

Evaluación económica de la incorporación de cultivos de servicios a rotaciones agrícolas frecuentes del centro de la provincia de Santa Fe



Economic evaluation of the incorporation of service crops to frequent agricultural rotations in the centre of the province of Santa Fe

Rosler, Noelia; Castignani, María Isabel; Mansilla, Mayco

 Noelia Rosler

nrossler@fca.unl.edu.ar

Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral, Argentina

 María Isabel Castignani

mcastign@fca.unl.edu.ar

Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral, Argentina

 Mayco Mansilla

mansillamayco@gmail.com

Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral, Argentina

Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias

Universidad Nacional del Litoral, Argentina

ISSN: 2346-9129

ISSN-e: 2346-9129

Periodicidad: Semestral

vol. 22, e0009, 2023

revistafave@fca.unl.edu.ar

Recepción: 06 Octubre 2022

Aprobación: 27 Diciembre 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/586/5863579015/>

DOI: <https://doi.org/10.14409/fa.2023.22.e0009>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: La inclusión de cultivos de servicios en rotaciones agrícolas posee muchas ventajas en términos de conservación de recursos y sostenibilidad de los sistemas productivos. Si bien a nivel país es una práctica en aumento constante, en la provincia de Santa Fe, su implementación, está en una etapa exploratoria. Para fomentar su implementación, el objetivo de este trabajo es evaluar, en términos económicos, la incorporación de cultivos de servicio a rotaciones agrícolas frecuentes del centro de la provincia de Santa Fe. Se compararon tres rotaciones agrícolas, con una duración de cuatro años cada una y diferente grado de intensificación: dos frecuentes en la zona bajo estudio y una propuesta mejoradora con inclusión de *Vicia sp.* como cultivo de servicio y colza (*Brassica sp.*) con fines comerciales. Esta comparación se realizó en términos económicos, mediante el método de la actualización de los valores (o flujo de fondos actualizado) y la relación beneficio costo de cada una de las rotaciones. También se compararon las secuencias en términos ambientales, considerando el balance de nitrógeno y fósforo y la captura de carbono. Los resultados muestran que, a pesar de que existen gastos asociados a la implantación, mantenimiento y secado del cultivo de servicio a la rotación, la rentabilidad de la secuencia intensiva sustentable supera a las rotaciones frecuentes analizadas. Además, en términos de captura de carbono, es la de mejor desempeño. La rotación propuesta contribuye a generar una ganancia económica con un impacto ambiental positivo, atendiendo a la necesidad de una producción sostenible.

Palabras clave: cultivos de servicio, cultivos de renta, valor presente.

Abstract: *The inclusion of service crops in agricultural rotations has many advantages in terms of resource conservation and sustainability of production systems. Although in Argentina it is a practice in constant increase, in the province of Santa Fe, its implementation is in an exploratory stage. To promote its implementation, the objective of this work is to evaluate, in economic terms, the incorporation of service crops to frequent agricultural rotations in the centre of Santa Fe province. Three agricultural rotations were compared, with a duration of four years each and different degrees of intensification: two frequent*

in the area under study and one improvement proposal including Vicia sp. as a service crop and rapeseed (Brassica sp.) for commercial purposes. This comparison was made in economic terms, using the present value method (or updated cash flow) and the cost-benefit ratio of each of the rotations. Sequences were also compared in environmental terms, considering nitrogen and phosphorus balance and carbon sequestration. The results show that, although there are costs associated with the implementation, maintenance and drying of service crop to the rotation, the profitability of the sustainable intensive sequence exceeds the frequent rotations analysed. In addition, in terms of carbon capture, it is the best performer. The proposed rotation contributes to generating an economic gain with a positive environmental impact, meeting the need for sustainable production.

Keywords: service crops, cash crops, present value.

INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años, el patrón de producción agropecuaria de Argentina sufre una transformación que incluye el avance de la superficie destinada a los cultivos agrícolas en detrimento de otras actividades, principalmente las ganaderas. Este avance agrícola fue traccionado por el surgimiento de tecnologías de insumo sencillas de implementar, especialmente aquellas vinculadas al cultivo de soja, situación que fue acompañada por la tendencia creciente del precio de los commodities agrícolas. El centro de la provincia de Santa Fe, no fue la excepción de esta situación.

La tendencia hacia la agricultura continua, con una baja diversidad de cultivos en las rotaciones y con periodos importantes de tiempo de barbechos con suelos descubiertos, actúa en detrimento de la sustentabilidad de los sistemas productivos, entendiéndose la sustentabilidad, como un concepto complejo y multidimensional que sienta sus bases en el mantenimiento del capital natural por lo que, todo sistema que produzca a costa de degradar el capital natural no podrá ser considerado sustentable (Flores y Sarandón, 2002). La intensificación sustentable de la agricultura plantea la producción de los cultivos haciendo un uso eficiente de los recursos naturales e insumos, con el menor impacto ambiental sobre los agroecosistemas, manteniendo la biodiversidad, conservando los recursos naturales, reduciendo los procesos de contaminación y favoreciendo el desarrollo local de las comunidades (Bacigaluppo et al, 2020). Caviglia (2020) menciona que la intensificación sostenible de la agricultura se puede definir como un proceso que busca incrementar los rendimientos y restaurar los servicios ecosistémicos perdidos durante el proceso de simplificación de la agricultura.

Los cultivos incorporados a las rotaciones (o secuencias de cultivos), con el fin de cubrir el suelo en periodos de barbecho, se denominan cultivos de servicio. Entre las ventajas de su inclusión en las rotaciones se mencionan (Ridley, 2012; Rimski-Korsakov et al, 2016; Daryanto, 2018; Principiano y Acciaresi, 2018; Bojanich et al, 2019; Hallama et al., 2019; Bacigaluppo et al, 2020; Zoni, 2020; ReTAA, 2021; Gardarin et al 2022):

- la diversificación de la producción, con la inclusión de nuevos cultivos a la rotación,
- la contribución al control de malezas acompañada de un menor y más eficiente uso de herbicidas, al control de plagas y enfermedades, debido a que los lotes siempre están ocupados por algún cultivo,
- la captura y aporte de nitrógeno (por fijación biológica realizado por especies leguminosas incorporadas a la rotación como cultivo de servicios), de fósforo y azufre,

- la captura y aporte de carbono, al aumentar la tasa fotosintética del área, la producción de biomasa y el desarrollo de raíces.
- el aumento de la materia orgánica del suelo y consiguiente mejora de las propiedades físicas del suelo, como el aumento de la macroporosidad y la estabilidad de agregados, reducción de la compactación, generando como resultado una mayor infiltración y disponibilidad de agua útil en el suelo,
- la activación de la población natural de los microorganismos del suelo, proveyendo lo que necesitan para aumentar la actividad microbiana.
- la prevención de los procesos de erosión eólica e hídrica del suelo, permitiendo una mayor infiltración y almacenamiento de agua en el suelo,
- el control de las napas freáticas y del ascenso de sales a la superficie.

La desventaja de la incorporación de estos cultivos se vincula al consumo del agua del perfil, aspecto que puede regularse controlando el momento de secado del cultivo de servicios (Casas, 2007; Ridley, 2012; Fernández et al, 2012)

La situación actual en Argentina respecto a la implementación de cultivos de servicios es buena y se encuentra en aumento constante. Según ReTAA (2021) en 5 campañas agrícolas se quintuplicó el porcentaje de productores que siembran cultivos de servicios, pasando de 4% en la campaña 2014-15 a 19% en la campaña 2020-21. Esta misma red menciona que los mayores porcentajes de adopción en la actualidad se encuentran en el NEA oeste, en el centro-este de Entre Ríos y en el sur de Córdoba, donde la tecnología se encuentra fuertemente adoptada; en tanto que en zonas como Santa Fe norte, norte de La Pampa y oeste de Buenos Aires, hay varios productores en etapa exploratoria, que realizan poca superficie, para evaluar y analizar resultados.

Dado que los cultivos de servicios no son pastoreados o cosechados con fines comerciales, suelen ser considerados un costo más en el análisis económico agrícola. Pero los beneficios que generan en los sistemas productivos, a mediano y largo plazo, deben ser analizados y, por lo tanto, la inclusión de los mismos a las rotaciones debe evaluarse en términos de inversión para el plazo que dura la rotación agrícola en la que se incluyen. Entendiéndose por inversión a la inmovilización de capital durante un periodo largo de tiempo (Frank, 1998)

Por lo mencionado, el objetivo de este trabajo es evaluar en términos económicos la incorporación de cultivos de servicio a rotaciones agrícolas frecuentes del centro de la provincia de Santa Fe.

De esta manera se busca fomentar el uso de prácticas que actúen a favor de la conservación de los recursos y la sostenibilidad de los sistemas productivos, para lograr empresas agrícolas más rentables, generando un impacto positivo desde el punto de vista social y ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se compararon, en términos monetarios y ambientales, tres rotaciones agrícolas: dos frecuentes en la zona bajo estudio y una rotación alternativa mejoradora con inclusión de vicia (*Vicia Sp.*) como cultivos de servicio y colza (*Brassica Sp.*) con fines comerciales. Las tres rotaciones poseen diferentes grados de intensificación, entendiéndose a la intensificación como la cantidad de cultivos ocupando un lote en el transcurso de un año. Todas las rotaciones poseen una duración de 4 años.

Se estimaron los márgenes brutos de cada uno de los cultivos que componen las secuencias. El margen bruto es la diferencia entre los ingresos y los gastos en los que se incurrió para producir (gastos directos)

Para cada rotación, se elaboraron los flujos de caja con un horizonte de 4 años. Los flujos de caja se elaboraron computando los ingresos anuales generados por la venta de granos (ingresos de cultivos), los egresos anuales generados por el proceso productivo (egresos de cultivo) y los egresos anuales en concepto

de administración, arrendamiento y asesoramiento agronómico. El saldo final se obtiene como la diferencia entre ingresos y egresos totales.

Considerando que se inmoviliza capital (tierra) por un periodo superior a un año (4 años), los egresos e ingresos no coinciden en el tiempo. Entonces, es necesario homogeneizar los saldos finales anuales para comparar las rotaciones. Para ello se utilizó el método de la actualización de los valores (o flujo de fondos actualizado), que consiste en calcular el valor actual (o presente) de egresos e ingresos futuros (Brealey, Myers y Marcus, 2007). Es decir, el valor actual o presente es el valor que tiene en la actualidad una cantidad de dinero que recibiremos en el futuro. En el caso de proyectos, sirve para calcular si es conveniente realizar una inversión, de acuerdo a la proyección de los resultados del negocio. En el caso de este trabajo, la mejor secuencia de cultivos, la más conveniente en términos económicos, es aquella que posee mayor valor actual (VA) o valor presente (VP)

$$VA = \sum_{t=0}^n \frac{M_t}{(1+r)^t}$$

Donde: VA es el valor actual o presente; M. son los montos anuales futuros (saldos finales en este caso); r es la tasa anual de interés calculatoria o tasa de descuento (4%) y t hace referencia a los periodos en años que duran las secuencias de cultivos.

Además, se estimó la relación beneficio costo de cada una de las rotaciones. Para ello, se actualizaron por separado ingresos y egresos y se dividió el valor actual de los ingresos por el valor actual de los egresos. Un resultado superior a uno, significa que la alternativa es conveniente e indica hasta que porcentaje pueden incrementarse los costos sin que la misma deje de serlo (Frank, 1998)

Los precios de insumos y productos se expresaron en dólares, considerando el tipo de cambio promedio del mes de agosto de 2022. Las fuentes de información utilizadas fueron la revista Márgenes Agropecuarios Nro. 446 correspondiente al mes de agosto y las consultas a los comercios de la región vinculados al agro. Los datos técnicos fueron provistos por la cátedra de Cultivos Extensivos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Litoral y por informantes calificados (ingenieros agrónomos y productores empresarios de la región con experiencia en la producción de cultivos de servicio).

Para incluir una valoración ambiental en el análisis, se realizaron balances parciales^[i] de N (nitrógeno) y P (fósforo), considerando el aporte de las dosis de fertilizantes inorgánicos empleados, la fijación biológica de nitrógeno por parte de algunas leguminosas y la exportación a partir de la cantidad de nutrientes extraída por tonelada de grano producido para cada cultivo. Para valorar los nutrientes en términos monetarios se estimaron los equivalentes de nutrientes en fertilizantes, utilizando las conversiones: Fosfato monoamónico (MAP): 11% (N) 52% (P); Urea: 46% (N); Superfosfato triple (SFT): 46% (N); Fosfato monoamónico (PDA): 18% (N) 20% (P); Fertilizante triple nitrógeno, fósforo y potasio (NPK): 10% (N) 30% (P)

Finalmente, se estimaron las capturas de carbono bruto^[iii] generadas por el rastrojo que queda en superficie al finalizar el ciclo de cada cultivo renta o la materia seca de los cultivos de servicio en términos de tonelada por hectárea. Se considera que, en promedio, la biomasa de cualquier planta contiene en su composición química un 45 % de carbono (Martínez Romero y Leyva Galán, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Análisis económicos de los cultivos

La producción agrícola es importante en la provincia de Santa Fe, en función del valor que genera y la superficie que ocupa.

De acuerdo a información publicada por la Di Yenno, Ferrari y Terré (2022), la participación del Producto Bruto Geográfico (PBG) de la Provincia de Santa Fe, valuado a precios constantes, explicó el 10,7% del Valor Agregado Bruto Nacional (VAB) en el año 2020. La agroindustria explica el 70% de ese PBG. El sector Cultivos Agrícolas concentra aproximadamente el 30% del PBG del sector agroindustrial santafesino, ubicándose en segundo lugar en importancia relativa luego del sector Elaboración de Productos Alimenticios y Bebidas (45%)

Los principales cultivos agrícolas producidos en la provincia, en función de la superficie sembrada, son soja, trigo y maíz. En la figura 1 se muestra la evolución de la superficie sembrada de estos cultivos en las últimas 10 campañas. Le siguen en importancia el girasol y sorgo, pero en proporciones mucho menores (el sorgo no superó las 188.900 hectáreas sembradas y el girasol las 266.884 hectáreas en el periodo considerado).

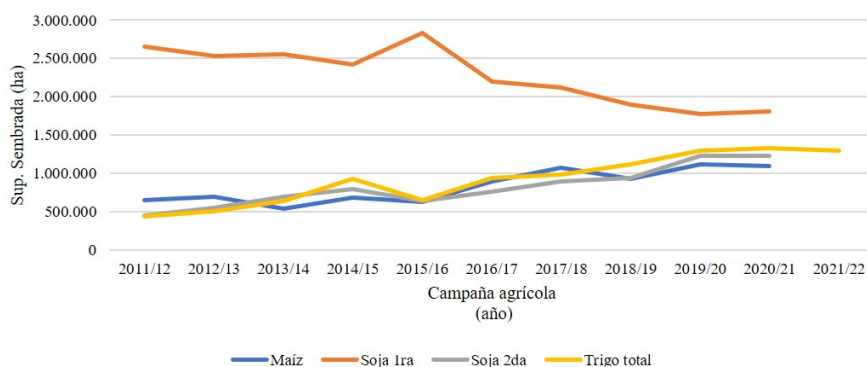


FIGURA 1 / FIGURE 1

Evolución de la superficie cosechada de los principales cultivos agrícolas en los últimos años en la provincia de Santa Fe / *Evolution of the harvested area of the main agricultural crops in recent years in the province of Santa Fe.*

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAGyP / *Font: Own elaboration based on MAGyP data*

Se observa la gran ocupación de suelo con soja de primera, que va disminuyendo a través de los años. Por el contrario, el área sembrada de trigo, soja de segunda y maíz aumentaron en el transcurso de las campañas agrícolas. Podría desprenderse de este gráfico que estos cultivos se utilizan en rotaciones agrícolas poco diversificadas.

En concordancia con lo expuesto en la figura 1, dos rotaciones agrícolas muy difundidas en la región son:

Rotación 1 (R1): Tr/Sj 2° - Mz - Sj1° - Sj1°

Rotación 2 (R2): Tr/Sj 2° - Mz - Tr/Sj 2° - Mz

Donde: Tr. Trigo; Sj 2°. Soja de segunda; Sj 1°. Soja de primera; Mz. Maíz

En la Tabla 1 se muestran los márgenes brutos (MB) de los cultivos que componen las secuencias mostradas.

TABLA 1 / TABLE 1

Márgenes brutos (USD/ha) de los cultivos que componen las rotaciones frecuentes de la zona en estudio / *Gross margins (USD/ha) of the crops that make up the frequent rotations of the study area.*

	Trigo	Soja 2°	Soja 1°	Maíz
<i>Ingresos</i>				
Rendimiento (qq/ha)	30	25	30	80
Precio (USD/qq)	28	36	36	22
Ingresos totales	825	900	1.080	1.720
<i>Gastos directos</i>				
Pulverizaciones y siembras	71	73	79	61
Semillas y curasemillas	93	56	52	162
Agroquímicos	55	116	116	161
Fertilizantes	203	126	149	364
Seguros	12	10	12	17
Cosecha	74	75	76	95
Comercialización	143	120	144	431
Gastos directos totales	650	576	628	1.291
Margen Bruto	175	324	452	429

Fuente: Elaboración propia / *Font: own elaboration*

Estos resultados explican, en parte, la razón por la que está difundida la micro rotación trigo soja de segunda. El margen bruto de la micro-rotación es 498,97 USD/ha año (suma del MB de ambos cultivos), valor que es comparable con los márgenes de la soja de primera y el maíz. Esto permite comprender, desde el punto de vista económico, la evolución de los cultivos mostrada en la Figura 1.

Se puede ver en la tabla el peso relativo en los gastos directos totales de los fertilizantes y de los gastos de comercialización, cuyo rubro más importante es el flete de los granos al puerto de Rosario.

Una rotación posible para la zona, más intensiva que las anteriores, podría ser:

Rotación 3 (R3): Tr/Sj 2° - ViCS/MzT - CzR/Sj 2° - ViCS/MzT

Donde: Tr. Trigo; Sj 2°. Soja de segunda; ViCS. Vicia como cultivo de servicio; MzT. Maíz sobre vicia.

La rotación se intensifica con la incorporación de vicia como antecesor de maíz y de colza para renta. El suelo permanece cubierto con cultivos durante los 4 años que dura la secuencia de cultivos, a diferencia de lo que ocurre con las rotaciones frecuentes de la zona (R1 y R2).

El uso de vicia como antecesor del maíz, al mantener el suelo cubierto, compite con las malezas, permitiendo un menor uso de agroquímicos en el cultivo de maíz que se siembra a continuación y, por tratarse de una leguminosa que realiza fijación biológica de nitrógeno, es una fuente adicional del nutriente para el cultivo posterior, que posibilita el ahorro en términos de fertilización. Otros beneficios de la vicia son la disminución de los procesos erosivos del suelo por permanecer cubierto, el aporte de carbono y el menor lavado de nutrientes móviles lo que, a largo plazo, permite mantener o mejorar las condiciones físico-químicas del suelo con los resultados positivos que esto implica en las rotaciones agrícolas (Capurro y Montico, 2020; Farías, 2020)

La colza se propone como un cultivo invernal en reemplazo del trigo previo a la soja de segunda. En la bibliografía se menciona una serie de ventajas de su inclusión a secuencias agrícolas con respecto al trigo, vinculadas a la época de desocupación del lote para sembrar soja y la posibilidad de comercialización mediante contratos que permiten conocer y asegurar el precio de venta en el momento de siembra (Engler, 2010; Demicheli, 2012)

Los márgenes brutos de los cultivos incorporados en la R3 se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2 / TABLE 2

Márgenes brutos (USD/ha) de los cultivos incorporados a las rotaciones frecuentes de la zona en estudio / *Gross margins (USD/ha) of crops incorporated into frequent rotations in the study area*

	Vicia cult. de servicio	Maíz sobre vicia	Colza de renta
<i>Ingresos</i>			
Rendimiento (qq/ha)	*	80	17
Precio (USD/qq)		22	64
Ingresos totales		1.720	1.080
<i>Gastos directos</i>			
Pulverizaciones y siembras	32	61	19
Semillas y curasemillas	75	153	32
Agroquímicos	46	134	91
Fertilizantes	74	229	319
Seguros		13	12
Cosecha		95	83
Comercialización		431	84
Gastos directos totales	226	1.116	640
Margen Bruto	-226	604	439

Fuente: Elaboración propia / *Font: own elaboration*

** Vicia. Producción de 5.500 kg/ha de materia seca

* Vicia. Production of 5,500 kg/ha of dry matter

El margen bruto de la vicia es negativo dado que, por tratarse de un cultivo de servicio, no se considera la venta del grano cosechado o su pastoreo por parte de animales. Sin embargo, posee los beneficios mencionados, algunos de los cuales se pueden valorizar en términos económicos.

Si se comparan los gastos directos del maíz (Tabla 1) con los del maíz sembrado luego de la vicia (Tabla 2), se observa una diferencia en términos monetarios a favor del maíz sobre vicia en los rubros fertilizantes (ahorro de 135 USD/ha) y agroquímicos (ahorro de 27 USD/ha). No obstante, el margen bruto del cultivo de maíz de primera supera al margen bruto de la micro-rotación VcCS/MzT en un 13%, si solo se consideran aspectos económicos. Por el contrario, la micro rotación CzR/Sj2° supera en 52% al margen bruto de la micro-rotación Tg/Sj 2.

2. Análisis económicos de las rotaciones

En la Tabla 3 se muestran los flujos de ingresos y egresos de las tres rotaciones analizadas.

TABLA 3 / TABLE 3
Flujos de ingresos y egresos de las rotaciones analizadas (rotación 1) / *Flows of income and expenses of the rotations analysed.*

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Rotación 1				
Cultivos	Tr/Sj 2°	Mz	Sj 1°	Sj 1°
Ingresos cultivo/s	1.725	1.720	1.080	1.080
Egresos cultivos/s	1.226	1.291	628	628
Saldo cultivo/s	499	429	452	452
Arrendamiento	350	350	350	350
Asesoramiento agronómico	17	17	11	11
Administración	50	50	50	50
Saldo final	82	12	42	42

Fuente: Elaboración propia / *Font: own elaboration*

TABLA 3 / TABLE 3
Flujos de ingresos y egresos de las rotaciones analizadas (rotación 2) / *Flows of income and expenses of the rotations analysed.*

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Rotación 2				
Cultivos	Tr/Sj 2°	Mz	Tr/Sj 2°	Mz
Ingresos cultivo/s	1.725	1.720	1.725	1.720
Egresos cultivos/s	1.226	1.291	1.226	1.291
Saldo cultivo/s	499	429	499	429
Arrendamiento	350	350	350	350
Asesoramiento agronómico	17	17	17	17
Administración	50	50	50	50
Saldo final	82	12	82	12

Fuente: Elaboración propia / *Font: own elaboration*

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Rotación 3				
Cultivos	Tr/Sj 2°	<u>ViCS/MzT</u>	CzR/Sj 2°	<u>ViCS/MzT</u>
Ingresos cultivo/s	1.725	1.720	1.980	1.720
Egresos cultivos/s	1.226	1.341	1.216	1.341
Saldo cultivo/s	499	379	763	379
Arrendamiento	350	350	350	350
Asesoramiento agronómico	17	26	20	26
Administración	50	50	50	50
Saldo final	82	-48	344	-48

TABLA 5 / TABLE 5
Flujos de ingresos y egresos de las rotaciones analizadas (rotación 3) / *Flows of income and expenses of the rotations analysed.*

Fuente: Elaboración propia / *Font: own elaboration*

Por tratarse de ingresos y egresos que se producen en distintos momentos, no es posible la comparación, por lo que se actualizaron los valores:

R1: VA 162,32 USD/ha y Rel Be/Co: 1,03 USD/USD

R2: VA 172,60 USD/ha y Rel Be/Co: 1,03 USD/USD

R3: VA 299,41 USD/ha y Rel Be/Co: 1,05 USD/USD

Además de los beneficios mencionados por la inclusión de los cultivos de servicio a las secuencias de cultivos frecuentes, se puede observar que la rentabilidad de la rotación intensificada y sustentable (R3) supera a la rentabilidad de las rotaciones difundidas en la zona (R2 y R1).

Cano et al (2020), utilizando otras metodologías de análisis, también mencionan que las rotaciones con mayor cantidad y variedad de cultivos mostraron ventajas en términos económicos y ambientales en comparación con las secuencias menos diversas.

Garbelini et al (2022) analizaron el rendimiento de grano y la rentabilidad de los sistemas de producción agrícola con diferentes niveles de diversidad de plantas en el sur de Brasil. Concluyeron que, los sistemas diversificados de rotación de cultivos son económicamente competitivos con los sistemas de doble cultivo, lo que los convierte en opciones de manejo viables para conservar los recursos naturales y aumentar la resiliencia de los cultivos ante condiciones climáticas adversas.

3. Análisis económico de las rotaciones incluyendo consideraciones ambientales

Hasta el momento, solo se analizaron los ingresos y los gastos en los que se incurrió para su producción. En la Tabla 4 se muestra el balance anual de nutrientes de cada cultivo, en términos económicos, considerando o no la fijación biológica realizada por las leguminosas.

TABLA 4 / TABLE 4

Balance de nutrientes de los cultivos considerando o no la fijación biológica (FB) de nitrógeno por parte de las leguminosas (USD/ha) / *Crop nutrient balance considering or not biological nitrogen fixation (FB) by legumes (USD/ha)*

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Rotación 1	Tr/Sj 2°	Mz	Sj 1°	Sj 1°
Balance de P	107	130	80	80
Balance de N sin FB	-190	-26	-290	-290
Balance de N con FB	78	-26	32	32
Rotación 2	Tr/Sj 2°	Mz	Tr/Sj 2°	Mz
Balance de P	107	130	107	130
Balance de N sin FB	-190	-26	-190	-26
Balance de N con FB	78	-26	78	-26
Rotación 3	Tr/Sj 2°	ViCS/MzT	CzR/Sj 2°	ViCS/MzT
Balance de P	107	68	121	68
Balance de N sin FB	-190	-65	-298	-65
Balance de N con FB	78	249	-29	249

Fuente: Elaboración propia / *Font: own elaboration*

En todos los casos, el balance de fósforo (ingreso por fertilización menos extracción por cosecha) tuvo resultados positivos. Esto es bueno, porque supone un aporte extra del nutriente, reserva que estará disponible con el transcurso del tiempo y será usado por futuros cultivos. Se trata de una inversión a largo plazo. Lo mismo ocurre con el potasio y el Magnesio, nutrientes no valorados en este trabajo (INPOFOS, 2021)

El caso del nitrógeno es diferente. Las compras de fertilizante nitrogenado representan una inversión a corto plazo debido a que se esperan respuestas durante el año de aplicación (INPOFOS, 2021). Por lo cual, es importante considerar la fijación biológica para disminuir la aplicación de fertilizantes en cultivos siguientes de la secuencia. De esta manera, los gastos por fertilización de los cultivos disminuirían notablemente (por lo tanto, los costos de implantación) y se evitarían casos de contaminación de napas por lixiviación del nutriente o generación de gases de efecto invernadero.

Los nuevos valores actuales y relaciones Be/Co de las rotaciones, considerando los aportes y extracciones de nutrientes (P y N) serían:

R1: VA 632,64 USD/ha y Rel Be/Co: 1,03 USD/USD

R2: VA 702,09 USD/ha y Rel Be/Co: 1,03 USD/USD

R3: VA 1.123,33 USD/ha y Rel Be/Co: 1,05 USD/USD

La rentabilidad de las tres rotaciones mejora notablemente si se considera el balance de nutrientes (R1 +290%, R2 +307%, R3 +275%).

La R3, considerando o no el balance de nutrientes, arroja los mejores resultados con el plus de la diversificación de cultivos (menores riesgos, dilución de costos fijos) y el cuidado del ambiente (inclusión de cultivos de servicio).

De acuerdo a INPOFOS (2021), mantener y elevar la fertilidad del suelo es una parte importante de la rentabilidad a largo plazo. Además del uso eficiente de los fertilizantes, deben aplicarse otras cuestiones como análisis de suelos, selección de cultivares y variedades adecuadas para la zona, densidad de siembra y manejos adecuados del cultivo, etc.

Para ampliar el análisis, se estimó la captura bruta de carbono de las tres rotaciones analizadas (Tabla 5).

TABLA 5 / TABLE 5
Captura bruta de carbono (t/ha) / *Gross carbon capture (t/ha)*.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Total
Rotación 1	5,17	7,20	2,70	2,70	17,77
Rotación 2	5,17	7,20	5,17	7,20	24,74
Rotación 3	5,17	9,68	5,20	9,68	29,72

Fuent: Elaboración propia / *Font: own elaboration*

La capacidad de los cultivos de servicio, como la vicia, para incrementar el carbono orgánico del suelo genera un beneficio medioambiental, favoreciendo la reducción del CO₂ atmosférico (Schipanski et al., 2014; Spinozzi, 2020). La implementación de la siembra directa, entre otros manejos, potencia esta acción. En este sentido, se observa un beneficio adicional de la rotación intensiva sostenible (R3) analizada, que supera ampliamente a las rotaciones frecuentes en concepto de captura de carbono.

En este sentido, Montico (2020) menciona que los sistemas de producción agropecuarios basados en los suelos como soporte y sustento elemental, deben incrementar, preservar, conservar y hasta restaurar los stocks de carbono de los suelos. Blanco-Canqui (2022) menciona que es discutible el potencial de los cultivos de cobertura para secuestrar grandes cantidades de carbono orgánico en el suelo, lo que justifica una mayor discusión a escala regional y nacional.

CONCLUSIONES

A partir de las rotaciones propuestas, se destaca que los ingresos generados por la incorporación de los cultivos de servicios a las rotaciones provienen del ahorro estimado en fertilizantes y por el menor requerimiento de agroquímicos para el control de malezas y plagas. Este trabajo no contempla los aumentos de rendimientos debido a la falta de datos representativos de la zona. Sin embargo, la bibliografía muestra un incremento en los mismos en el mediano-largo plazo por las mejoras de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo generadas por la intensificación sostenible.

Por otra parte, a medida que se intensifican las rotaciones propuestas, los gastos en términos de administración y arrendamiento, principalmente, son absorbidos por un mayor número de cultivos en el año, a la vez que se mitigan los riesgos por la diversificación. Desde el punto de vista ambiental, se captura una mayor cantidad de carbono y nitrógeno, sin que implique necesariamente un mayor uso de herbicidas.

Si bien existen algunos gastos asociados a la implantación, mantenimiento y secado de los nuevos cultivos a la rotación, la rentabilidad de la secuencia intensiva sustentable, medida por el método del valor actual, supera a las rotaciones frecuentemente utilizadas en la región, aun sin valorar en términos monetarios algunos de los beneficios (como la captura de carbono), por no existir el mercado en la actualidad o por ser el mismo muy incipiente. De cualquier manera, son oportunidades que el entorno ofrece a mediano plazo, para las cuales los empresarios del sector deben estar preparados si pretenden lograr ventajas competitivas.

El peso relativo de los gastos de comercialización, en especial en los cultivos de maíz y trigo, deberían incentivar el aprovechamiento de la oportunidad de agregar valor en origen, a través de la transformación industrial o utilizándolo como insumo en otras unidades de negocios de la misma empresa (leche, carne, etc.).

La intensificación sostenible no solo es más conveniente desde el punto de vista ambiental y económico, sino que es una responsabilidad del sector agropecuario y de los tomadores de decisión, pensando en las generaciones futuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bacigaluppo, S., Enrico, J.M., Estancich, E., García, A., Kehoe, E., Lago, M.E., Papa, J.C., Rotolo, G., Sanmarti, N. y Salvagiotti, F. (noviembre, 2020). La intensificación sustentable de la producción, los servicios ecosistémicos y los cultivos de cobertura. *Para Mejorar la Producción*, 59, 179-192. https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/8562/INTA_CRSantaFe_EEAOliveros_Bacigaluppo_S_La_intensificaci%C3%B3n_sustentable_de_la_producci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Blanco-Canqui, H. (2022). Cover crops and carbon sequestration: Lessons from U.S. studies. *Soil Science Society of America Journal*. 86: 501– 519. <https://doi.org/10.1002/saj2.20378>
- Bojanich, M., Baigorria, T., Lardone, A. y Cazorla, C. (2019). Análisis económico del cultivo de maíz sobre vicia utilizada como cultivo de cobertura. INTA EEA Marcos Juárez. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-mp-inta-anlisis_economico_cultivo_de_maz_sobre_vicia.pdf
- Brealey, R.A., Myers, S.C y Marcus, A.J. (2007). *Fundamentos de finanzas corporativas*. Mc Graw- Hill. Interamericana de España.
- Cano, P., Cabrini, S., Fillat, F., Peper, A. y Poggio, S.L. (2020, 29 de agosto). *Evaluación económica-ambiental de alternativas para intensificar y diversificar las rotaciones agrícolas en el norte de la provincia de Buenos Aires*. [presentación de trabajos de investigación]. Trabajo presentado en la 51° Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria (AAEA). Buenos Aires. <https://inta.gob.ar/eventos/51-reunion-anual-de-la-sociacion-argentina-de-economia-agraria>
- Capurro, J y Montico, S. (diciembre, 2020). Efecto de los cultivos de servicio sobre las pérdidas de agua y suelo por erosión hídrica. *Cuadernos del CURIHAM*, 26, 41:47. <https://cuadernosdelcuriham.unr.edu.ar/index.php/CURIHAM/issue/view/15/2>
- Casas, R. (Febrero 24, 2007). Cultivos de Cobertura: una agricultura sustentable. *Suplemento Campo. La Nación*. <http://www.lanacion.com.ar/economia/campo/cultivos-de-cobertura-una-alternativa-sustentable-nid886012/>
- Caviglia, O. (2020). Cultivos de servicios e intensificación. En E. Satorre (Coord.), *Sistemas productivos sostenibles*. CREA.
- Daryanto, S., Bojie, F., Wang, L., Pierre-André J. y Zhao, W. (2018). Quantitative synthesis on the ecosystem services of cover crops, *Earth-Science Reviews*, 185, 357-373. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.06.013>.
- Demicheli, J. (2012). La colza: un buen sustituto en tiempos difíciles para el trigo. *El blog de ADBlick Agro*. <https://blog.adblickagro.com/2012/05/la-colza-un-buen-sustituto-en-tiempos-dificiles-para-el-trigo/#.Yz14YHbMLct>
- Di Yenno, F., Ferrari, B., y Terré, E. (2022). La agroindustria explica 3 de cada 10 pesos de Valor Agregado que genera Santa Fe. Informativo Semanal de la Bolsa de Comercio de Rosario. <https://www.bcr.com.ar/es/print/pdf/no-de/92360>
- Engler, P. (2010). Márgenes económicos para planteos productivos de colza en Entre Ríos. *Actualización Técnica N° 1, cultivos de invierno 2010*, 137-141. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-mp-inta-mrgenes-economicos-para-planteos-productivos-colz.pdf>
- Farias, E. E. (2020). Cultivo de Cobertura: una alternativa de manejo sustentable, apuntando a la rentabilidad. [Tesis de grado Universidad Empresarial Siglo 21]. Repositorio Universidad Siglo 21. <https://repositorio.uesiglo21.edu.ar/bitstream/handle/ues21/21106/Trabajo%20Final%20de%20Grado%20-%20Farias%20Eugenio.%20-%20EUGENIO%20FARIAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Fernández, R., Quiroga, A., y Noellemeyer, E. (2012). Cultivos de cobertura, ¿una alternativa viable para la región semiárida pampeana? *Ciencia del suelo*, 30(2), 137-150. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672012000200001&lng=es&tln=es
- Flores, C. C. y 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 agriculturización en la Región Pampeana Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 105(1), 52-67. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15669/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Frank, R.G. (1998). *Evaluación de inversiones en la empresa agraria*. (1ra ed.). El Ateneo.
- Garbelini, L.G., Debiasi, H., Balbinot Junior, A.A., Franchini, J.C., Coelho, A.E. y Santos Telles, T. (2022). Diversified crop rotations increase the yield and economic efficiency of grain production systems. *European Journal of Agronomy*, 137, artículo 39 <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1161030122000764?token=6C86E1E95DA4A7C820508EA9F4AF592B204E1AB57E653C285F57C021A2D4559F1BEE1FB7645648B65535BE774561ACA0&originRegion=us-east-1&originCreation=20221005145602>
- Gardarin, A., Celette, F., Naudin, C., Piva, G., Valantin-Morison, M., Vrignon-Brenas, S., Verret, V. y Médiène, S. (2022). Intercropping with service crops provides multiple services in temperate arable systems: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, 39 <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00771-x>
- Hallama, M., Pekrun, C., Lamber, H. y Kandeler, E. (Enero 15, 2019). Hidden miners – the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. *Plant Soil*, 434: 7-45. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3810-7>
- INPOFOS (Instituto de la Potasa y el Fósforo). 2021. Manual internacional de fertilidad de suelos. Martínez Romero, A. y Leyva Galán, A. (2014). La biomasa de los cultivos en el ecosistema. Sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*, 35(1), 11-20. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000100002&lng=es&tln=es
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP). Sistema de estimaciones agrícolas. <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/>
- Principiano, M.A. y Acciaresi, H. (Agosto, 2018). Diversidad e intensidad de secuencias de cultivos: efecto ambiental y económico del control químico de malezas. *Revista de Tecnología Agropecuaria* 10(37): 33 - 37. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/3543/INTA_CRBsAsNorte_EEA_Pergamino_Principiano_Mart%3%adn_Diversidad_e_intensidad_de_secuencias_de_cultivos_efecto_ambiental_y_econ%3%b3micos_del_control_qu%3%admico_de_malezas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ReTAA (Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada). Cultivos de cobertura. Informe mensual N° 42. Dpto. Investigación y Prospectiva. Bolsa de Cereales. <https://www.bolsadecereales.com/imagenes/retaa/2021-03/220-retaaamensualnC2%BA42-cultivoscobertura.pdf>
- Revista Márgenes Agropecuarios. (Agosto, 2022). 38, 446.
- Ridley, N. (2012). Cultivos de cobertura en el sur de Santa Fe: Efectos sobre la eficiencia de barbecho y la porosidad del suelo. En C. Alvarez et al (Eds.), *Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción*. (1a ed., pp. 7-15) Ediciones INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_cultivos_de_cobertura_.pdf
- Rimski-Korsakov H, Álvarez, C. y Lavado, R.S. (Marzo, 2016). Cultivos de cobertura invernales en la región pampeana argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 21(15): 2-6. [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/896F229728DBAA7103257F8600550027/\\$FILE/IAH%2021%20-%20MAR%202016%20.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/896F229728DBAA7103257F8600550027/$FILE/IAH%2021%20-%20MAR%202016%20.pdf)
- Schipanski, M.E., Barbercheck, M., Douglas, M.R., Finney, D.M., Haider, K., Kaye, J.P., Kemanian, A.R., Mortensen, D.A., Ryan, M.R., Tooker, J. y White, C. (2014). A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agricultural Systems*, 125, 12-22 <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.11.004>.
- Spinuzzi, J., Montico, S. y Berardi, J. (2020). Aporte de carbono de cultivos de cobertura en un sistema agroecológico del sur de Santa Fe. En Muñoz, G.M.C & Montico, S. (Eds), *Sistema Integrado de Producciones Agroecológicas - SIPA: aportes para el manejo de la transición en agroecosistemas extensivos*. Fundación Ciencias Agrarias. Zavalla.

Zoni, G. (2020). Cultivos de Cobertura en “Don Luis S.H.” para una producción sustentable y rentable. [Tesis de grado Universidad Empresarial Siglo 21]. Repositorio Universidad Siglo 21 <https://repositorio.uesiglo21.edu.ar/handle/ues21/21580>

NOTAS

[i]No se consideró el nivel de nutrientes en el suelo estimado a partir de análisis de suelo.

[ii]No se consideran las emisiones de carbono al aire