colza (*Brassica napus* L.).

El trigo, la cebada y la colza son cultivos diferentes que, además, tienen un “efecto antecesor” sobre la soja de segunda determinando, en principio, diferentes productividades. Estos cultivos difieren en sus planteos productivos, es decir, en la aplicación de insumos (fertilizantes, plaguicidas, combustible), tienen diferentes extracciones de nutrientes debido a sus respectivos rendimientos y las composiciones de sus granos, también hacen diferentes aportes de materia orgánica como rastrojo y de distinta calidad. Todo esto implica que los efectos de producir trigo/soja, cebada/soja o colza/soja, ya sea dentro o fuera del predio, no sean los mismos.

Paralelamente, el modelo de producción de los distintos cultivos también se modifica según el ambiente y según el perfil del productor, de acuerdo con su formación, sus ideas y su capacidad financiera, por lo cual cambian tanto los insumos utilizados como los rendimientos obtenidos.

Tratándose de actividades alternativas, y ante el hecho de que la cebada y la colza han empezado a ocupar áreas que antes se dedicaban al trigo, es importante conocer cómo esos cambios impactan sobre la sustentabilidad de los agroecosistemas en el Partido de Tres Arroyos. Se entiende que los altos requerimientos nutricionales de la colza, así como sus menores rendimientos en grano con respecto a los cereales y algunos aspectos derivados del manejo de las plagas y las malezas determinarían una menor sustentabilidad de la secuencia colza/soja que de las secuencias integradas por trigo o cebada. El modelo de producción también modificaría la sustentabilidad de las tres secuencias, principalmente reduciéndola en aquel de mayor uso de insumos y menor calidad de suelo. El objetivo de este trabajo fue comparar la sustentabilidad ecológica de las secuencias de doble cultivo trigo/soja, colza/soja y cebada/soja bajo diferentes condiciones ambientales y tecnológicas en el partido de Tres Arroyos, detectar sus puntos críticos y analizar posibilidades de superación de los mismos.

## METODOLOGÍA

A través de diversas fuentes de información (bibliográficas, estadísticas, entrevistas) se confeccionaron distintos modelos de producción de las tres secuencias de doble cultivo (cebada/soja, colza/soja y trigo/soja) en el partido de Tres Arroyos. Los modelos de producción analizados se corresponden a dos niveles de aplicación de tecnología en dos ambientes agroecológicos. Los ambientes son los de “suelos someros” y de “suelos profundos” correspondientes a las Zona IX y X, respectivamente, del Proyecto AgroRadar del INTA (Daitsch et al., 2011, Figura 1). La zona IX, que abarca la mayor superficie del partido, ve limitada la profundidad de sus suelos (*Argiudoles*) por la presencia de tosca, a profundidad variable entre los 0,60 y 1,00 m. La zona X, es la franja costera del partido y no posee esta limitación en sus suelos, lo que les otorga un mayor potencial productivo. Por otro lado, se distinguieron dos modalidades con respecto a la aplicación de tecnología que se identificaron como “nivel tecnológico medio” y “nivel tecnológico alto”. El nivel tecnológico medio corresponde a la modalidad de producción usada más frecuentemente, en general por productores que obtienen niveles de rendimientos cercanos al promedio para el ambiente agroecológico correspondiente. La modalidad de nivel tecnológico alto es más bien utilizada por productores que suelen obtener mayores rendimientos y se asocia a un mayor uso de insumos externos como fertilizantes y plaguicidas y a la implementación de la siembra directa en los dos cultivos de la secuencia. Esto último difiere en los productores del nivel tecnológico medio quienes sólo implantan la soja bajo esta modalidad, pero no el cultivo antecesor. Estas dos formas de producción se registran en los dos ambientes agroecológicos definidos, aunque con diferencias, por lo cual se registraron cuatro modelos productivos básicos coexistentes en el partido que serán analizados en este trabajo. El modelo tecnológico implica, tanto el modelo productivo en cuanto a maquinarias utilizadas, tipo de semilla empleada, tipo y dosis de agroquímicos aplicados, como niveles de producción alcanzados en los distintos cultivos componentes de las secuencias.

Para la evaluación de la sustentabilidad ecológica se siguió la metodología propuesta por Sarandón & Flores (2009). Se elaboró un sistema de indicadores que contempla, como Categorías de análisis, los distintos recursos ecológicos que deben ser protegidos en el proceso de producción. Para cada recurso se definieron descriptores y para cada uno de ellos uno a más indicadores, en algunos casos, con subindicadores. Éstos se ponderaron según distintos criterios de acuerdo con su importancia en la sustentabilidad

Se consideró que la condición de ser ecológicamente adecuado contemplaba la protección y conservación de los bienes naturales tanto intra como extraprediales. Por lo tanto, se analizó el impacto en los propios agroecosistemas, y los efectos en el entorno, a nivel local y global.

Los indicadores seleccionados corresponden a los clasificados como de presión ya que indican el efecto que ejercen las distintas prácticas de manejo sobre el funcionamiento del sistema o sobre el medioambiente.

Debido a que los indicadores se expresan en diferentes unidades, para poder establecer comparaciones fueron estandarizados. Para esto, de acuerdo con los valores obtenidos para cada uno en este trabajo, se establecieron cinco clases, en las que se asignó el valor más alto (4) a la situación considerada de mayor sustentabilidad, y el más bajo (0), a la de menor sustentabilidad. La definición de las clases se hizo considerando, para cada indicador, el mayor y el menor valor obtenido, dividiendo ese rango en partes iguales para obtener las cinco clases. Si bien los cálculos se hicieron en una escala del 0 al 4, para una más fácil visualización los resultados se expresaron en una escala del 0 al 100.

Finalmente, el Índice de sustentabilidad (IS) se calculó como sigue:

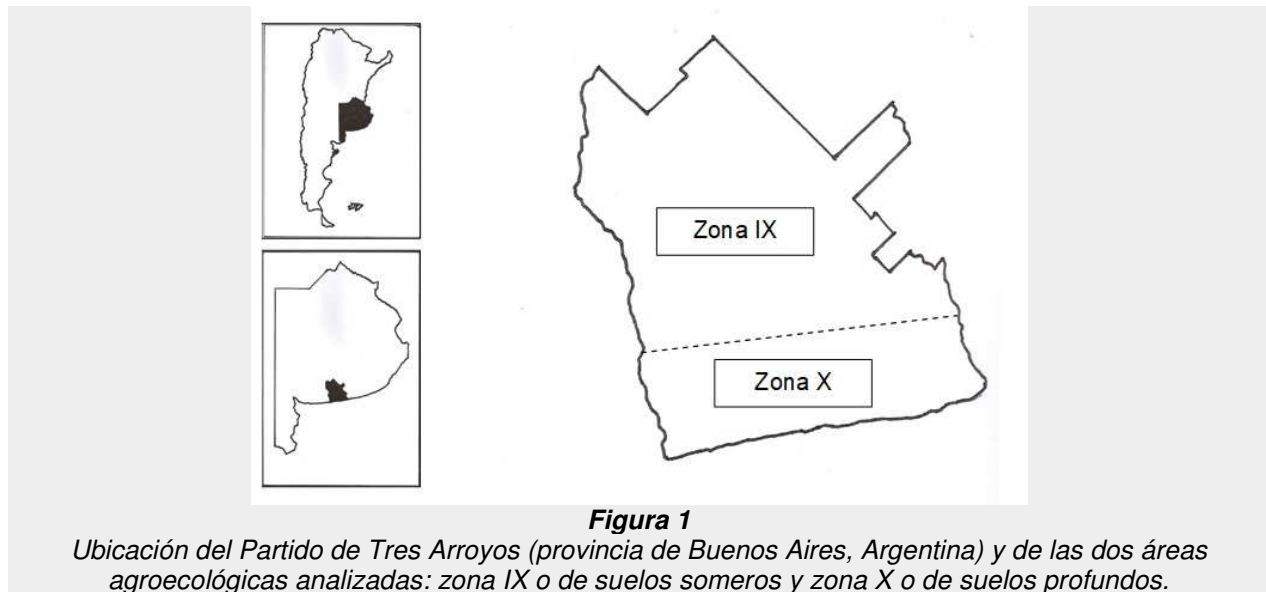
$$IS = \{(IIP * 2) + [(IEL * 2) + (IEG)] / 3\} / 3$$

Siendo:

IIP: impacto interno al predio

IEL: impacto externo local

IEG: impacto externo global



**Figura 1**

Ubicación del Partido de Tres Arroyos (provincia de Buenos Aires, Argentina) y de las dos áreas agroecológicas analizadas: zona IX o de suelos someros y zona X o de suelos profundos.

Estos impactos se calcularon con los siguientes descriptores:

$$IIP = \{[(PQS + PFS + PBS) / 3] + UP + UA\} / 3$$

Siendo:

PQS: propiedades químicas del suelo  
 PFS: propiedades físicas del suelo  
 PBS: propiedades biológicas del suelo  
 UP: uso de plaguicidas  
 UA: uso del agua

$$IEL = (IASp + IASb) / 2$$

Siendo:

IASp: impacto sobre aguas superficiales (debido a plaguicidas y fertilizantes)  
 IASb: impacto sobre aguas subterráneas (debido a plaguicidas y fertilizantes)

$$IEG = [(EGI + CC) / 2 + ECF] / 2$$

Siendo:

EGI: emisión de gases invernadero  
 CC: captura de carbono  
 ECF: energía proveniente de combustibles fósiles

## RESULTADOS

Los indicadores utilizados se presentan en la Tabla 1. El impacto interno al predio se evaluó mediante el efecto sobre los recursos *suelo*, *biodiversidad* y *agua*. Para el impacto externo al predio, se consideraron los recursos: *agua*, *atmósfera* y *energía*.

Se otorgó mayor peso al impacto interno al predio que al externo, y a lo local sobre lo global.

Los indicadores seleccionados permitieron evaluar la sustentabilidad ecológica de diferentes secuencias de cultivos producidas bajo distintos modelos de producción en el Partido de Tres Arroyos (Tabla 2).

**Tabla 1**

*Indicadores para la evaluación de la sustentabilidad ecológica de secuencias de doble cultivo en el Partido de Tres Arroyos (Argentina). Entre paréntesis se indican los factores de ponderación.*

Recurso	Descriptor	Indicadores	Subindicadores
<b>IMPACTO INTERNO AL PREDIO (2)</b>			
Suelo (1)	Prop. químicas (1)	Balance de nutrientes (1)	Balance de P (3) Balances de K, S, Ca y Mg (2) Balance de N (1)
	Prop. físicas (2)	Remoción del suelo (2) Cantidad y tipo de rastrojo (1)	
	Prop. biológicas (3)	Suministro de materia orgánica (1) Protección del hábitat de los microorganismos del suelo (1)	Tipo de labranza (1) Uso de plaguicidas (1)
Biodiversidad (1)	Uso de plaguicidas (1)	Impacto sobre la vida animal y microorganismos (1) Impacto sobre la diversidad vegetal (1)	
Agua (1)	Uso del agua (1)	Eficiencia de uso del agua (1)	
<b>IMPACTO EXTERNO AL PREDIO (1)</b>			
<b>IMPACTO LOCAL (2)</b>			
Agua (1)	Agua superficial (1)	Riesgo de contaminación por fertilizantes (1) Riesgo de contaminación por plaguicidas (1)	Bal. de nutrientes (1) Tipo de labranza (1)
	Agua subterránea (1)	Riesgo de contaminación con nitratos (1) Riesgo de contaminación por plaguicidas (1)	
<b>IMPACTO GLOBAL (1)</b>			
Atmósfera (1)	Emisión de gases invernadero (1)	Uso de combustible (1)	
	Captura de carbono (1)	Producción de biomasa aérea (1)	
Energía no renovable (1)	Energía proveniente de combustibles fósiles (1)	Eficiencia energética (1) Balance de energía (1)	

### **EL COMPORTAMIENTO DE LAS SECUENCIAS DE CULTIVOS**

La secuencia de menor sustentabilidad fue colza/soja, y la de mayor sustentabilidad, cebada/soja, en todos los modelos de producción. La secuencia trigo/soja fue más parecida a la secuencia cebada/soja que a colza/soja. Esta última tuvo, en los cuatro modelos de producción niveles muy bajos de sustentabilidad, incluso menores a 20 cuando se realizó con el nivel tecnológico alto. La sustentabilidad del sistema cebada/soja, varió entre 62 y 79, resultando globalmente el de mejor comportamiento.

La secuencia colza/soja en los cuatro modelos de producción registró los impactos más negativos a nivel intrapredial (tanto sobre el Suelo como sobre la Biodiversidad y el Agua), y también en su impacto externo al predio, el cual se registró sobre los cuatro recursos analizados, pero particularmente sobre la Energía no renovable (Figura 2).

**Tabla 2**

*Índices de sustentabilidad ecológica para tres secuencias de doble cultivo en distintos modelos de producción en el Partido de Tres Arroyos, Provincia de Buenos Aires (Argentina). Los indicadores se expresan en una escala de 0 (menor sustentabilidad) a 100 (mayor sustentabilidad) y sólo son útiles en términos comparativos.*

		Cebada/soja	Colza/soja	Trigo/soja
<b>Suelos someros</b>	<b>NT medio</b>	64	32	62
	<b>NT alto</b>	62	17	53
<b>Suelos profundos</b>	<b>NT medio</b>	79	31	75
	<b>NT alto</b>	73	25	69

### **EFEECTO DE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA (INSUMOS)**

La aplicación de un nivel tecnológico mayor tendió a afectar negativamente la sustentabilidad, aunque con diferente magnitud según la secuencia y el ambiente. El impacto fue mayor en la secuencia colza/soja, sobre todo en suelos someros (Tabla 2). Los principales problemas asociados al mayor nivel tecnológico se asociaron con el uso de plaguicidas, afectando la Biodiversidad entre los efectos intraprediales, y contaminando aguas entre los efectos externos al predio (Figura 2).

### **EFEECTO DE LA CALIDAD DEL SUELO**

La sustentabilidad de las secuencias cebada/soja y trigo/soja, fue mayor en el ambiente de suelos más profundos, pero en colza/soja esto sólo se verificó cuando se aplicó un nivel alto de tecnología (Tabla 2). La mayor producción de biomasa y rendimientos obtenidos en suelos más profundos mejoró tanto el impacto interno como el externo al predio en todos los recursos analizados (Figura 2). En el caso de la secuencia colza/soja, con el manejo promedio, si bien con la mayor profundidad del suelo se registró una mayor sustentabilidad externa al predio (efecto asociado a la mayor producción de biomasa), también se registró un impacto negativo sobre la Biodiversidad debida a una mayor aplicación de herbicidas que redujo la sustentabilidad intrapredial.

### **PUNTOS CRÍTICOS A LA SUSTENTABILIDAD**

Para la **secuencia colza/soja**, en particular, que fue la que registró los menores índices de sustentabilidad ecológica, se observó que el impacto sobre el Agua a nivel intrapredial (Eficiencia de uso del agua) y sobre la Energía no renovable a nivel externo al predio (tanto la Eficiencia energética como el Balance de energía) fueron críticos en todos los modelos de producción (Figura 2). Esto es atribuible a su baja producción de biomasa en todas las condiciones. Además, el Uso de plaguicidas, con su efecto sobre la Biodiversidad (a nivel intrapredial) y sobre el Agua (a nivel externo al predio, asociado a la contaminación) se constituyeron como limitantes en el nivel tecnológico alto (Figura 2).

En el modelo correspondiente al nivel tecnológico alto, independientemente de la calidad de suelo, el Uso de plaguicidas, por su impacto sobre la Biodiversidad fue el punto crítico a la sustentabilidad (Figura 2).

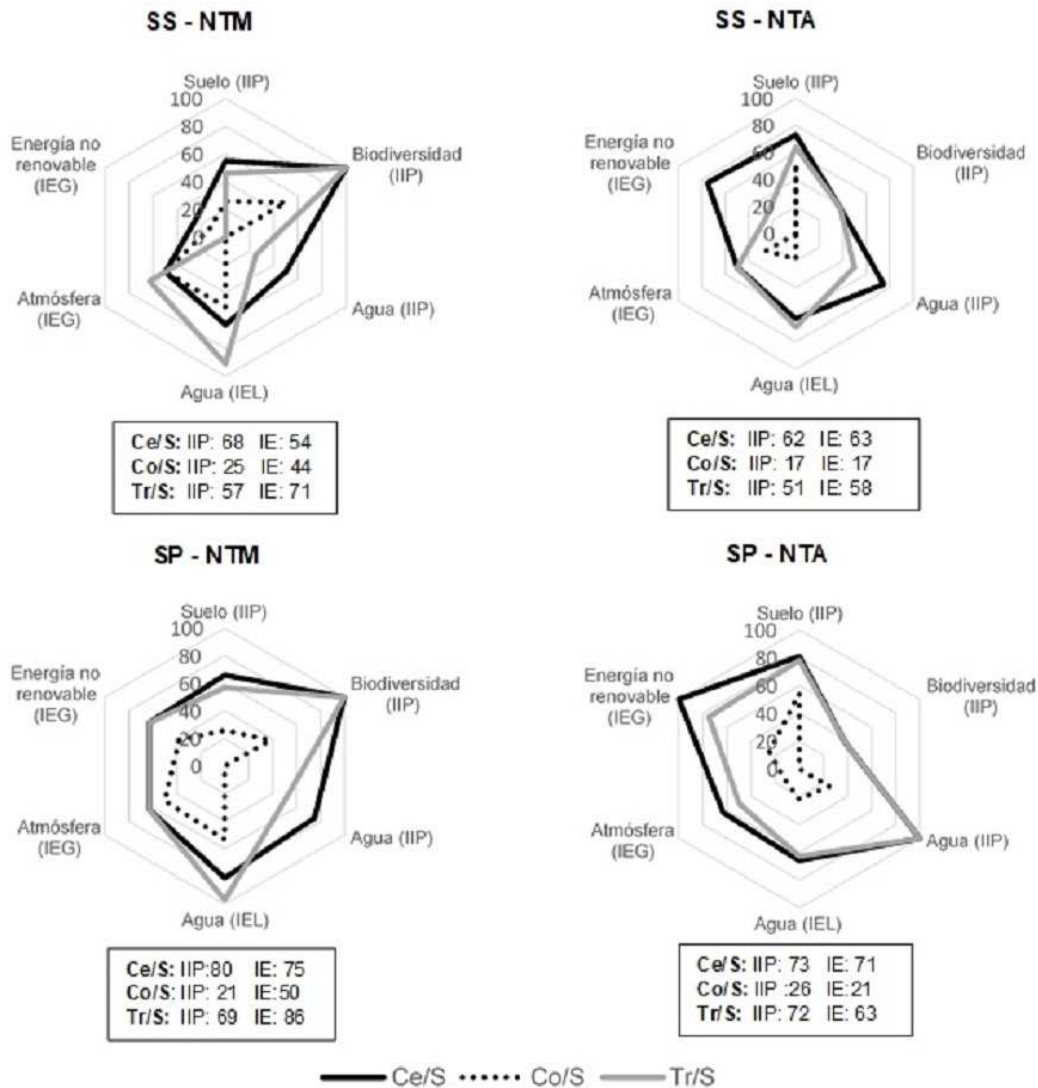
De los modelos de producción analizados, el más representado en el Partido es el del **nivel tecnológico medio producido en suelos someros**. Para las tres secuencias de doble cultivo los puntos críticos identificados bajo este modelo fueron la Eficiencia de uso del agua (de efecto intrapredial) y la Energía no renovable (de efecto externo al predio) (Figura 2), ambas condicionadas en gran medida por la producción de biomasa, que fue baja en este modelo productivo.

## **DISCUSIÓN**

Los indicadores seleccionados permitieron una adecuada y relativamente rápida valoración de la sustentabilidad ecológica y la identificación de los principales puntos críticos ante distintas alternativas de cultivos, de calidad de suelos y uso de tecnología en Tres Arroyos. Esto es importante y necesario ya que



puede orientar, tanto a los productores como a los distintos sectores pertenecientes o interesados en la actividad agrícola, en la toma de decisiones de manejo o de uso de los territorios que determinen un cambio en la sustentabilidad de los sistemas productivos a priori (de Olde et al., 2016a; 2016b).



**Figura 2**

Indicadores de sustentabilidad ecológica para tres secuencias de doble cultivo bajo cuatro modelos de producción, en el Partido de Tres Arroyos, Provincia de Buenos Aires (Argentina). Los indicadores se expresan en una escala de 0 (menor sustentabilidad) a 100 (mayor sustentabilidad) y sólo son útiles en términos comparativos.

Referencias: SS: suelos someros, SP: suelos profundos, NTM: nivel tecnológico medio, NTA: nivel tecnológico alto, Ce/S: secuencia cebada – soja de segunda, Co/S: secuencia colza – soja de segunda, Tr/S: secuencia trigo – soja de segunda. IIP: impacto interno al predio, IE: impacto externo (al predio), IEL: impacto externo a nivel local, IEG: impacto externo a nivel global.

Las diferentes opciones de uso de los territorios conducen indefectiblemente a grandes cambios en el tipo y cantidad de insumos, energía invertida, peligrosidad de los plaguicidas, con diferentes efectos sobre los bienes comunes agua, biodiversidad, suelo y energía que afectan el predio, la región y el nivel planetario. La elección, por lo tanto, de los modelos a seguir debe ser evaluada ex ante con algún sistema de análisis que permita comprender toda su complejidad. El sistema de indicadores ha sido señalado como una herramienta apropiada para esto (Abbona et al., 2007; Flores, 2012; de Olde et al., 2016a, 2016b) y en este trabajo también ha demostrado ser un valioso instrumento de análisis.

Una característica positiva del sistema de indicadores diseñado es que todos los indicadores elegidos son cuantificables o, al menos, están basados en información esencialmente objetiva y, por lo tanto, transparente (Sarandón & Flores, 2009; de Olde et al., 2016a, 2016b). En general, la evaluación es de bajo costo y relativamente rápida de llevar a cabo, con datos no muy difíciles de obtener, quizás los costos energéticos de los insumos y de los productos sean los más dificultosos. También permite el monitoreo en el tiempo y la comparación y elección de diferentes alternativas (por ejemplo, el uso de diferentes plaguicidas). Permite, además, comparar escenarios futuros, por ejemplo, cómo se afectaría la sustentabilidad si varía una práctica o un producto aplicado, etc.

Además, los indicadores utilizados permiten considerar aspectos de la sustentabilidad ecológica a nivel intrapredial y externo al predio. Toman en consideración los principales bienes comunes de los cuales depende la actividad agrícola (el suelo, el agua y la biodiversidad) y también la energía como principal recurso no renovable que contribuye al sostenimiento de los agroecosistemas. Esto constituye una importante contribución ya que, en general, los criterios que se han empleado para la elección de tecnologías o sistemas de producción han estado basados en la productividad y en el corto plazo lo que ha tenido consecuencias negativas para los aspectos ecológicos de la sustentabilidad (Flores & Sarandón, 2002; Zazo et al., 2011). La posibilidad de traducir aspectos complejos como la biodiversidad o el uso de energía en indicadores sencillos, mensurables y comparables es entonces un gran avance.

Si bien en este caso no se establecieron explícitamente umbrales de sustentabilidad ya que el objetivo planteado no fue determinar taxativamente si se cumplía con esta condición o no en términos absolutos, sino comparar las secuencias y sus modelos productivos y detectar los principales puntos críticos, se puede considerar que valores menores a 25 en alguno de los indicadores implicarían, al menos en términos comparativos, una muy baja sustentabilidad de la secuencia bajo el modelo analizado.

El sistema de indicadores empleado permite obtener un Índice de sustentabilidad general, que hace posible una comparación rápida. Sin embargo, es importante también analizar los distintos indicadores a fin de detectar cuáles son los puntos críticos a la sustentabilidad. Si bien el agregamiento de los puntajes facilita una comparación rápida entre sistemas, también permite la compensación entre los distintos aspectos de la sustentabilidad conduciendo a conclusiones muy simplificadas (Bockstaller et al., 1997; de Olde et al., 2016a). Esto se observó en la evaluación realizada, donde aún con índices de sustentabilidad mayores a 25, alguno de los recursos analizados tuvo valores menores, incluso de 0, como ocurrió en las secuencias colza/soja y trigo/soja en el modelo de suelos someros y nivel tecnológico medio demostrando la necesidad de analizar los distintos indicadores además del resultado global.

### **LA SUSTENTABILIDAD ECOLÓGICA DE LAS SECUENCIAS DE CULTIVOS EN LOS DISTINTOS MODELOS DE PRODUCCIÓN**

Tal como se señalará oportunamente, a partir de la evaluación realizada con el sistema de indicadores propuesto, es posible confirmar que los diferentes modelos de uso de los territorios, como los cambios en las secuencias de cultivos y/o las condiciones de suelos y la tecnología empleada tienen importantes efectos en la sustentabilidad ecológica afectando diferentes componentes y/o bienes comunes.

En este trabajo, se observaron diferentes grados de sustentabilidad de las secuencias y de los modelos de producción. Los resultados ratificaron, en términos generales, que la siembra de colza como antecesor de la soja resulta menos sustentable que la de cereales (cebada y trigo) en los cuatro modelos productivos. Los principales problemas de esta secuencia se relacionaron con su baja producción de biomasa y rendimiento, que afectaron el uso del agua, el aporte de materia orgánica al suelo y la eficiencia en el uso de la energía. Esto se asocia a varias causas. Una de ellas puede ser cultural: el menor tiempo de incorporación de la colza (y también de la soja) a las rotaciones de cultivos de la zona (en comparación con el trigo, cultivo tradicional del sur bonaerense), implica cierto desconocimiento del cultivo y, consecuentemente, la obtención de rendimientos relativamente bajos. Es sabida la importancia que los aspectos culturales tienen en el manejo y diseño de agroecosistemas sustentables (Toledo, 1992; Toledo

& Barrera-Bassols, 2008; Gargoloff et al., 2010). En general, se ha reconocido que existe en los agricultores una coevolución con el ambiente que, mediante prueba y error van adaptando sus sistemas para que sean ecológicamente adecuados. Si esto es así, se espera que estos sistemas mejoren su sustentabilidad en el futuro.

Una segunda causa, de carácter ecológico, se relaciona con la afirmación de que cuanto mayor sea la similitud estructural y funcional del agroecosistema con el ecosistema natural de su región biogeográfica (en este caso, una estepa gramínea denominada "flechillar") es mayor la probabilidad de lograr agroecosistemas sustentables (Gliessman, 2002). Si bien no puede compararse un lote de cultivo con un agroecosistema a nivel regional por sus diferentes escalas, sí puede afirmarse que el trigo y la cebada tienen una mayor similitud con el bioma del área que la colza y la soja, lo cual podría permitirles una mayor adaptación y posibilidades de lograr sistemas de producción más sustentables.

Por otro lado, los menores rendimientos de la colza en comparación con los cereales se deben a las características del producto cosechado. El alto contenido de aceite y proteínas de la colza permite cosechar un producto de mayor contenido energético ( $\text{MJ.kg}^{-1}$  de materia seca de producto), pero esto también contribuye a la obtención de menores rendimientos en materia seca y, en el balance, la energía finalmente cosechada ( $\text{MJ.ha}^{-1}$ ) es menor.

La producción de colza, además, se asoció con la utilización de más y diferentes plaguicidas que resultaron en un mayor impacto ecológico, tanto a nivel de predio, afectando la Biodiversidad, como a nivel externo al predio, con mayor riesgo de contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Sin embargo, es importante asumir que, no siempre las aplicaciones de plaguicidas se hacen sólo cuando es necesario; muchas veces se aplican siguiendo una receta o cuando se observa la plaga, aunque no alcance niveles de población importantes. Por lo tanto, un alto uso de plaguicidas no necesariamente se relaciona con una menor adaptación ecológica del cultivo sino, más bien, con aspectos culturales fuertemente enraizados y una limitada reflexión antes de decidir su aplicación.

Los resultados obtenidos ponen en evidencia un hecho ya mencionado reiteradamente: los cultivos tienen características propias, como la extracción de nutrientes, el volumen y la calidad de los rastrojos que dejan o cómo usan el agua, las cuales varían dentro de rangos limitados y diferentes para las distintas especies, pero el modelo de producción modifica enormemente su impacto sobre el ambiente (Zhen et al., 2005; Sarandón et al., 2006; Abbona et al., 2007; Flores, 2012; MacWilliam et al., 2016). Se ha afirmado insistentemente que cuando en la producción agrícola se persiguen objetivos prioritariamente económicos, usualmente se produce un deterioro del ambiente pareciendo que existe un divorcio entre ambas dimensiones (Flores & Sarandón, 2002; Zhen et al., 2005; Zazo et al., 2011). Sin embargo, también es cierto que existen formas de producción que permiten armonizarlos, aunque requieren de otros insumos, principalmente del conocimiento de los agroecosistemas (Tzilivakis et al., 2005; Lechenet et al., 2014; Giuliano et al., 2016; Piedra-Muñoz et al., 2016; Ponisio & Ehrlich, 2016).

En el análisis de los efectos que los cambios en el uso de la tierra tienen sobre aspectos ecológicos, la proyección en el tiempo de los modelos analizados puede ayudar a percibir ventajas y/o desventajas ocultas en un análisis en el corto plazo. Los resultados aquí presentados muestran que la secuencia colza/soja es menos sustentable que trigo/soja o cebada/soja en los dos ambientes y bajo los dos manejos examinados, al menos con los parámetros evaluados y considerando el efecto en el corto plazo. Sin embargo, después de este análisis y sin olvidar que, desde el punto de vista ecológico, la secuencia colza/soja presenta una serie de debilidades, es importante analizar algunas otras consecuencias de su adopción en los sistemas productivos del Partido. En Tres Arroyos, la producción se basa en el trigo y en la soja, tanto de primera como de segunda siembra. Entre los cultivos de invierno, el resto de las opciones son fundamentalmente cereales (aunque en los últimos años también se está promocionando la arveja, *Pisum sativum* L.). La posibilidad de incluir la colza en una rotación de cultivos bien planificada sustituyendo al trigo o a otros cultivos invernales permitiría un manejo más integral de las malezas y de las enfermedades (Iriarte & Valetti, 2006, 2008) y resultaría en un menor uso de plaguicidas y mayor producción de estos cultivos que podría, incluso, mejorar la sustentabilidad de los agroecosistemas. Desde el punto de vista económico, colza/soja es una secuencia que aporta un buen margen bruto a la empresa con costos iguales o menores a los de trigo/soja (Iriarte, 2016). Por otro lado, ya sea desde el punto de vista financiero como de la logística de la maquinaria y del manejo del personal, esta secuencia tiene un ciclo algo diferente respecto de las que incluyen cereales de invierno que permiten programar mejor las tareas y tener los ingresos y egresos de capital financiero más repartidos a lo largo del año (Iriarte & Valetti, 2006, 2008). A una escala aún mayor, la industria oleaginosa argentina se basa en la soja y en el girasol, ambas especies de ciclo estival, lo cual genera períodos del año en que la industria permanece ociosa. La colza, al tener

ciclo invernal cubriría ese bache de producción (Iriarte & Valetti, 2006, 2008; Iriarte & López, 2014). Para el país, incluso, sería de interés reducir su dependencia de un producto de exportación casi exclusivo como es la soja y diversificarse.

Como en toda situación, no debe pensarse en absolutos; la secuencia colza/soja debería convivir con trigo/soja y cebada/soja. Los motivos presentados previamente sugieren la conveniencia de sembrar colza como reemplazo parcial del trigo en la secuencia de doble cultivo con soja de segunda. Sin embargo, los índices de sustentabilidad muestran que, si bien puede hacerse, tanto en suelos someros como profundos (aunque con una menor sustentabilidad ecológica), no sería recomendable bajo un manejo de alta aplicación de tecnología, particularmente en los suelos someros. Por otro lado, el reemplazo del trigo por la cebada no alteraría prácticamente la sustentabilidad en ninguno de los dos tipos de suelo y sólo la mejoraría levemente bajo el manejo de alta tecnología. Sin embargo, podría ser importante para mejorar aspectos relativos a la logística de la maquinaria ya que se cosecha más temprano y diversificaría comercialmente la producción. Si bien en el corto plazo la secuencia colza/soja es menos sustentable que trigo/soja y cebada/soja, es, al mismo tiempo, la que más se diferencia en términos de requerimientos nutricionales y organismos asociados (plagas y otros). Es esta característica la que puede, en el largo plazo, brindar mayores posibilidades de tener un impacto positivo sobre la sustentabilidad del partido al hacer un aporte más significativo a la biodiversidad. La diversidad, ya sea a nivel de lote en el tiempo como a nivel de establecimiento o de región en el espacio por un mayor número de cultivos, favorece la provisión de servicios ecosistémicos en las diferentes escalas. La agricultura cada vez más es vista en su multifuncionalidad, que implica no sólo proveer bienes al ser humano y ganancias económicas a los productores sino también servicios ecosistémicos que es necesario proteger. Al respecto, Viglizzo et al. (2012) consideran que los servicios ecosistémicos probablemente vayan a estar en el centro de las futuras políticas de uso de la tierra. Plantean la importancia de su evaluación, ya sea a través de valores económicos como biofísicos, los que juntamente con indicadores sociales y económicos, serán necesarios a la hora de decidir el uso de los recursos.

### **POSIBILIDADES DE SUPERACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS A LA SUSTENTABILIDAD**

Para la **secuencia colza/soja**, es posible que los problemas derivados del uso de plaguicidas puedan ir mejorándose con un mayor conocimiento del sistema de cultivo. Pero las limitantes impuestas por una baja producción de biomasa que se registra aún con altos aportes de insumos parecen más difíciles resolver, al menos dentro de la secuencia de doble cultivo. Es claro que habría que modificar el manejo para tender a mejorar la producción de materia seca y los rendimientos sin impactar aún más sobre el ambiente. Pero, además, si las ventajas de incluir esta secuencia en los sistemas productivos de Tres Arroyos, ya sea económicas como sociales o para el manejo de otros cultivos (como los cereales de invierno), son realmente importantes, podrían justificar incluir esta secuencia con un comportamiento ecológico regular, en la medida que se haga en el marco de rotaciones más largas que contrarresten sus efectos negativos asociados a la baja producción de biomasa. Para esto, además, debería hacerse un análisis de la sustentabilidad en un plazo mayor e incluyendo las otras dimensiones de análisis.

En el **modelo de alta aplicación de tecnología**, el mayor impacto sobre la Biodiversidad se relaciona con el mayor uso de glifosato asociado a la siembra directa de los cultivos de invierno. Lamentablemente, esto no es un hecho aislado ya que a nivel nacional se estima que el 80% del volumen de herbicidas utilizados corresponde al glifosato, ya sea aplicado a los cultivos genéticamente resistentes (como soja, maíz y algodón) como en los barbechos químicos (CASAFE, 2013). El uso de plaguicidas, en general, es un aspecto de gran importancia que podría manejarse, al principio, sustituyendo los productos más perjudiciales por otros más benignos para el ambiente, pero sólo se lograrían mejoras sustanciales reduciendo su aplicación y favoreciendo los mecanismos internos de regulación de los propios agroecosistemas. En este punto, la menor adaptación ecológica de la colza y la soja respecto del trigo y la cebada podría limitar la posibilidad de aprovechar estos servicios ecológicos en su producción.

En el **modelo de nivel tecnológico medio producido en suelos someros**, el factor determinante de la baja sustentabilidad fue la baja producción de biomasa. La posibilidad de mejorarla se relacionaría principalmente con cambios en el manejo de los cultivos que podrían incluir un mayor aporte de insumos, pero también con realizar mejor las mismas prácticas que se están llevando a cabo. El efectuar los tratamientos con plaguicidas en el momento oportuno, por ejemplo, no requiere más insumos, pero tendría un efecto positivo sobre la producción, lo mismo que sembrar o aplicar los fertilizantes en el momento propicio, elegir el híbrido o la variedad más adecuada, es decir, mejorar la eficiencia con que son usados los recursos. Pero debe señalarse que si se pudiese lograr una mayor producción de biomasa a través de

un mejor manejo que no requiriera un mayor aporte de insumos, no sólo se obtendrían mejoras en los indicadores mencionados, al mismo tiempo, se incrementarían los requerimientos de nutrientes y los balances negativos que ya se registran, se acentuarían. Por lo tanto, podría mejorar la sustentabilidad globalmente, pero no necesariamente mejorarían todos los indicadores.

La baja producción de materia seca de estas secuencias sugiere que debería incluirse un plan de rotaciones más prolongado, que incorpore cultivos que aporten biomasa, fundamentalmente de alta relación C/N, que favoreciera la formación de materia orgánica estable en el suelo, como maíz o sorgo, y que mejoren también la productividad de las secuencias bajo análisis. Adicionalmente, esto contribuiría a mejorar la diversidad estival, actualmente muy reducida por la amplia difusión de la soja tanto de primera como de segunda siembra. Esta mayor diversidad, tanto en el tiempo como en el espacio, sin duda, tendrá efectos sobre la regulación de plagas y enfermedades, el ciclo de los nutrientes (incluido el carbono), el ciclo hidrológico, el control de la erosión, así como sobre aspectos relacionados con la dimensión socio cultural de la sustentabilidad.

Otra opción para aumentar la producción de biomasa sería un mayor aporte de insumos, fundamentalmente fertilizantes. Sin embargo, esto se asociaría con un mayor aporte de energía no renovable al sistema y no necesariamente equivaldría a un balance de nutrientes más equilibrado ya que podría incrementarse más la extracción (por la respuesta del rendimiento a la fertilización) que el ingreso de nutrientes, lo cual contribuiría negativamente a la sustentabilidad ecológica del sistema.

Sumado a lo anterior, es necesario considerar que existe un techo para la producción de biomasa (y rendimiento) en cada ambiente para cada especie o cultivo, independientemente de cómo se maneje, por lo que, una decisión primaria es la elección de las especies a cultivar en cada área agroecológica.

## CONCLUSIONES

La utilización de un sistema de indicadores permitió comparar la sustentabilidad ecológica de las secuencias cebada/soja, colza/soja y trigo/soja en dos áreas ecológicamente diferentes del Partido de Tres Arroyos bajo dos modelos tecnológicos.

La secuencia colza/soja resultó de menor sustentabilidad ecológica que las secuencias compuestas por un cereal de invierno en todos los modelos productivos, lo que se asoció a su baja producción de biomasa (que determinó regulares comportamientos respecto del uso del agua y la energía) y al impacto producido por el uso de plaguicidas sobre la biodiversidad.

La mayor aplicación de tecnología, aunque aumentó los rendimientos, tendió a reducir la sustentabilidad de las tres secuencias en los dos ambientes principalmente por el uso de plaguicidas y su efecto sobre la biodiversidad y el riesgo de contaminación de aguas.

En casi todos los casos, la sustentabilidad fue mayor en ambientes de mayor profundidad del suelo debido a la mayor producción de biomasa que mejoró el uso de los recursos.

Esta evaluación debería completarse analizando la dimensión económica y la sociocultural, y fundamentalmente en un plazo más largo de tiempo. Sería importante evaluar también otras formas de producción que intenten minimizar los problemas asociados a la baja producción de biomasa, la escasa eficiencia en el uso del agua y al impacto por el uso de plaguicidas, reconocidos como puntos críticos a la sustentabilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbona, E.A., S.J. Sarandón, M.E. Marasas & M. Astier.** 2007. Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina. *Agricultura, Ecosystems and Environment* 119: 335-345.
- Altieri, M.A. & C.I. Nicholls.** 2000. Los impactos ecológicos de la agricultura moderna y las posibilidades de una agricultura verdaderamente sustentable. En: *Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. M. Altieri & C.I. Nicholls. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. México. pp: 113-124.

- Álvarez, R. & H.S. Steinbach.** 2010. Efecto del uso agrícola sobre el nivel de material orgánica. En: Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana. R. Álvarez, G. Rubio, C.R. Álvarez & R. Lavado (Ed). Editorial de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. pp. 181-202.
- Berardo, A.** 2004. Manejo de la fertilización en una agricultura sustentable. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur (INPOFOS)* 23: 23-25.
- Bockstaller, C., P. Girardin & H.M.G. van del Werf.** 1997. Use of agro.ecological indicators for the evaluation of farming systems. *European Journal of Agronomy* 7: 261-270.
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes. (CASAFE).** 2013. Mercado argentino de productos fitosanitarios / Año 2011 vs 2012. Disponible en: <http://www.casafe.org/publicaciones/estadisticas/> Último acceso: marzo de 2016.
- Daitsch, N., Y. Bellini Saibene, P. Lucchetti, J. Caldera, L. Ramos, H. Lorda, R. Zinda, J. Cepeda & A. Pezzola.** 2011. CD interactivo SIG AgroRADAR 1999-2004. INTA Ediciones.
- de Olde, E.M., F.W. Oudshoorn, E.A.M. Bokkers, A. Stubsgaard, C.A.G. Sørensen & I.J.M. de Boer.** 2016a. Assessing the sustainability performance of organic farms in Denmark. *Sustainability* 8(9): 957. doi:10.3390/su8090957.
- de Olde, E.M., F.W. Oudshoorn, C.A.G. Sørensen, E.A.M. Bokkers & I.J.M. de Boer.** 2016b. Assessing sustainability at farm-level: Lessons learned from a comparison of tools in practice. *Ecological Indicators* 66: 391-404.
- Domínguez, G.F., G.A. Studdert & H.E. Echeverría.** 2006. Propiedades del suelo: efectos de las prácticas de manejo. En: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. H.E. Echeverría & F.O. García (Ed.) Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. pp: 207-229.
- Duval M., J.M. Martínez, J. Iglesias, J.A. Galantini & L. Wall.** 2015. Secuencia de cultivos y su efecto sobre las fracciones orgánicas del suelo. En: Impacto de los sistemas actuales de cultivo sobre las propiedades químicas del suelo: efectos sobre los balances de carbono. E. de Sá Pereira, G. Minoldo & J.A. Galantini (Ed). Ediciones INTA. Coronel Suárez, Buenos Aires. pp: 51-55.
- Faraldo, M.L., G.T. Vergara, G.A. Casagrande, J.P. Arnaiz, H. Mirasson & C. Ferrero.** 2011. Eficiencia en el uso del agua y radiación en maíz, girasol y soja, en la región oriental de La Pampa, Argentina. *Agronomía Tropical* 61: 47-57.
- Flores, C.C.** 2012. Evaluación de la sustentabilidad de un proceso de transición agroecológica en sistemas de producción hortícolas familiares del Partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. M Sc Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Argentina. 288 pp.
- Flores, C.C. & S.J. Sarandón.** 2002. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de agriculturización en la región pampeana argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía* 105: 52-67.
- Forján, H.** 2003. Balance de nutrientes en sistemas agrícolas. *AgroBarrow*, septiembre de 2003: 17-19.
- Forján, H. & L. Manso.** 2012. Los nutrientes. En: Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencias. H. Forján & L. Manso (Ed). Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Tres Arroyos, Argentina. pp: 35-39.
- Forján, H. & L. Manso.** 2013. Analizando la viabilidad de nuestros sistemas de producción. *AgroBarrow* 52: 20-23.
- Forján, H. & L. Manso.** 2016. La superficie sembrada con cultivos de verano en la región. Estimación de la campaña 2015/16. Chacra Experimental Integrada Barrow Convenio Ministerio Agroindustria (Buenos Aires) – INTA. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_-\\_cultivos\\_de\\_cosecha\\_gruesa\\_superficie\\_sembrada.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_cultivos_de_cosecha_gruesa_superficie_sembrada.pdf). Último acceso: septiembre de 2016.
- Gargoloff, N.A., E.A. Abbona & S.J. Sarandón.** 2010. Análisis de la Racionalidad Ecológica en agricultores hortícolas de La Plata, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología* 5(2): 288-302.
- Giuliano, S., M.R. Ryan, G. Véricel, G. Rametti, F. Perdrioux, E. Justes & L. Alletto.** 2016. Low-input cropping systems to reduce input dependency and environmental impacts in maize production: a multi-criteria assessment. *European Journal of Agronomy* 76: 160-175.
- Gliessman, S.R.** 2002. Agroecología. Procesos ecológicos y agricultura sostenible. CR. Catie, Turrialba. Costa Rica. 359 pp.
- Golik, S.I., A.M. Chamorro, R. Bezus, A.E. Pellegrini.** 2014a. Extracción y balance de nutrientes para distintas secuencias agrícolas en el noreste de la Provincia de Buenos Aires. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino* 34: 147-150.

- Golik, S.I., A.M. Chamorro, R. Bezus & A. Pellegrini.** 2014b. Variabilidad climática en el área de La Plata (Buenos Aires) y su efecto sobre el cultivo de maíz. Actas de la Reunión Binacional Uruguay-Argentina de Agrometeorología y XV Reunión Argentina de Agrometeorología. Piriápolis, Uruguay. pp: 51-52.
- Hernanz, J.L., V. Sánchez-Girón, L. Navarrete & M.J. Sánchez.** 2014. Long-term (1983-2012) assessment of three tillage systems on the energy use efficiency, crop production and seeding emergence in a rain fed cereal monoculture in semiarid conditions in central Spain. *Field Crops Research* 166: 26-37.
- Iriarte, L.B.** 2016. Cultivo de colza. Disponible en: [http://www.atodotrigo.com.ar/presentaciones/Liliana%20Iriarte%20-%20Cultivos%20de%20Colza\\_590398.pdf](http://www.atodotrigo.com.ar/presentaciones/Liliana%20Iriarte%20-%20Cultivos%20de%20Colza_590398.pdf). Último acceso: septiembre de 2016.
- Iriarte, L.B. & Z.B. López.** 2014. El cultivo de colza en Argentina. Situación actual y perspectivas. Actas del 1º Simpósio Latino Americano de Canola. Passo Fundo, RS, Brasil. 7pp. Disponible en: <http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/pdf/Iriarte%20%20-%20Desarrollo%20del%20cultivo%20de%20colza%20en%20Argentina....pdf>. Último acceso: diciembre de 2014.
- Iriarte, L.B. & O.E. Valetti.** 2006. El cultivo de colza en la Argentina. *Aceites & Grasas XVI* (4) N°65: 646-650.
- Iriarte, L.B. & O.E. Valetti.** 2008. Cultivo de colza. C.A. de Buenos Aires. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 152 pp.
- Lechenet, M., V. Bretagnolle, C. Bockstaller, F. Boissinot, M-S. Petit, S. Petit & M.N. Munier-Jolain.** 2014. Reconciling pesticide reduction with economic and environmental sustainability in arable farming. *PLoS ONE* 9(6): e97922.
- MacWilliam, S., D. Sanscartier, R. Lemke, M. Wismer & V. Baron.** 2016. Environmental benefits of canola production in 2010 compared to 1990: a life cycle perspective. *Agricultural Systems* 145: 106-115.
- Micucci, F. & C. Álvarez.** 2003. El agua en los cultivos extensivos III: Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua. *Archivo agronómico N° 8. Informaciones Agronómicas del Cono Sur (INPOFOS) N° 20.* 4 pp.
- Micucci, F.G., M.A. Taboada & R. Gil.** 2003. El agua en los sistemas extensivos. II. Consumo y eficiencia de uso del agua de los cultivos. *Archivo Agronómico N°7. Informaciones Agronómicas del Cono Sur (INPOFOS) N°17.* 4 pp.
- Millennium Ecosystem Assessment. MEA.** 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.* Island Press, Washington, DC. 155 pp. Disponible en: <http://www.unep.org/maweb/documents/document.356.aspx.pdf> . Último acceso: abril de 2016.
- Moreno, M.M., C. Lacasta, R. Meco & C. Moreno.** 2011. Rainfed crop energy balance of different farming systems and crop rotations in a semi-arid environment: Results of a long-term trial. *Soil and Tillage Research* 114: 18-27.
- Peiretti, R. & J. Dumanski.** 2014. The transformation of agriculture in Argentina through soil conservation. *International Soil and Water Conservation Research* 2: 14-20.
- Pengue, W.** 2005. Agricultura industrial y transnacionalización en América Latina. ¿La transgénesis de un continente? PNUMA. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. México. 221 pp.
- Pengue, W.** 2009. Cuestiones económico-ambientales de las transformaciones agrícolas en las Pampas. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía* 40: 137-161.
- Pengue, W.** 2014. Suelos, huellas de nutrientes y estabilidad ecosistémica. *Fronteras* 13: 1-18.
- Piedra-Muñoz, L., E. Galdeano-Gómez & J.C. Pérez-Mesa.** 2016. Is sustainability compatible with profitability? An empirical analysis on family farming activity. *Sustainability* 8(9): 893.
- Ponisio, L.C. & P.R. Ehrlich.** 2016. Diversification, yield and a new agricultural revolution: problems and prospects. *Sustainability* 8: 1118. doi:10.3390/su8111118
- Sadras, V. & G. McDonald.** 2012. Water use efficiency of grain crops in Australia: principles, benchmarks and management. Australian Government. Grains Research and Development Corporation. Disponible en: <https://grdc.com.au/uploads/documents/Water%20use%20efficiency%20of%20grain%20crops%20in%20Australia%20principles%20benchmarks%20and%20management%20GRDC.pdf>. Último acceso: junio de 2016.
- Sarandón, S.J.** 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En: *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable.* S.J. Sarandón (Ed.) Ediciones Científicas Americanas. La Plata. Argentina. pp: 323-414.

- Sarandón, S.J. & C.C. Flores.** 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Agroecología* 4: 19-28.
- Sarandón, S.J. & C.C. Flores.** 2014. La agroecología: el enfoque necesario para una agricultura sustentable. En: *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. S. Sarandón & C Flores (Ed.). Editorial de la Universidad de La Plata. Argentina. pp: 42-69. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280>. Último acceso: marzo de 2015.
- Sarandón, S.J. & R. Sarandón.** 1993. Un enfoque ecológico para una agricultura sustentable En: *Elementos de Política Ambiental*. Goin J. & C. Goñi (Ed.). H Cámara de Diputados de la Pcia. de Buenos Aires, Argentina. pp: 279-286.
- Sarandón, S.J., M.S. 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.
- Toledo, V.M.** 1992. La racionalidad ecológica de la producción campesina. En: *Ecología, campesinado e historia*. E. Sevilla Guzmán & M. Gonzáles de Molina (Ed.). Editorial La Piqueta. Madrid. España. pp: 197-218.
- Toledo, V.M. & N. Barrera-Bassols.** 2008. La memoria biocultural, la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Junta de Andalucía/Icaria editorial. Barcelona. 230 pp.
- Tzilivakis, J., K. Jaggard, K.A. Lewis, M. May & D.J. Warne.** 2005. Environmental impact and economic assessment for UK sugar beet production systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107: 341-358.
- Viglizzo, E.F., A.J. Pordomingo, M.G. Castro, & F.A. Lértora.** 2003. Environmental assessment of agriculture at a regional scale in the Pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 87: 169-195.
- Viglizzo, E.F., F. Frank, J. Bernardos, D.E. Buschiazzo & S. Cabo.** 2006. A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the Pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 117: 109-134.
- Viglizzo, E.F., J.M. Paruelo, P. Lateralra & E.G. Jobbágy.** 2012. Ecosystem service evaluation to support land-use policy. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 154: 78-84.
- Voisin, A., B. Novillo, A. Chamorro, R. Bezus, A. Pellegrini & S. Golik.** 2018. Análisis de diferentes secuencias de cultivos: aportes al sistema productivo. *Revista de Informaciones Agropecuarias (RIA)* 44(2): 105-112.
- Whitbread, A., G. Blair, Y. Konboon, R. Lefroy & K. Naklang.** 2003. Managing crop residues, fertilizers and leaf litters to improve soil C, nutrient balances, and the grain yield of rice and wheat cropping systems in Thailand and Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 100: 251-263.
- World Commission on Environment and Development. WCED.** 1987. Our common future. Disponible en: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>. Último acceso: septiembre de 2016.
- Zazo, F., C.C. Flores & S.J. Sarandón.** 2011. El "costo oculto" del deterioro del suelo durante el proceso de "sojización" en el Partido de Arrecifes, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecologia* 6: 3-20.
- Zentner, R.P., P. Basnyat, S.A. Brandt, A.G. Thomas, D. Ulrich, C.A. Campbell, C.N. Nagy, B. Frick, R. Lemke, S.S. Malhi & M.R. Fernández.** 2011. Effects of input management and crop diversity on non-renewable energy use efficiency of cropping systems in the Canadian Prairie. *European Journal of Agronomy* 34: 113-123.
- Zhen, L., J.K. Routray, M.A. Zoesbisch, G. Chen, G. Xie & S. Cheng.** 2005. Three dimensions for sustainability of farming practices in the North China Plain. A case study from Ningjin County of Shandong Province, PR China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105: 507-522.