

Recibido 08 de septiembre de 2016 // Aceptado 01 de marzo de 2018 // Publicado online 29 de agosto de 2018

# Análisis de diferentes secuencias de cultivos: aportes al sistema productivo

VOISIN, A.<sup>1</sup>; NOVILLO, B.<sup>1</sup>; CHAMORRO, A.<sup>3</sup>; BEZUS, R.<sup>4</sup>; PELLEGRINI, A.<sup>4</sup>; GOLIK, S.<sup>5</sup>

## RESUMEN

Los objetivos del trabajo fueron: i) evaluar la producción de biomasa y el rendimiento de distintas secuencias de cultivos de cuatro años de duración (S1: trigo/soja 2.º –maíz–soja–trigo; S2: cebada/soja 2.º–maíz–soja–trigo; S3: avena/soja 2.º –maíz–girasol–trigo y S4: colza/soja 2.º –maíz–sorgo–trigo) bajo dos manejos tecnológicos: nivel medio (NTM: manejo del productor promedio) y nivel alto (NTA: manejo del productor de punta), ii) evaluar la extracción de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y potasio (K) y el balance de N y P para cada secuencia completa. Los ensayos se llevaron a cabo en la Estación Experimental J. Hirschhorn (Los Hornos), dependiente de la Universidad Nacional de La Plata. El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones y en parcelas divididas. Se usó la prueba de Tukey para la comparación de medias ( $P < 0,05$ ). La biomasa total tendió a ser mayor en S2, que a su vez presentó el mayor rendimiento total en grano ( $32212 \text{ kg ha}^{-1}$ ). La fecha de cosecha del cultivo antecesor, como el volumen y calidad de su rastrojo modificaron la respuesta del cultivo sucesor. El mayor aporte de nutrientes en el NTA hizo que la biomasa total y los rendimientos fueran superiores, con una diferencia con respecto al NTM de  $4715$  y  $1865 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, aumentando así la extracción de nutrientes. Las mayores extracciones de N se dieron en S2 y S1, que además de sus elevados rendimientos, incluyeron a la soja con mayor frecuencia, y en S4 con el cultivo de colza. Las mayores extracciones de P y S se dieron en S4, seguida de S2, S1 y S3. Para el caso del K, las mayores extracciones se dieron en S2, seguida por S4, S1 y S3. Los balances de N y P resultaron negativos para todos los casos analizados. Los niveles de tecnología empleados en el presente trabajo, que son los que habitualmente realiza el productor de la zona, no alcanzan para satisfacer la capacidad extractiva de los cultivos y por ello resulta difícil esperar encontrar balances nulos en esta.

**Palabras clave:** balance de nutrientes, extracción de nutrientes, rendimientos, rotaciones, sustentabilidad.

## ABSTRACT

*The objectives of the study were: i) evaluate the production of biomass and yield of different crop sequences, four years in length (S1: wheat /2nd soybean -corn-soybean-wheat; S2: barley /2nd soybean -corn-soybean-wheat; S3: oat/2nd soybean -corn-sunflower-wheat and S4: canola/2nd soybean -corn-sorghum-wheat) under two technological manipulations: average level (NTM: used by the average farmer) and high level (NTA used by the tip farmer), ii) evaluate Nitrogen (N), phosphorus (P), sulfur (S) and potassium (K) extraction and N and P balance, for each complete sequence. The trials were conducted at the Experimental J. Hirschhorn (Los Hor-*

<sup>1</sup>CIC.

<sup>2</sup>CIC, Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

<sup>3</sup>Curso Oleaginosas y Cultivos Regionales.

<sup>4</sup>Curso Edafología.

<sup>5</sup>Curso Cerealicultura. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Calle 60 y 119, CC 31 La Plata, Argentina. Correo electrónico: axelvoisin@hotmail.com

nos) dependent of Universidad Nacional de La Plata. The experimental design was in random blocks with four replicates and in divided plots. The Tukey test was used for the comparison of means ( $P < 0.05$ ). Total biomass tended to generate higher volume in S2, which resulted in a higher total grain yield in that sequence (32212 kg ha<sup>-1</sup>). The harvest date of the predecessor crop, such as the volume and/or quality of the stubble left, modified the successor's response. The greater contribution of nutrients in the NTA caused total biomass and yields to be higher with a difference of 4715 and 1865 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, increasing the nutrient extraction. The highest extractions of N occurred in S2 and S1, which in addition to their high yields, included soybean with the highest frequency, and in S4 with rape crop and S3. The highest phosphorus and sulfur extractions occurred at S4 followed by S2, S1 and S3. For the case of potassium the largest extractions were given in S2, followed by S4, S1 and S3. The N and P balances were negative for all cases analyzed. The levels of technology used in this work, which are usually carried out by the farmer in the area, are not enough to satisfy the extractive capacity of the crops. Therefore it is difficult to expect to find zero balances in it.

**Keywords:** balance, nutrient extraction, rotations, yields, sustainability.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la agricultura argentina se ha tornado cada vez más especializada y homogénea, con grandes superficies bajo siembra directa continua y alta presión del cultivo más rentable: soja (Andriulo *et al.*, 2004; Altieri y Pengue, 2006). Este cultivo representa aproximadamente el 50% del área sembrada en el país, y aporta un volumen cercano al 50% de la producción agrícola, planteando la dificultad para la realización de secuencias de cultivos ("rotaciones") que permitan no solo considerar la rentabilidad en el corto plazo, sino también tener en cuenta plazos mayores, que consideren la sustentabilidad del sistema (Ventimiglia y Carta, 2005).

Las rotaciones de cultivos correctamente realizadas incrementan los rendimientos, adicionan materia orgánica al suelo y mejoran su fertilidad. Forjan y Manso (2010) sostienen que el aporte de residuos vegetales es uno de los factores más importantes que influyen sobre el balance de la materia orgánica del suelo. La alta relación C/N de los rastrojos de cereales de invierno y verano determina una descomposición lenta y favorece la formación de materia orgánica estabilizada del suelo. Mientras que el crecimiento de sus raíces contribuye a mejorar la estructura del suelo, generan grietas y canales que, al mejorar la porosidad superficial del suelo, incrementan la velocidad de infiltración del agua y el intercambio de gases, y facilitan el desarrollo de raíces de otros cultivos. Además de favorecer las condiciones físicas mejoran las propiedades químicas y biológicas (Casas, 2006; Forjan y Manso, 2010).

A lo anterior debe agregarse que si los cultivos se realizan bajo siembra directa, se logra un mayor control de la erosión, disminuye la formación de costras superficiales (Bragachini *et al.*, 2015), mejora la captación de agua de lluvia y se reducen las pérdidas por evapotranspiración, incrementándose las posibilidades de obtener mayores respuestas a la fertilización (Maddoni *et al.*, 2003).

Resulta fundamental establecer una adecuada programación de la fertilización, insertándola en forma eficaz en la rotación y adecuando las dosis a los niveles de extracción producidos. Para ello, el conocimiento de los balances de macronutrientes en los principales cultivos es una herramienta fundamental. También resulta necesario considerar el cultivo antecesor, ya que puede determinar cambios en la dinámica de cada nutriente, modificando las respuestas a la fertilización. La situación ideal, partiendo de un suelo saludable, es un balance cercano a cero. Si el balance fuese negativo, resultaría en la degradación del suelo por una disminución de la fertilidad química asociada a la menor dotación de nutrientes (Abbona y Sarandón, 2014).

El área de influencia de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) es amplia, abarca varios partidos de la provincia de Buenos Aires, principalmente el de Magdalena. Trabajos recientes indican que alrededor del 40% de los suelos de Magdalena son aptos o moderadamente aptos para el cultivo de soja (Etchegoyen, 2011). Esto hace necesario la generación de información local, con el fin de evitar o minimizar los problemas ambientales y sociales relacionados al monocultivo.

Los objetivos del trabajo fueron: evaluar la producción de biomasa y el rendimiento de las distintas secuencias de cultivos bajo dos manejos tecnológicos diferentes, y estimar la extracción de nutrientes y balance de N y P de cada secuencia completa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En la Estación Experimental J. Hirschhorn dependiente de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP), sobre un suelo Argiudol típico, similar a la mayoría de los suelos agrícolas de Magdalena, se iniciaron en el año 2011

ensayos a campo en los que se comparan a largo plazo distintas secuencias de cultivos agrícolas de cuatro años de duración cada una: S1: trigo/soja 2.º –maíz–soja–trigo; S2: cebada/soja 2.º –maíz–soja–trigo; S3: avena/soja 2.º –maíz–girasol–trigo; S4: colza/soja 2.º –maíz–sorgo–trigo. Se entiende como soja de segunda (2º) a aquella sembrada inmediatamente después del cultivo de invierno que le antecede, sin mediar barbecho; el caso contrario, arriba denominado simplemente “soja”, también se conoce como soja de primera. Estas secuencias se manejaron bajo dos formas de producción: un nivel tecnológico medio (NTM), considerado como el que realiza el productor promedio de la zona, y un nivel tecnológico alto (NTA), que es aquel que utilizan los productores que habitualmente obtienen mayores rendimientos en sus cosechas. Ambos manejos fueron conocidos a través de entrevistas a técnicos y productores locales.

El diseño experimental se realizó en bloques al azar con cuatro repeticiones y en parcelas divididas, correspondiendo la parcela principal a la secuencia de cultivos y la subparcela al manejo tecnológico. La superficie de cada

parcela principal fue de 22 m<sup>2</sup>. La producción de biomasa y el rendimiento en grano de cada cultivo se obtuvieron a partir del corte de las plantas a ras del suelo en una superficie de 0,6 m<sup>2</sup> para los cultivos de invierno, 1 m<sup>2</sup> en soja de primera y segunda, 7 m<sup>2</sup> para maíz, 7 m<sup>2</sup> en sorgo y 1,35 m<sup>2</sup> girasol, calculándose posteriormente la biomasa y rendimiento en grano totales para cada secuencia completa.

A partir de una búsqueda bibliográfica referida a la extracción de nutrientes en granos (Ciampitti y García, 2009), se calcularon las cantidades promedio de nutrientes (nitrógeno: N, fósforo: P, potasio: K y azufre: S) exportados por los cultivos en forma individual y por cada secuencia completa, a partir de sus rendimientos. Las entradas de nutrientes son las correspondientes a los fertilizantes y a la fijación biológica de N en la soja. Se calculó el balance de N y P a partir de las dosis de fertilizantes empleados para cada secuencia completa (cuatro años), con el propósito de establecer el nivel de reposición que se alcanzó en cada secuencia. Para la soja se consideró una fijación biológica de N estimada en 40% (González, 2002).

Cultivos	Cereales de invierno	Colza	Soja de segunda	Maíz	Soja de primera	Girasol	Sorgo	Trigo
<b>Fecha de siembra</b>	8/7/2011	24/5/2011	*(1)	26/10/2012	19/11/2013	4/11/2014	13/11/2013	5/7/2014
<b>Densidad</b>	300 pl/m <sup>2</sup>	100 pl/m <sup>2</sup>	50 pl/m <sup>2</sup>	8 pl/m <sup>2</sup>	40 pl/m <sup>2</sup>	5,7 pl/m <sup>2</sup>	14 semillas/m lineal	300 pl/m <sup>2</sup>
<b>Material genético</b>	- Trigo Buck Meteor - Cebada Scarlett - Avena Bonaerense INTA Calén	Híbrido Hyola 571	*(2)	DM 2741 MG RR2	NTM: DM 5.1 NTA: DM 4210	Paraíso 22	Híbrido AD64	Buck Meteor
<b>Tratamientos fitosanitarios</b>	Herbicida Misil II 0,1 l/ha  (p.a: Dicamba, Metsulfuron M)	Herbicida Misil II 0,1 l/ha (p.a: Dicamba, Metsulfuron M)	- Glifosato  - Cipermetrina 100 cm <sup>3</sup> /ha + endosulfan 0,7l/ha  - Cipermetrina 100 cm <sup>3</sup> /ha + dimetoato 1,6l/ha	Glifosato 1,5 l/ha en presiembra	- Barbecho: Glifosato 2 l/ha + 2,4 D 0,5 l/ha  - Glifosato 2,5l/ha  - Endosulfan 0,7l/ha + Lambdacialotrina 150 cm <sup>3</sup> /ha	- Barbecho: Glifosato 2 l/ha + 2,4 D 0,5 l/ha  - Fluorocloridona 1 l/ha + Glifosato 2 l/ha	- Barbecho: Glifosato 2l/ha + 2,4 D 0,5 l/ha  - Pre-siembra: glifosato 2 l/ha  - Pre-emergencia:  Atrazina 2 l/ha + propaclar 2 l/ha	No fue necesario

\*(1) Siembra de soja el 14/11/2011 para el antecesor colza, 2/12 para el de cebada, 13/12 para el de avena y 16/12 para el antecesor trigo

\*(2) DM4970 para antecesor trigo y avena; DM4210 para el antecesor cebada y para el caso de la colza se usó DM3810 para NTA y DM4210 para NTM.

**Tabla 1.** Tabla 1. Manejo de los cultivos

Año	Cultivos	Fertilizantes (kg/ha)				
		Tipo	Grado equivalente	Base*	NTM	NTA
1	Cereales invierno	Fosfato diamónico	18-46-00	50		
		Urea	46-00-00		100	140
	Colza	Fosfato diamónico	18-46-00	50		
		Urea	46-00-00		100	120
		Fosfato monoamónico enriquecido en azufre	11-34-00-9S			100
Soja segunda	Niebla (foliar)**	9-6-00-5,5S			6	
2	Maíz	Superfosfato triple	00-46-00	80		
		Urea	46-00-00		100	140
3	Soja primera	Start fert (foliar)***	8,9-1,6-3,7-1,1S			1
	Girasol	Fosfato diamónico	18-46-00			60
		Urea	46-00-00			50
	Sorgo	Urea	46-00-00			50
4	Trigo	Fosfato diamónico	18-46-00	50		
		Urea	46-00-00		100	140

\*Fertilización de base: aplicada en todas las parcelas de ambos niveles tecnológicos.

\*\* Composición: 09-2,6-00, 5,5% de azufre

\*\*\* Composición: N total: 8,9%, P asimilable: 1,6%, K soluble en agua: 3,7%, Ca: 0,3%, Mg: 0,3%, Fe: 0,8%, Mn: 0,2%, Zn: 0,2%, Cu: 0,2%, SO4= 1,1%, B: 0,2%, Mo: 0,06%, Extracto húmico total: 15,7%, Ácidos húmicos: 0,8%, Ácidos fúlvicos: 14,9%

**Tabla 2.** Manejo de la fertilización.

Los datos obtenidos se procesaron por el análisis de la varianza. Se analizaron los factores principales y sus interacciones para todas las variables consideradas. Respecto a estas últimas, nunca resultaron significativas a excepción para el balance de fósforo. Se usó la prueba de Tukey para la comparación de medias ( $P < 0,05$ ). Se utilizó el programa estadístico InfoStat, 2010.

El manejo de los cultivos y los detalles del manejo de la fertilización se muestran en las tablas 1 y 2.

## RESULTADOS

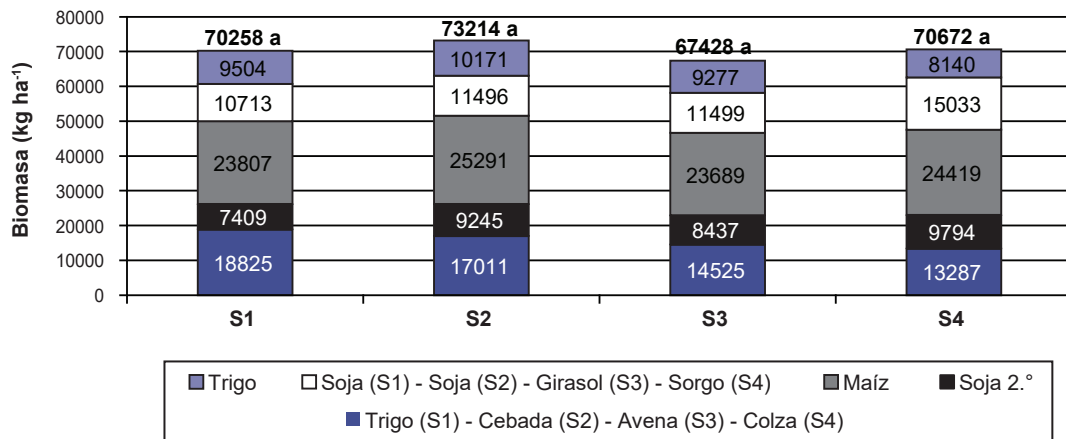
La biomasa total no presentó diferencias estadísticamente significativas entre secuencias, tendiendo a ser mayor en la S2, siguiendo en orden decreciente S1, S4 y S3 (figura 1). En todas se destacó el aporte realizado por el cultivo de maíz y los cereales de invierno del primer año (figura 1). Sí hubo diferencias significativas entre los dos niveles de tecnología utilizados, presentando el NTA mayor biomasa ( $72750 \text{ kg ha}^{-1}$ ) que el NTM ( $68035 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en respuesta a la mayor fertilización.

En la figura 2 pueden observarse los rendimientos totales de cada secuencia y a su vez el aporte por cada cultivo. El rendimiento total en grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) fue superior en la S2, que se diferenció significativamente de las restantes secuencias, aunque no existieron diferencias entre estas últimas. En las cuatro secuencias, el mayor aporte estuvo

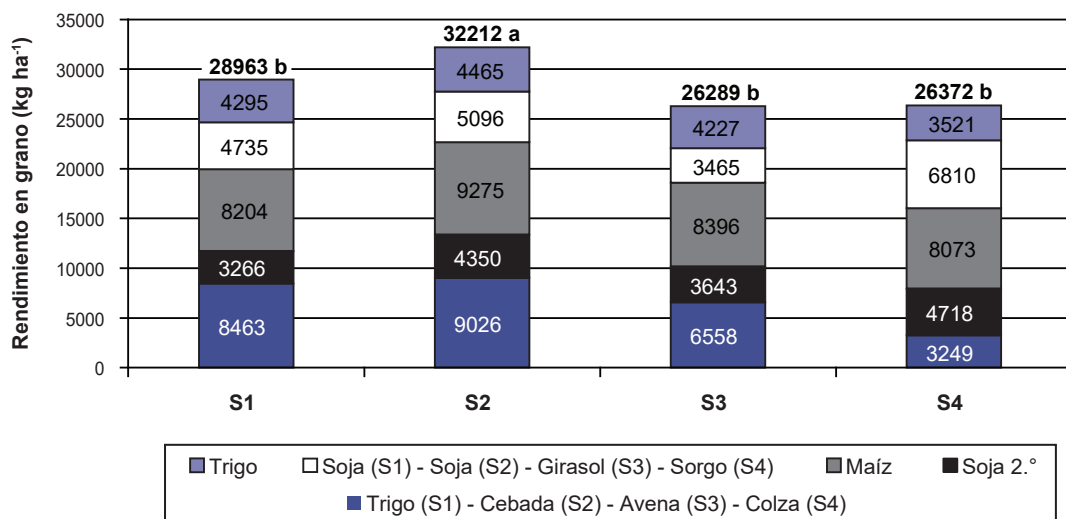
dado por el cultivo de maíz. En S1 se destacó el aporte que realizó el trigo en el primer año y la soja de primera. En S2 el aporte de la cebada y la soja de primera hicieron que esta secuencia fuera la de mayor rendimiento. En la S3 el bajo aporte en grano del cultivo de girasol, al igual que el de la colza en la S4, hizo que estas secuencias fueran las de menores rendimientos. El rendimiento en grano según los dos niveles tecnológicos evaluados arrojó diferencias significativas, siendo en NTA mayor ( $29391 \text{ kg ha}^{-1}$ ) que el NTM ( $27526 \text{ kg ha}^{-1}$ ), con una diferencia de  $1865 \text{ kg ha}^{-1}$ . Como se indicó más arriba, no hubo interacciones entre secuencias y niveles tecnológicos.

En las cuatro secuencias los mayores niveles de extracción se dieron para el nitrógeno seguido del potasio, fósforo y azufre. Se encontraron diferencias significativas para la extracción de nitrógeno entre las secuencias. S3 fue la que arrojó el menor valor de extracción, no hubo diferencias significativas en este parámetro entre las restantes (tabla 3). Las mayores extracciones de P y S se dieron en S4, seguida de S2, S1 y S3. Para el caso del K, las mayores extracciones se dieron en S2, seguida por S4, S1 y S3 (tabla 3). Para los cuatro nutrientes, las mayores extracciones en valor absoluto se dieron en el NTA, pero solo se encontraron diferencias significativas en N y P (figura 3).

Para el balance de nitrógeno, se encontró efecto significativo de las secuencias de cultivo, siendo en todos los casos negativo. S3 fue la que obtuvo el valor menos negativo



**Figura 1.** Biomasa total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para cuatro secuencias de cultivos y aporte de cada cultivo. Medias con igual letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 2.** Rendimiento total en grano ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para cuatro secuencias de cultivos y aporte de cada cultivo en el rendimiento. Medias con igual letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

(figura 4). Según los niveles tecnológicos, el balance menos negativo de nitrógeno se dio para el tratamiento NTA ( $-351 \text{ kg ha}^{-1}$ ), siendo de  $-393 \text{ kg ha}^{-1}$ , en el NTM, asociado al mayor aporte de nutrientes que se hizo con los fertilizantes en dicho manejo. Para el balance de fósforo, se encontró interacción significativa entre la secuencia y el nivel tecnológico empleado. Para el NTM no se encontró diferencia significativa entre secuencias, pero sí para el NTA donde, nuevamente, S3 fue la de mejor comportamiento (figura 5).

## DISCUSIÓN

### Biomasa y rendimiento

Si bien la biomasa total no presentó diferencias estadísticas significativas entre las distintas secuencias de cultivo, S2 mostró una tendencia a generar un mayor valor, presentando

a su vez un rendimiento en grano significativamente superior a las restantes. Asimismo, el mayor aporte de nutrientes en el NTA hizo que la biomasa y los rendimientos fueran superiores con una diferencia de  $1865 \text{ kg ha}^{-1}$  de grano, respecto al obtenido bajo el NTM. En general, los rendimientos obtenidos en todos los cultivos participantes de las diferentes secuencias fueron superiores a las medias nacionales.

Las fechas de cosecha de los cultivos antecesores modificaron el comportamiento del cultivo siguiente, cuando ellas no se realizaron simultáneamente. De hecho, en la soja de segunda, las plantas provenientes de siembras más tempranas crecieron aprovechando mejor el ambiente, sin excesos de temperaturas que aceleren las etapas de desarrollo, permitiéndoles capturar más recursos (radiación, agua, nitrógeno) y alcanzar mayor producción acorde a su potencial genético (Baigorri *et al.*, 2009). Por

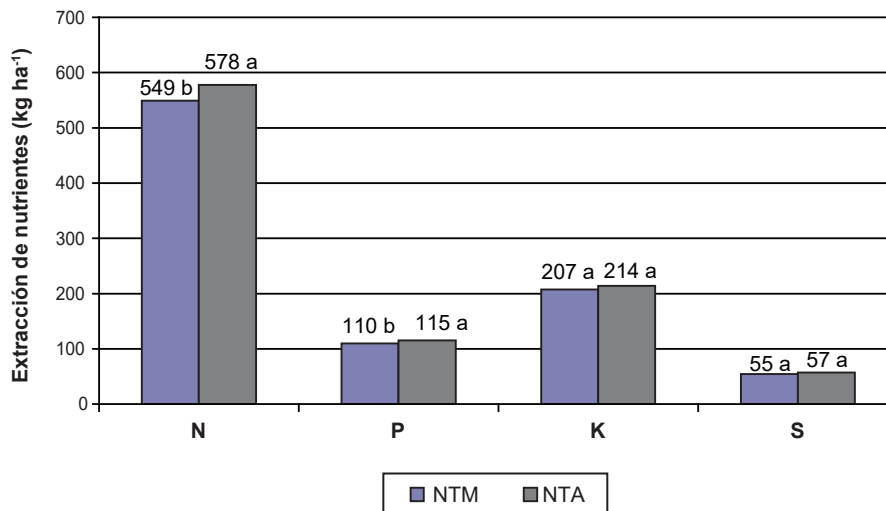
Año	Extracciones de N				Extracciones de P			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	153	135	131	123	30	27	20	36
	95	127	106	137	18	23	20	25
2	107	122	110	106	22	24	22	21
3	138	148	83	132	26	28	24	26
4	78	81	77	64	15	16	15	12
<b>Total</b>	<b>571 a</b>	<b>613 a</b>	<b>507 b</b>	<b>563 a</b>	<b>110 bc</b>	<b>118 ab</b>	<b>101 c</b>	<b>121 a</b>

Año	Extracciones de K				Extracciones de S			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	30	45	20	91	13	18	12	23
	55	73	61	79	9	12	10	13
2	28	32	29	28	10	11	10	10
3	80	86	21	26	13	14	7	13
4	15	16	15	12	6	7	6	5
<b>Total</b>	<b>208 b</b>	<b>252 a</b>	<b>146 c</b>	<b>237 a</b>	<b>52 b</b>	<b>63 a</b>	<b>46 c</b>	<b>64 a</b>

S1: trigo/soja 2.º- maíz- soja- trigo; S2: cebada/soja 2.º- maíz- soja- trigo;  
 S3: avena/soja 2.º- maíz- girasol- trigo; S4: colza/soja 2.º - maíz- sorgo- trigo.

**Tabla 3.** Extracciones de nutrientes (N, P, K, S) en kg ha<sup>-1</sup> para cada secuencia y para cada cultivo. Medias con igual letra, para cada secuencia, no difieren significativamente según la prueba de Tukey (p<0,05).

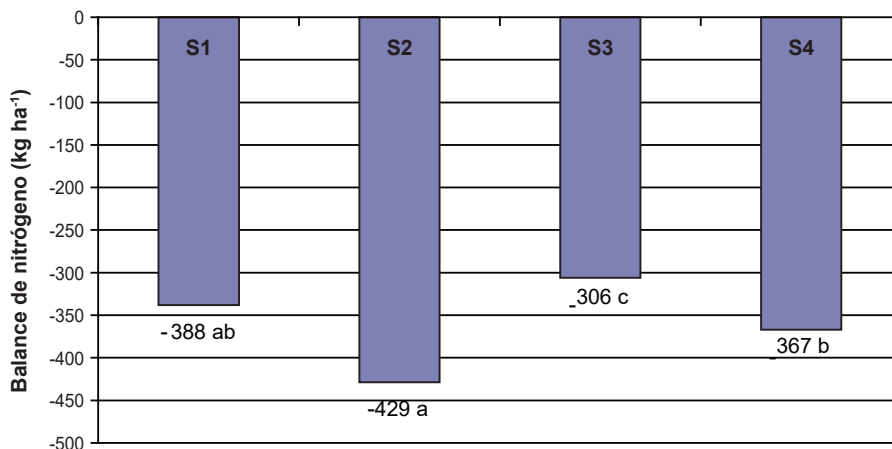


**Figura 3.** Extracciones de nutrientes en kg ha<sup>-1</sup> según el nivel tecnológico empleado: nivel tecnológico medio (NTM) y nivel tecnológico alto (NTA). Medias con igual letra, para cada nutriente, no difieren significativamente según la prueba de Tukey (p<0,05).

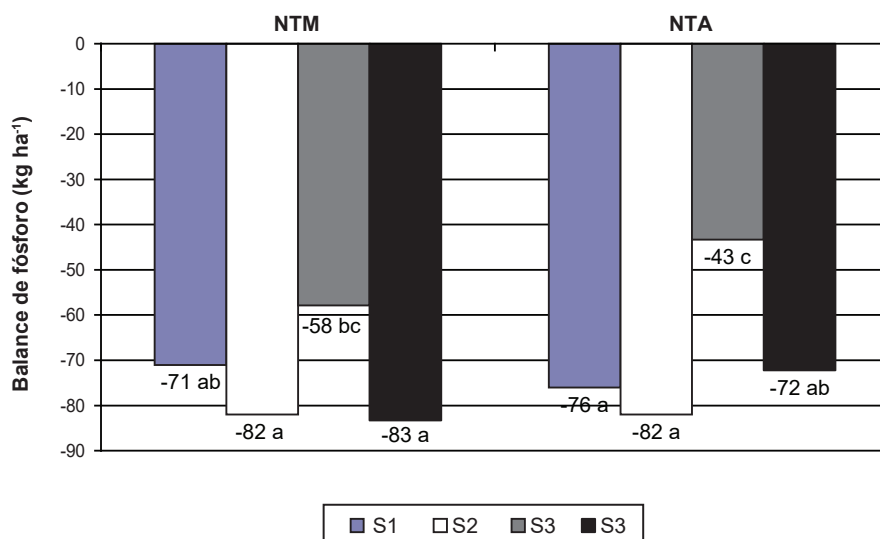
lo tanto, los mayores rendimientos de la soja de segunda se dieron cuando el antecesor fue colza, seguido de cebada, avena y trigo.

Asimismo, el volumen y la calidad del rastrojo dejado por el antecesor, en muchos casos, influyeron en el comportamiento del cultivo sucesor. Pellegrini *et al.* (2014) trabajando sobre el mismo ensayo, determinaron antes de la

siembra de maíz que las secuencias de cultivos no variaron significativamente en el volumen de rastrojos aportados. Sin embargo, estos autores encontraron diferencias estadísticas en el carbono orgánico particulado (que corresponde a la fracción más lábil de la materia orgánica), donde S3 y S2 aportaron los mayores resultados, 1,29 g kg<sup>-1</sup> y 1,17 g kg<sup>-1</sup> respectivamente, siguiendo en forma decreciente S1



**Figura 4.** Balance de N en kg ha<sup>-1</sup> para cuatro secuencias de cultivos. Medias con igual letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 5.** Balance de fósforo en kg ha<sup>-1</sup> para cuatro secuencias de cultivos bajo dos niveles tecnológicos: nivel tecnológico medio (NTM) y nivel tecnológico alto (NTA). Medias con igual letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

(1,11 g kg<sup>-1</sup>) y S4 (1,0 g kg<sup>-1</sup>). Este contenido superior de carbono orgánico particulado se asoció a su vez con los mayores rendimientos del maíz, lo que indicaría que la calidad de los rastrojos pudo favorecer el desarrollo del cultivo de maíz. El mismo tipo de respuesta se encontró para los cultivos de soja de primera (S1 y S2) que han tenido un buen comportamiento cuando el antecesor fue maíz. Por un lado, Bacigaluppo *et al.* (2009) encontraron una diferencia de un 10% en el rendimiento a favor de soja cuando se realizó en rotaciones con gramíneas, en relación con su producción como monocultivo. Por otro lado, la baja relación C/N de los rastrojos de soja hizo que se descompusieran rápidamente, aumentando la disponibilidad de nitrógeno para el desarrollo

del cultivo siguiente, lo que favoreció al trigo que siguió en la rotación. La relación C/N intermedia del girasol sumado al bajo aporte de rastrojos que realizó pudo aumentar la disponibilidad de nitrógeno, pero en menor medida que en S1 y S2. Contrariamente, la inmovilización microbiana de nitrógeno en S4, producida por el alto aporte de rastrojos del sorgo y su alta relación C/N, habría afectado la disponibilidad de este nutriente para el cultivo sucesor.

#### Extracción y balance de nutrientes

Las mayores extracciones de nutrientes se dieron en S2 y S1, que fueron las secuencias de mayores rendimientos

y mayor frecuencia de soja, cultivo que realiza una alta extracción de nutrientes por tonelada de grano (Ciampitti y García, 2009) y en S4 debido principalmente al cultivo de colza. S3 resultó la menos extractiva.

Los balances de N fueron deficitarios para las cuatro secuencias. El mayor aporte de nutrientes en el NTA hizo que la biomasa total y los rendimientos fueran mayores, aumentando la extracción de nutrientes. Si bien el NTA aseguró un mayor nivel de reposición, sobre todo de N, en ambos niveles de tecnología el balance de nitrógeno fue negativo.

Para el balance de P, igual que para el caso anterior, las cuatro secuencias resultaron negativas. S1 y S2, que incluyeron dos veces a la soja, y S4 con el cultivo de colza, que requiere el doble de fósforo por tonelada de grano que la soja, 1,5 veces más fósforo que el girasol y entre 3 y 4 veces más que las gramíneas (Ciampitti y García, 2009) resultaron las secuencias con balances más negativos. De todos modos, para el balance de P se encontró interacción significativa entre las secuencias y el nivel tecnológico empleado, no habiendo diferencias en el comportamiento de las secuencias bajo el NTM, pero sí bajo el NTA. Esto indica que bajo el NTA la S3 presentó un mejor comportamiento.

Los balances negativos de nutrientes obtenidos concuerdan con los hallados por Flores y Sarandón (2002) durante la década de 1990 para los cultivos de trigo, maíz y soja en la región pampeana, donde el análisis costo beneficio, usualmente empleado por los productores no incluye el costo de degradación del capital natural del suelo, sobrestimando los beneficios de la actividad agrícola. Por lo tanto, este costo debería ser incluido a efectos de sustentar los sistemas agrícolas desde el punto de vista ecológico. Cruzate y Casas (2012) hallaron a escala nacional, que el porcentaje de reposición de nutrientes totales es de un 35% de lo extraído, con un 39% de reposición de N, 64% de P, 6% de K, 54% de Ca y 52% de S.

## CONCLUSIONES

La fecha de cosecha del cultivo antecesor, como el volumen y la calidad de su rastrojo, modifican la respuesta del cultivo sucesor. Los mayores rendimientos de la soja de segunda se dieron cuando el antecesor se cosechó en forma temprana. A su vez, los rendimientos del maíz, de la soja de primera y del trigo del último año dependieron de la calidad del volumen del rastrojo del cultivo antecesor.

Las mayores extracciones de N se dieron en S2 y S1 que, además de ser las secuencias de mayor rendimiento, incluyeron a la soja con mayor frecuencia y en S4 con el cultivo de colza. Las mayores extracciones de P y S se dieron en S4, seguida de S2, S1 y S3. Para el K, las mayores extracciones se dieron en S2, seguida por S4, S1 y S3. Los balances de N y P resultaron negativos para todos los casos analizados.

Los niveles de tecnología empleados en el presente trabajo, que son los que habitualmente realiza el productor de la zona, no alcanzan para satisfacer la capacidad extractiva de los cultivos y por ello resulta difícil esperar encontrar balances nulos en esta.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABBONA, E.A.; SARANDÓN, S.J. 2014. Manejo de nutrientes en los agroecosistemas. En: SARANDÓN, S.; FLORES, C. (ED.). Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Editorial de la Universidad de La Plata. Argentina, pp 211-234. (Disponible: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280> consultado: marzo de 2015).
- ALTIERI, M.; PENGUE, W. 2006. La soja transgénica en América Latina. Una maquinaria de hambre, deforestación y devastación socioecológica. *Biodiversidad* 47:14-19.
- ANDRIULO, A.; SASAL, C.; PORTALA, S. 2004. Impacto ambiental de la agricultura 13 pampeana. *Revista de investigación y desarrollo agropecuario. Cereales, Idia XXI 14 INTA*, pp. 80.
- BACIGALUPPO, S.; BODRERO, M.; SALVAGIOTTI, F. 2009. Producción de soja en rotación vs. monocultivo en suelos con historia agrícola prolongada. *Soja 2009, para mejorar la producción. EEA Oliveros – CR Santa Fe*, pp. 53-55.
- BAIGORRI, H.; CIAMPITTI, I.; GARCÍA, F. 2009. Manejo del cultivo de soja. En: GARCÍA, F.O.; CIAMPITTI, I.A.; BAIGORRI, H.E. (Ed.). *Manual de manejo del cultivo de soja*. IPNI (International Plant Nutrition Institute), Buenos Aires, Argentina, pp. 17-32.
- BRAGACHINI, M.; VELEZ, J.P.; CASINI, C.; SANCHEZ, F. 2015. Siembra Directa. Un aporte a la productividad y sustentabilidad ambiental. *INTA Actualización Técnica N.º 89*, pp. 24.
- CASAS, R. 2006. Preservar la calidad y salud de los suelos: una oportunidad para la Argentina. *Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Anales Tomo LX:37-58*.
- CRUZATE G.; CASAS, R. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones Agronómicas Hispanoamérica* 6: 21-26.
- CIAMPITTI, I.; GARCÍA, F. 2009. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. *Cereales, Oleaginosos e Industriales. Archivo Agronómico N.º 11 IPNI*, pp: 13-16.
- ETCHEGOYEN, J. 2011. Evaluación de la aptitud de los suelos para el cultivo de soja. Partido de Magdalena, Pcia de Buenos Aires. 1.ª aproximación. Trabajo final de Carrera Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, pp. 71.
- FLORES, C.C.; SARANDÓN, S.J. 2002. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de agricultura en la región pampeana argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 105:52-67.
- FORJÁN, H.; MANSO, L. 2010. Los cereales de invierno en la secuencia de cultivos. Su aporte a la sustentabilidad del sistema de producción. *Chacra Experimental Integrada Barrow, Convenio INTA – MAA Pcia. de Buenos Aires*, pp. 2.
- GONZÁLEZ, N. 2002. Nutrición nitrogenada del cultivo de la soja. Uso de inoculantes. *Actas de 19.ª Jornadas de Actuación Profesional. INTA-FCA UNM del Plata-CIAM*.
- MADDONNI, G.; RUIZ, R.; VILARIÑO, P.; GARCIA DE SALOMONE, I. 2003. Fertilización 5 en los cultivos para grano. *Capítulo 19. Producción de granos: Bases 6 funcionales para su manejo. Editorial: Facultad de agronomía (UBA)*. pp. 501-557.
- PELLEGRINI, A.; CHAMORRO, A.; BEZUS, R.; GOLIK, S.; FRIAS CALVO, A. 2014. Efecto de las rotaciones con soja de segunda en La Plata. *xxiv Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional de Materia Orgánica y Sustancias Húmicas. Bahía Blanca*.
- VENTIMIGLIA, L.A.; CARTA, H.G. 2005. Soja: Efecto de los fertilizantes aplicados en la línea de siembra sobre el número de plantas y el rendimiento. *INPOFOS Cono Sur Informaciones Agronómicas* 28:23-25.