ARTÍCULO CIENTÍFICO

Rivar
REVISTA IBEROAMERICANA DE VITICULTURA, AGROINDUSTRIA Y RURALIDAD

Editada por el Instituto de Estudios Avanzados de la Universidad de Santiago de Chile

VALORACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE SISTEMAS PRODUCTIVOS DE AGRICULTORES EMPRESARIALES EN LA PAMPA ARGENTINA

Sustainability assessment of farming systems for business farmers in the Argentine Pampas
Avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção agropecuária empresarial na Pampa Argentina

Cecilia Inés Pereyra
Universidad Nacional de Río Cuarto
Río Cuarto, Argentina
ORCID 0009-0006-0134-3576
cpereyra@ayv.unrc.edu.ar

Emiliano Javier Cahe
Universidad Nacional de Río Cuarto e ISTE CONICET
Río Cuarto, Argentina
ORCID 0000-0002-2967-2287
ecahe@ayv.unrc.edu.ar

Jorge Dante de Prada
Universidad Nacional de Río Cuarto
Río Cuarto, Argentina
ORCID 0000-0001-9732-0497
jdeprada@ayv.unrc.edu.ar

Horacio Gil
Universidad Nacional de Río Cuarto
Río Cuarto, Argentina
ORCID 0000-0003-0061-2392
hgil@ayv.unrc.edu.ar

Víctor Hugo Becerra
Universidad Nacional de Río Cuarto
Río Cuarto, Argentina
ORCID 0009-0000-0118-8023
vbecerra@ayv.unrc.edu.ar

Liliana Cristina Issaly
Universidad Nacional de Río Cuarto
Río Cuarto, Argentina
ORCID 0000-0002-9138-4083
lissaly@ayv.unrc.edu.ar

José Cisneros
Universidad Nacional de Río Cuarto
Río Cuarto, Argentina
ORCID 0000-0003-1035-7698
jcisneros@ayv.unrc.edu.ar

Catalina Bozzer
Universidad Nacional de Río Cuarto
Río Cuarto, Argentina
ORCID https://orcid.org/0000-0003-1927-3546
cbozzer@ayv.unrc.edu.ar

Volumen 13, número 41, 48-67, octubre 2026
ISSN 0719-4994

Artículo de investigación
https://doi.org/10.35588/cqc9r231

Recibido
8 de agosto de 2025

Aceptado
25 de noviembre de 2025

Publicado
13 de noviembre de 2026

Cómo citar
Pereyra, C.I, Cahe, E.J., De Prada, J.D., Gil, H., Becerra, V.H., Issaly, L.C., Cisneros, J. y Bozzer, C. (2026). Valoración de la sostenibilidad de sistemas productivos de agricultores empresariales en la Pampa Argentina. *RIVAR, 13*(41), 48-67. https://doi.org/10.35588/cqc9r231

CC BY

48

ABSTRACT
Agriculture demands diversified and resilient production systems. This paper evaluates three production ex-ante visions (V_I Trend; V_II Evergreen; V_III Regenerative) for a farmer-entrepreneur in Córdoba, Argentina. Using environmental (soil carbon flux, solar energy capture, rainfall distribution, environmental impact of agrochemicals), economic (net benefits, investments), and social (job creation, legacy value, quality of life) indicators, the visions are modeled by 2030. V_I constitutes the trend. V_II uses agricultural rotation with service crops. V_III proposes a long-term rotation incorporating livestock to regenerate the agroecosystem. The results in product equivalent (Mg Soy ha-1 yr-1) show net benefits of 1.36, 1.82, and 2.88; Agricultural capital is 41.87, 44.49, and 67.24; and the legacy value, with an opportunity cost of 4%, is 34.07, 45.42, and 71.92 in V_I, V_II, and V_III, respectively. V_III surpasses the V_I in all indicators, the V_II presents intermediate values, and both visions constitute opportunities to induce sustainable behaviors.

KEYWORDS
Regenerative agriculture, ex-ante valuation, Córdoba, Sustainability.

RESUMEN
La agricultura demanda sistemas de producción diversificados y resilientes. En este trabajo se modelizan y valoran ex ante tres visiones de producción (V_I Tendencial; V_II Siempre Verde; V_III Regenerativa) al año 2030, para un agricultor empresario de Córdoba, Argentina. Se emplean indicadores ambientales (flujo de carbono del suelo, captura de energía solar, distribución de precipitaciones, impacto ambiental de agroquímicos), económicos (beneficios netos, inversiones) y sociales (generación de empleo, valor de legado, calidad de vida). La V_I constituye la tendencia. La V_II utiliza una rotación agrícola junto a cultivos de servicios. La V_III plantea una rotación de largo plazo incorporando la ganadería para regenerar el agroecosistema. Los resultados en equivalente producto (Mg Soja ha^{-1} $año^{-1}$) muestran beneficios netos de 1,36; 1.82 y 2,88; el capital agrario es de 41,87, 44,49 y 67,24 y el valor de legado, con un costo de oportunidad del 4%, es de 34.07, 45.42 y 71,92; en las V_I, V_II y V_III respectivamente. La V_III supera a la V_I en todos los indicadores, la V_II presenta valores intermedios y ambas visiones constituyen oportunidades para inducir comportamientos sostenibles.

PALABRAS CLAVE
Agricultura regenerativa, valoración ex ante, Córdoba, sostenibilidad.

RESUMO
A agricultura exige sistemas de produção diversificados e resilientes. Este artigo avalia três visões de produção ex ante (V_I Tendência; V_II Sempre Verde; V_III Regenerativa) para um agricultor-empreendedor em Córdoba, Argentina. Utilizando indicadores ambientais (fluxo de carbono no solo, captura de energia solar, distribuição de chuvas, impacto ambiental de agroquímicos), econômicos (benefícios líquidos, investimentos) e sociais (criação de empregos, valor do legado, qualidade de vida), as visões são modeladas para 2030. V_I constitui a tendência. V_II utiliza rotação agrícola com culturas de serviço. V_III propõe uma rotação de longo prazo incorporando a pecuária para regenerar o agroecossistema. Os resultados em equivalente de produto (Mg Soja ha/ano) mostram benefícios líquidos de 1,36, 1,82 e 2,88; O capital agrícola é de 41,87, 44,49 e 67,24, e o valor legado, com custo de oportunidade de 4%, é de 34,07, 45,42 e 71,92; em V_I, V_II e V_III, respectivamente. V_III supera o V_I em todos os indicadores, o V_II apresenta valores intermediários e ambas as visões constituem oportunidades para induzir comportamentos sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE
Agricultura regenerativa, avaliação ex ante, Córdoba, sustentabilidade.

Introducción

La demanda mundial de alimentos está creciendo y se requiere pensar en estrategias que permitan aumentar la productividad agrícola sin intensificar la degradación ambiental. Las prácticas agrícolas aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero y la degradación de los ecosistemas, por lo que deberían transformarse contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 2030 (Nhemachena et al., 2018). Según Viana et al. (2022) la agricultura se relaciona con objetivos ambientales, como uso y calidad del agua (ODS 5, ODS 14); uso de la energía (ODS 6); la producción de gases efecto invernadero (ODS 13); degradación de tierras y cambios de uso del suelo (ODS 15). En la dimensión socio económica la agricultura tiene un rol preponderante en la reducción de la pobreza, la provisión de alimentos, la promoción de la salud humana, el trabajo decente, el crecimiento económico y la generación de hábitat urbanos resilientes (ODS 1, ODS 2, ODS 3, ODS 4, ODS 8, ODS 11, respectivamente) (Stephens et al., 2017).

Si bien muchos de los ODS vinculados a la agricultura están relacionados entre sí, las relaciones son de naturaleza diversa; algunos ODS son sinérgicos mientras otros son incompatibles. Los objetivos que promueven incrementos en la producción suelen ir en sentido contrario con aquellos referidos al cuidado del ambiente (Yang et al., 2020).

Estrategias diversificadas de producción pueden minimizar la compensación o tensión entre ODS, mejorando la sostenibilidad de la agricultura. Surgen visiones alternativas, con reducción en el uso de insumos externos y en el daño ambiental, cómo agricultura orgánica[1], agricultura climáticamente inteligente e intensificación sostenible (FAO, 2018). Este trabajo utilizó el enfoque de Agricultura regenerativa (AR) que prioriza la conservación del suelo con el objetivo de que se mejoren no solo las dimensiones ambientales, sino también las sociales y económicas (Lal, 2020).

La AR incluye principios de la agricultura de conservación (labranzas reducidas, manejo y aprovechamiento de los residuos, cultivos de cobertura, manejo integrado de plagas y nutrición balanceada), rotaciones más complejas, con la inclusión del pastoreo regenerativo y la integración del árbol. Mejora la fertilidad del suelo, el uso del agua de lluvia, la biodiversidad, la captura de carbono y la reducción del uso de agroquímicos (Lal, 2020).

1 Disponible en https://www.ifoam.bio/en/organic-land.

CC BY

En Argentina, la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa,[2] propone la agricultura Siempre Verde (ASV), íntimamente relacionada con la AR en sus prácticas. Los sistemas de producción mixtos y diversificados son reconocidos por sus virtudes económicas y ambientales, previo al proceso de especialización agrícola de fines del siglo XX y principios del siglo XXI (de Prada et al., 2003).

Estos modelos de producción diversificados son promovidos para resignificar la agenda de los ODS, siendo en Argentina elaborados a escala nacional o territorial, con un abordaje retrospectivo. En este trabajo consideramos que inducir un comportamiento diferente en los agricultores requiere de una visión prospectiva, que impulse las acciones hacia la imagen futura diseñada, creando una brecha o tensión creativa (Senge y Sterman, 1992). Reconociendo que existen propuestas de evaluación ambiental, social y económica, relacionadas a la sostenibilidad de los sistemas productivos agropecuarios y son escasas las propuestas o visiones para valorar el cumplimiento de los ODS a escala predial (Issaly et al., 2022).

El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo productivo predial que integre el diseño y la valoración de tres visiones competitivas de largo plazo (año 2030) para un agricultor empresarial representativo de la región pampeana central de Argentina mediante indicadores basados en los ODS.

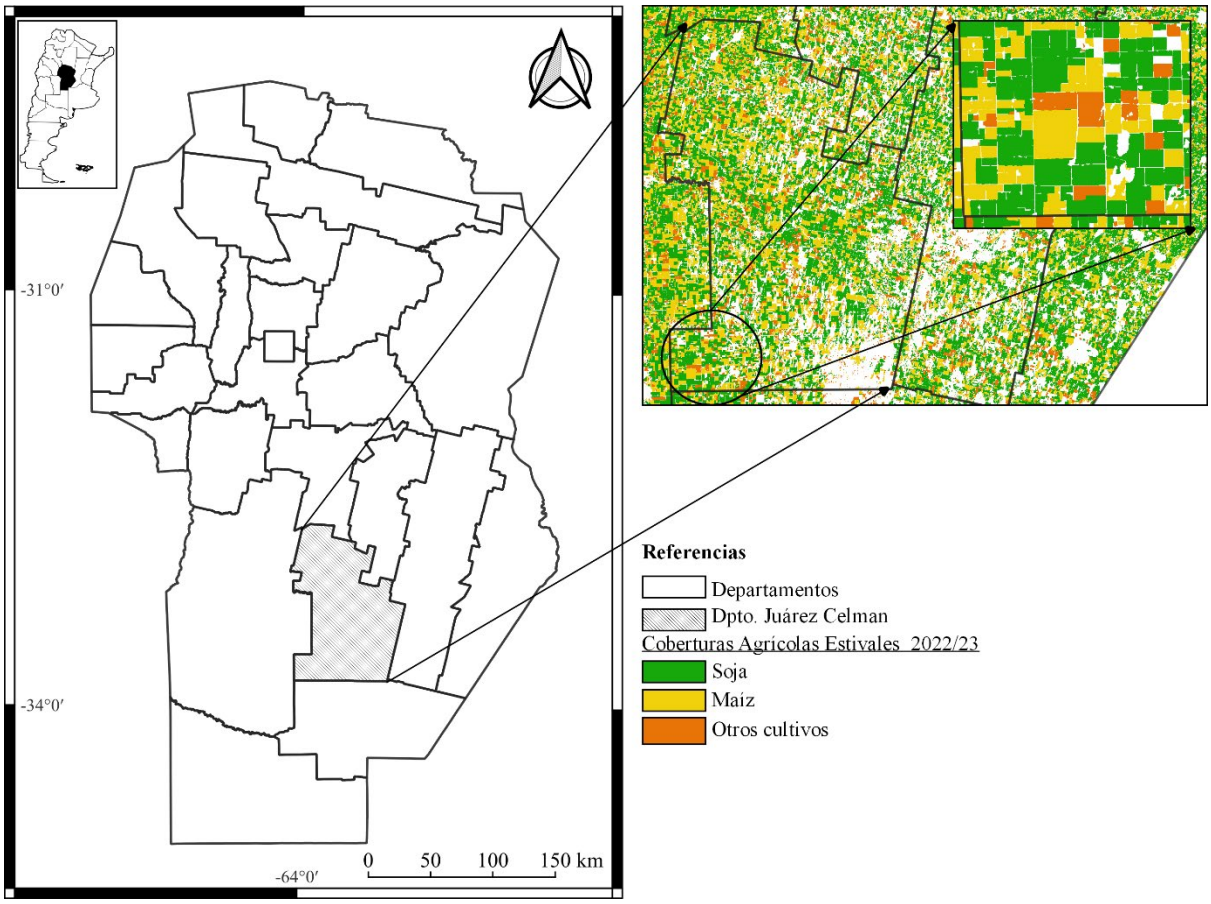
Materiales y métodos

Área de estudio

El área de análisis es el departamento Juárez Celman, Córdoba, Argentina (Figura 1). Se desarrolló un estudio de caso para un agricultor empresarial (Becerra et al., 2011) representativo de sistemas productivos de 2000 ha o más que usan el 51% de las tierras del departamento.

2 Disponible en https://www.aapresid.org.ar/blog/agricultura-siempre-verde-beneficios-y-desafios-de-mantener-suelos-vivos/.

Figura 1. Localización del área estudio: Juárez Celman, en Córdoba, Argentina
Figure 1. Location of study area: Juárez Celman, in Córdoba, Argentina



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

Diseño de las visiones de producción

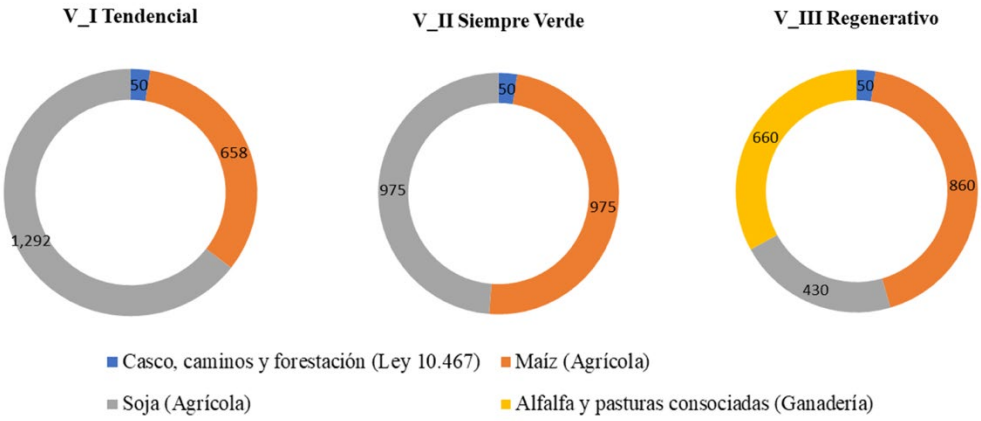
Se codiseñaron tres visiones de producción al año 2030. La distribución de uso del suelo en cada visión fue: 40 ha de forestación (Ley 10.467)[3] 10 ha de casco y caminos, y 1950 ha agrícola o ganadera (Figura 2). La Visión I, (V_I) «Tendencial», se diseña con datos del productor modal agrícola (Ghida Daza, 2020). La Visión II, (V_II) «Siempre Verde», incluye cultivos de cosecha y de servicio. Los parámetros para esta visión fueron brindados por informantes calificados de la zona y AAPRESID. La Visión III, (V_III) «Regenerativa», se diseña incorporando la ganadería bovina, ovina, y porcina, y una rotación de largo plazo sobre pasturas perennes. Esta visión propone la regeneración de los servicios ecosistémicos del suelo, utilizando infor-

3 En https://agricultura.cba.gov.ar/wp-content/uploads/PPA_LEY_10467.pdf.

RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 32-47 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

mación de sistemas ganaderos de la región[4]. Los rendimientos agrícolas se incrementan 5% respecto de la V_II, por efecto de la utilización de los efluentes porcinos (INTA, 2020).

Figura 2. Distribución de uso del suelo por visión de producción 2030
Figure 2. Land use distribution by vision production 2030



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

Evaluación integral de las visiones

Estimación de los indicadores ambientales

La fijación de energía solar, la captura de carbono en el suelo, y el ciclo del agua son considerados para el ODS 13, la diversidad productiva para el ODS 15, y el riesgo de contaminación por agroquímicos para el ODS 3.

La fijación de energía solar se estima con la biomasa aérea considerando índices de cosecha (Shen et al., 2021). El aporte de raíces se valora en porcentaje de la biomasa total para maíz, soja y cultivos de cobertura (Alvarez et al., 2017) y para alfalfa (Ghimire et al., 2014). La forestación es de eucaliptus (*Eucaliptus spp*), con un crecimiento medio de biomasa total de 27,2 Mg año^{-1} (idéntico en las tres visiones) y no existe aprovechamiento forestal. La captura de carbono en el suelo (en Mg C año^{-1}) se evalúa siguiendo a Hénin y Dupuis, (1945) (Tabla 1).

4 Disponible en https://www.youtube.com/watch?v=ijHzJGa19Io.

RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 32-47 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

Tabla 1. Balance de carbono
Table 1. Carbono balance

% MO inicial para calcular el balance	%	V_I Tendencial	V_II Siempre Verde	V_III Regenerativo
		2%		
Densidad aparente suelo	Mg m3	1.3		
Profundidad de análisis	m	0.2		
Índice de cosecha de maíz	%	48		
Índice de cosecha de soja	%	55		
Índice de cosecha de alfalfa	%	-	-	65
Índice de cosecha de centeno	%	-	30	25
Factor de de mineralización	%	4		
Factor de mineralización alfalfa consociada	%	2,5		
Factor de humificación de maíz	%	36		
Factor de humificación de soja	%	38		
Factor de humificación de centeno	%	-	40	40
Factor de humificación de alfalfa	%	-	-	35
Factor de humificación de estiércol	%	25		
Factor de humificación de forestación	%	50		
Raíces de la biomasa total de maíz	%	14	16	16
Raíces de la biomasa total de soja	%	8	10	10
Raíces de la biomasa total de centeno	%	-	13	16
Raíces de la biomasa total de alfalfa	%	-	-	25

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

En el ciclo del agua, los escurrimientos se calculan con el modelo de curva número (CN) (USDA-SCS, 1968) y las precipitaciones diarias de diez años. La evapotranspiración de los cultivos se estima con ETo Calculator (versión 3.1) y datos de coeficiente del cultivo (Kc) (Andriani, 2017) (Tabla 2).

Tabla 2. Ciclo del agua
Table 2. Water cycle

Precipitación promedio	mm año	V_I Tendencial	V_II Siempre Verde	V_III Regenerativo
		817		
Valor de curva número	-	87	78	75 (agrícola) 69 (pasturas)
Evapotranspiración de maíz	mm año	584		
Evapotranspiración de soja	mm año	413		
Evapotranspiración de centeno	mm año		100	100
Evapotranspiración de alfalfa	mm año			768
Evapotranspiración *Eucaliptus spp.*		845		
Evapotranspiración de maíz ponderada por superficie	mm año	197	292	258
Evapotranspiración de soja ponderada por superficie	mm año	274	207	91
Evapotranspiración de centeno ponderada por superficie	mm año	-	100	66
Evapotranspiración de alfalfa ponderada por superficie	mm año	-	-	260
Evapotranspiración de eucaliptus ponderada por superficie	mm año	17		

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

El impacto ambiental de agroquímicos se calcula con el cociente de impacto ambiental de agroquímicos (EIQ, por sus siglas en inglés) (Kovach et al., 1992) (Tabla 3). El consumo de agroquímicos se tomó de información de campo para cada visión.

Tabla 3. Gastos de operación por unidad, sin personal
Tabla 3. Operating expenses per unit, excluding personnel

Producto	Factor	V_I Tendencial	V_II Siempre Verde	V_III Regenerativo
Bovinos (Novillo)	$c Mg producido	-	-	177.727
Ovino (Cordero)	$c Mg producido	-	-	18.169
Porcino (Capón)	$c Mg producido	-	-	58.124
Maíz	$c Mg producido	10.069	9.322	7.598
Soja	$c Mg producido	9.404	7.422	7.950

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

CC BY
RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 32-47 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

Estimación de indicadores económicos y sociales

Los ODS 2 (Hambre Cero y Trabajo decente) y 8 (Crecimiento económico) guían el desarrollo de estos indicadores. Se utiliza el análisis beneficio-costo (Boardman et al., 2018) considerando los flujos reales de bienes y servicios valorados en términos monetarios y las necesidades de stock de capital para el flujo estabilizado al año 2030. El stock de capital incluye: tierras y mejoras, capital de explotación, capital de trabajo e inversiones en activos nominales (intangibles) (Tabla 4). La valoración de estos rubros se realiza a precios de mercado (revista *Márgenes Agropecuarios*, de mayo de 2021, e informantes). Los beneficios netos (BN) son estimados con un presupuesto global y consideran el valor bruto de la producción agropecuaria (VBPA) (Tablas 5 y 6) menos los gastos de operación (GO): salarios, insumos agrícolas, insumos ganaderos (terneros y reproductores, núcleos proteicos, sanidad), gastos de cosecha y comercialización (Tablas 3 y 4). Se usan precios constantes para valorar insumos y productos a mayo 2021 (media 5 años: 2016-2021) de Agroseries AACREA,[5] expresando también los valores en Equivalente Mg soja año^{-1} (Tabla 6).

Tabla 4. Inversiones
Table 4. Investments

Producto	Factor	V_I Tendencial	V_II Siempre Verde	V_III Regenerativo
Tierra libre de mejoras (2000 ha)	Eq. Mg soja/ha	38,9	38,9	38,9
Mejoras generales en monte forestal (40 ha)	Eq. Mg soja/ha	2,19	2,19	2,19
Mejoras generales en casa habitación	Eq. Mg soja/ m2	2,16 (45 m2)	2,16 (75 m2)	2,16 (345 m2)
Mejoras porcinas (600 cerdas madres)	Eq. Mg soja/ cerda			34,6
Mejoras bovinas y ovinas (1723 EV+900 EV)	Eq. Mg soja/EV			0,12
Maquinaria y equipo	Eq. Mg soja/ha	1,04	1,56	1,67
Hacienda bovina (1723 EV)	Eq. Mg soja/EV			2,47
Hacienda porcina (600 cerdas madres)	Eq. Mg soja/ cerda			5,02
Hacienda ovina (900 EV)	Eq. Mg soja/EV			3,22
Capital de trabajo	Eq. Mg soja/ha	1,82	3,14	7,53
Capital intangible	Eq. Mg soja/ha		0,74	3,07

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

5 Disponible en https://herramientas.crea.org.ar/agroseries-que-es/.

Tabla 5. Productividad por rubro
Table 5. Productivity by category

Producto	Factor	V_I Tendencial	V_II Siempre Verde	V_III Regenerativo
Maíz	kg ha-1	7000	10000	11000
Soja	kg ha-1	2500	4200	4410
Centeno	kg ha-1	-	3000	3000
Alfalfa	kg ha-1	-	-	12000
Bovinos	kg ha-1	-	-	376
Ovino	kg ha-1	-	-	918
Porcino	kg ha-1	-	-	76

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

Tabla 6. Precios de productos
Table 6. Product prices

Producto	Factor	V_I Tendencial	V_II Siempre Verde	V_III Regenerativo
Maíz	$c kg-1	13.8		
Soja	$c kg-1	23.1		
Bovinos (Novillo)	$c kg-1	133.3		
Ovino (Cordero)	$c kg-1	88.5		
Porcino (Capón)	$c kg-1	99.5		

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

Los requerimientos de puestos de trabajo son estimados por informantes calificados. Se considera también la disponibilidad de viviendas para los trabajadores. El valor de legado para la generación venidera (Boardman et al., 2018), se calcula con el valor de la empresa al 2030 (mediano y largo plazo) con costos de oportunidad del 2,5% y 4% (Castillo y Zhangallimbay, 2021).

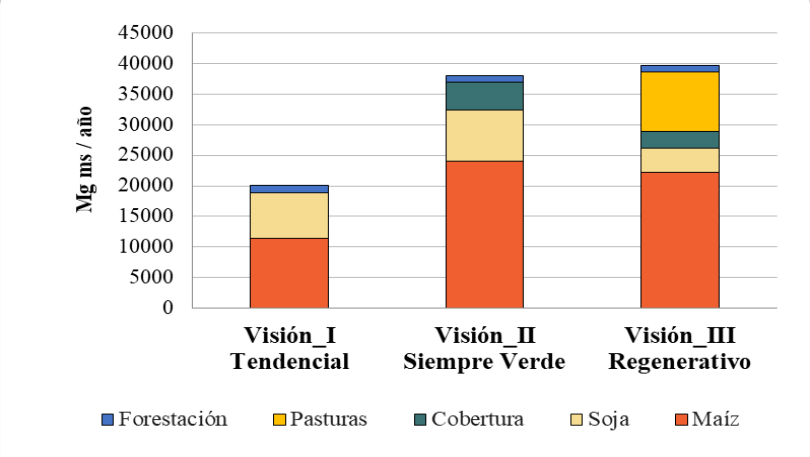
Resultados y discusión

Desempeño ambiental de las visiones

La V_III duplica y supera la captura de energía solar respecto de la V_I, y la V_II mejora en un 68% este indicador (Tabla 7). Los cultivos de servicios invernales, la intensificación agrícola y la relación equilibrada maíz-soja contribuyen a una mejor performance de las V_II y V_III. La inclusión de pasturas perennes y la relación 2:1 maíz-soja explican la mayor captura de energía en la V_III por sobre la V_II (Figura 3).

CC BY
RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 32-47 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

Figura 3. Captura de energía solar
Figure 3. Solar energy capture



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

La conservación del ecosistema es mayor en las V_II y V_III. En la V_III, las salidas de granos representan menos del 1% de la biomasa total y las salidas de productos ganaderos menos del 6%. El resto de la biomasa queda en el ecosistema para procesos internos, ya que la incorporación de consumidores primarios y técnicas de pastoreo intensivo permiten una distribución más homogénea de las excretas animales, mejorando el reciclado de nutrientes en el suelo. Esta mayor captura de energía solar tendrá efectos positivos en la reactivación de las cadenas tróficas del suelo (Bedano et al., 2019) y en el ciclo del agua (Teutscherova et al., 2021).

La mayor conservación del ecosistema y captura de energía solar se manifiestan en el flujo de carbono del suelo (Tabla 1). La V_I es la única que tiene valores negativos de flujo de carbono y la inclusión de árboles no llega a compensar las pérdidas. En tanto, en las V_II y V_III el flujo de carbono es positivo, siendo un 38% mayor en la V_III con respecto a la V_II.

Los resultados del balance de carbono son similares a otros trabajos. Para la V_I, (rotación 2:1 soja – maíz), el balance de -150 kg C ha^{-1} (-294 Mg C $año^{-1}$) es similar a lo obtenido para rotaciones agrícolas con mayor proporción de especies leguminosas (Díaz-Zorita et al., 2002). Este valor es 85% menor al identificado para la misma rotación por Díaz-Zorita et al. (2002) (280 kg C ha^{-1}) y 45% menor a lo hallado por Di Leo y Montico (2011) para un monocultivo de soja (280 kg C ha^{-1}). Para la V_II (rotación 1:1 soja – maíz, con centeno como cultivo de cobertura invernal), el balance de 666 kg C ha^{-1} (1.299 Mg C $año^{-1}$) es 20% mayor a lo hallado por Di Leo y Montico (2011) para la misma rotación. En la V_III el flujo de carbono es de 970 kg C ha^{-1} (1.891 Mg C $año^{-1}$). Este aumento se debe a una mayor producción primaria neta, un incremento

de la descomposición de los residuos orgánicos de los cultivos y del estiércol de los animales, mejora consistente con lo hallado por Piñeiro et al. (2010).

Tabla 7. Captura de energía solar, salidas de productos agropecuarios y excretas animales por visiones de producción
Table 7. Solar energy capture, agricultural product outputs and animal excreta by visions

Característica	Factor	V_I Tendencial	V_II Siempre Verde	V_III Regenerativa
Biomasa aérea total	Mg ms / año	19.683	33.076	41.503
Salidas granos	Mg ms / año	8.224	13.845	467
Flujo de carbono de suelo con forestación	Mg C / año	-22	1.571	2.163
Flujo de carbono de suelo sin forestación	Mg C / año	-294	1.299	1.891
Salidas PV animal	Mg / año	0	0	2.670
Entradas PV animal	Mg / año	0	0	380
Excretas animales	Mg / año	0	0	35.572

Donde PV: peso vivo y MS: materia seca. Fuente: elaboración propia. Where PV (LW): live weight and MS (DM): dry matter. Source: own elaboration.

La Tabla 8 señala la distribución de lluvia para un año normal de 817 mm en tres destinos: escurrimiento superficial, evapotranspiración y recarga de capa freática. La V_III es la que mejor aprovecha el agua con menos escurrimiento. Esta visión tiene un 30% más de evapotranspiración y casi la mitad de escurrimiento que V_I. La V_II tiene un comportamiento intermedio. Este hallazgo tiene implicancias muy importantes, porque en años húmedos (Fenómeno ENSO) en la V_I se producen dos externalidades negativas: anegamiento por elevación de la capa freática e inundaciones por escurrimiento superficial.

Estos fenómenos son crecientes en intensidad y frecuencia debido al cambio climático, pero las V_II y V_III ofrecen posibilidades para menguar estas externalidades. Esta mejora en el ciclo del agua para las V_II y V_III es consistente con lo dicho por Fernández et al. (2020).

Tabla 8. Uso y distribución de las precipitaciones por visión de producción
Table 8. Use and distribution of precipitation by vision

Precipitaciones	Factor	V_I Tendencial	V_II Siempre Verde	V_III Regenerativa
Escurrimientos	mm/año	225	155	122
Evapotranspiración	mm/año	488	616	692
Recarga de la freática	mm/año	104	46	3

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

CC BY
RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 32-47 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

En relación con la contaminación con agroquímicos, el cultivo que mayores valores de EIQ ha^{-1} mostró fue maíz en la V_I (Tabla 9), debido principalmente a la necesidad de utilizar herbicidas sistémicos residuales. Los valores de todos los cultivos en general están dentro de los rangos reportado por otros autores. Bitar et al. (2024) encontraron en rotaciones similares valores de EIQ ha^{-1} de 79.36 para soja de primera, 25,7 para trigo y 62,4 para maíz. Principiano y Acciaresi (2017) reportó valores de EIQ ha^{-1} para soja entre 129 y 186 y para maíz entre 88 y 123, dependiendo de las malezas presentes. Los valores dependen más de la secuencia de cultivos y de las malezas, por lo que es más importante el análisis por visión que por cultivo aislado (Principiano y Acciaresi, 2017; Bitar et al., 2024).

El riesgo de contaminación por agroquímicos es superior en la V_II, seguida por la V_I y luego la V_III (Tabla 9). Los mayores valores de la V_II se deben principalmente al secado químico de los cultivos de cobertura. Otros autores que utilizaron el secado mecánico y obtuvieron menores EIQ (Principiano y Acciaresi, 2017). Por su parte, la V_III tiene el mejor comportamiento y pastoreo, y la mayor diversidad colaboran con el control de malezas. Esto concuerda con Davis et al. (2012), en tanto los sistemas de producción diversificados redujeron 88% el uso de pesticidas.

Tabla 9. Superficie implantada y EIQ ha^{-1} por cultivo y EIQ Total según visión
Table 9. Planted area and EIQ ha^{-1} by crop and Total EIQ according to vision

Cultivos	V_I Tendencial			V_II Siempre Verde			V_III Regenerativa		
	Sup. (ha)	EIQ ha^{-1}	EIQ Total	Sup. (ha)	EIQ ha^{-1}	EIQ Total	Sup. (ha)	EIQ ha^{-1}	EIQ Total
Soja	1.292	70	90.853	975	47	45.956	430	47	20.268
Maíz	658	118	77.512	975	89	86.806	860	89	76.568
Verdeo	-	-	-	-	-	-	1.290	29	37.247
Cultivo de servicio	-	-	-	1.950	29	56.304	-	-	-
Alfalfa	-	-	-	-	-	-	660	14	9.381
Total por visión	-	86,3	16.8365	-	97	189.066	-	73,6	143.463

Donde EIQ: Environmental Impact Quotient. Fuente: elaboración propia. Where EIQ: Environmental Impact Quotient. Source: own elaboration.

Desempeño económico de las visiones

Los flujos económicos estabilizados de V_II y V_III muestran resultados muy superiores a la V_I, aunque los esfuerzos de inversión sean mayores para las mismas (Tabla 10). El VBPA de la V_III triplica y duplica al de la V_I y V_II respectivamente. El BN de la V_III es 115% mayor que el de la V_I y casi 60% superior al de la V_II. En tanto, el VBPA y el BN de la V_II superan en un 56% y en un 35% al de la V_I.

Tabla 10. Flujos económicos de las visiones de producción estabilizadas, año 2030
Table 10. Economic flows of stabilized production visions, year 2030

Flujo económico	Factor	V_I Tendencial	V_II Siempre Verde	V_III Regenerativa
VBPA	MM $c/año	147	229	480
GO	MM $c/año	84	145	348
BN	MM $c/año	63	84	133
Inversiones	MM $c	1.936	2.057	3.109
VBPA unitario	Eq. Mg. soja/ha	3,18	4,95	10,38
GO por unidad	Eq. Mg. soja/ha	1,82	3,14	7,53
BN por unidad	Eq. Mg. soja/ha	1,36	1,82	2,88

Donde VBPA: Balor Bruto de la Producción Agropecuaria, GO: Gastos Operación y BN: Beneficio Neto. Fuente: elaboración propia. Where VBPA: Gross Value of Agricultural Production, GO: Operating Expenses, and BN: Net Profit. Source: own elaboration.

Los BN aumentan al pasar de un sistema especializado en la producción de granos (V_I) a otros más integrados (V_II y V_III). El incremento del BN se debe al aumento de la producción global, sinergias en el uso de insumos agrícolas para la producción ganadera, y reducción de los gastos en fertilizantes. Esta relación positiva entre beneficios y diversificación coincide con lo planteado por Bell (2021).

Los BN unitarios estimados, 1,36, 1,82 y 2,88 Eq. Mg. Soja ha^{-1} para las 3 visiones, están en el rango inferior de los hallados por otros autores (Cabrini y Calcaterra, 2016; Ghida Daza et al., 2020). Hemos realizado un promedio ponderado de valores unitarios informados por los autores, y la comparación debe ser realizada con precaución. Para (Ghida Daza et al., 2020) en Marcos Juárez, Argentina, los resultados del modelo de producción de cultivos soja-maíz, en relación 1:1, tuvieron BN unitarios de 3 y 2,1 Eq. Mg. Soja ha^{-1}. En otra ciudad argeninta, eb Pergamino, el sistema soja-maíz (con una relación 1:1), y el mismo con el agregado de la ganadería en un 33% del área, obtuvo resultados de 4,6 y 3,6 Eq. Mg Soja ha^{-1}, respectivamente (Cabrini y Calcaterra, 2016).

Cabrini y Calcaterra (2016) indican que los BN se reducen al pasar de un sistema agrícola puro a uno mixto. Esto no coincide con los resultados de nuestro trabajo, en donde al pasar de una visión a otra, de la V_I (agrícola) a la V_II (sistema agrícola con cultivos de cobertura), y a la V_III (agrícola, bovino, porcino y ovino), los resultados económicos mejoran. Explicamos esta situación por el incremento en los niveles de integración y regeneración del sistema productivo.

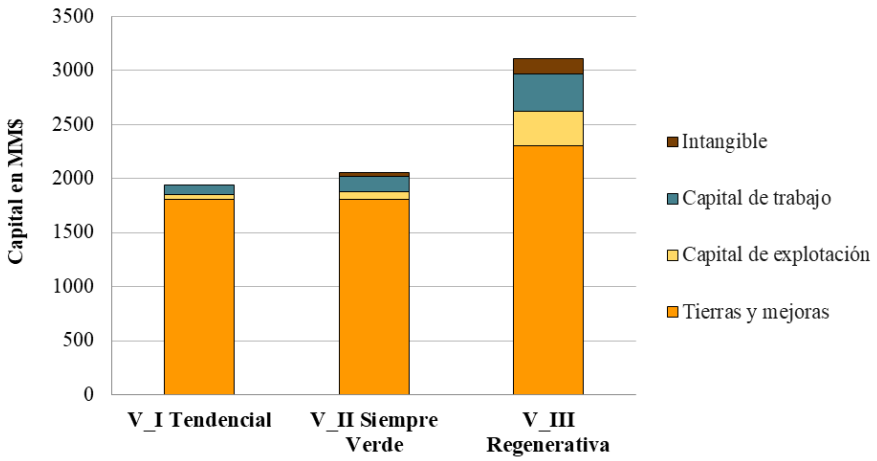
Las diferencias entre V_II y V_III se deben a que esta última visión incorpora la ganadería que al aportar nutrientes vía excretas animales reduce el gasto en fertilizantes. En síntesis, los resultados económicos están dentro del rango inferior de lo informado en la bibliografía y las visiones diseñadas superan a la tendencia.

CC BY
RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 32-47 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

Sin embargo, el esfuerzo económico para alcanzar la V_III es superior a las otras visiones. De hecho, las V_I y V_II requieren respectivamente un 38% y 34% menos de inversiones que la V_III (Tabla 10). El capital inmovilizado en tierra y mejoras en la V_III es mayor, como así también el capital de explotación y el capital de trabajo (Figura 4). Esta transición desde la V_I a la V_III, que exige un capital invertido mayor, muestra un comportamiento similar a lo hallado por Pacín y Oesterheld (2014), quienes destacan que la incorporación de la ganadería requiere más capital que un cultivo de cosecha.

Por último, las inversiones nominales en activos intangibles son superiores en la V_III, y constituyen un elemento fundamental para la implementación de la agricultura regenerativa. Los intangibles son prácticamente nulos en la V_I, ya que el agricultor hace lo que sabe hacer. Se necesita una inversión mayor en la V_II, dado que hay que ajustar las prácticas de manejo de los cultivos de servicio, considerando la variabilidad de las lluvias, el control de malezas, plagas y enfermedades. La inversión nominal es muy superior en la V_III (valorado en $MM 142) dado que se requiere de aprendizajes y ajustes en la capacidad de gestión para incorporar al equipo de trabajo los saberes y habilidades. Así se facilitaría la materialización de las inversiones, con menores gastos potenciales y pérdidas de ingresos hasta la maduración de los procesos productivos. Esta relación positiva entre el aumento de la intensificación y la necesidad de un cambio coincide con de Prada et al. (2021) para sistemas ganaderos alternativos.

Figura 4. Categorías de inversiones por visiones
Figure 4. Investment categories by vision



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

Desempeño social de las visiones

En la dimensión social, la V_III supera ampliamente a las V_I y V_II (Tabla 11). La generación de empleo alcanza a 20 puestos permanentes adicionales a la V_I, en tanto la V_II genera solo 2 puestos de trabajo adicionales. La V_III también crea mejores condiciones de trabajo en el medio rural, ya que se proyectan construir 345 m^2 de vivienda, versus 45 m^2 de la V_I y 75 m^2 de la V_II. La equidad entre generaciones es superior en la V_III. El valor de legado de esta visión casi duplica al de la V_I. La V_II tiene valores intermedios.

Tabla 11. Empleo genuino, vivienda rural y valor de legado por visiones de producción estabilizadas, año 2030
Table 11. Genuine employment, rural housing and legacy value by stabilized production visions, year 2030

Característica	Factor	V_I Tendencial	V_II Siempre Verde	V_III Regenerativa
Empleo permanente	Personas	3	5	23
Vivienda rural	m2	45	75	345
Valor de legado (1)	MM $c	2.520	3.360	5.320
Valor de legado (2)	MM $c	1.575	2.100	3.325

Nota: (1) y (2) son valores al año 2030, estimados con un costo de oportunidad del 2.5% y 4% respectivamente. Fuente: elaboración propia. Note: (1) and (2) are values for the year 2030, estimated using an opportunity cost of 2.5% and 4%, respectively. Source: own elaboration.

Si bien no existen referencias locales respecto a valor de legado, distintos autores coinciden en que la sostenibilidad económica, o viabilidad económica a largo plazo, se define como «la capacidad de una explotación para ser transferida a un sucesor» (Latruffe et al., 2016). Se puede concluir que la V_III es la que mejor garantiza la durabilidad económica del sistema de producción en el tiempo.

Conclusión

Se evaluaron ex ante tres visiones de producción (V_I; V_II y V_III) para un agricultor empresario del sur de Córdoba, Argentina. Las visiones se diseñan para el año 2030, con indicadores basados en los ODS y considerando distintas distribuciones de uso de la tierra, rotaciones y tecnologías que ofrecen otras posibilidades de producción a la tendencia.

La V_III mostró mejor desempeño ambiental. Presenta mayor fijación de energía solar, mejor aprovechamiento del ciclo del agua, reduce los efectos externos de escurrimientos hídricos y anegamientos al tener más cobertura de suelo y muestra un balance de carbono del suelo positivo. La V_III sustituye fertilizantes nitrogenados y fosforados, contribuyendo positivamente a mitigar los problemas vinculados al

CC BY
RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 32-47 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

ciclo de nitrógeno y fósforo. La V_II, tiene un comportamiento intermedio (excepto en el impacto por agroquímicos). Y, la V_I es la que peor desempeño ambiental mostró en general.

La V_III mostró mejor performance económica y social. Duplica el flujo de bienes y servicios de la V_I, genera más oportunidades de trabajo, más calidad de hábitat rural y un mayor valor de legado (equidad intergeneracional). Para estos indicadores la V_I obtuvo el peor desempeño y la V_II mostró un comportamiento intermedio. La magnitud de las inversiones necesarias fue menor para la V_I, seguida por la V_II y, por último, la V_III. Esta última visión requiere una inmovilización de capital muy superior para alcanzar el flujo de bienes y servicios económicos previstos.

Cabe señalar dos limitaciones. En primer lugar, el resultado económico y el valor de legado, dependen del flujo de beneficios netos, que se suponen estabilizados al 2030. Es probable que éstos se reduzcan en la V_I debido a la merma en la capacidad de regenerar los servicios ecosistémicos del suelo con pérdida de productividad y mayor demanda de insumos. En la V_II, probablemente la estimación de beneficios netos sea correcta ya que el balance de carbono es más cercano a una situación equilibrada. Y, en la V_III es posible que se haya subestimado el flujo económico, ya que no se captura la sinergia entre la rotación de largo plazo y el componente animal.

En segundo lugar, las V_II y V_III se diseñaron siguiendo modelos de presupuestos globales, sin optimización matemática o programación multicriterio, por lo que no existe una visión que sea 100% mejor que las otras en todos los indicadores. Será el productor el que decida qué modelo se ajusta mejor a sus expectativas.

Este estudio de caso muestra que es posible pensar ex ante modelos prediales que ayuden a los agricultores empresarios a diseñar sistemas de producción más diversificados a largo plazo y que resignifiquen los ODS en el medio rural.

Declaración de autoría (CRediT)

Cecilia Inés Pereyra: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software, validación, visualización y redacción – borrador original.

Emiliano Javier Cahe: Conceptualización, curación de datos, investigación, metodología, recursos, software, supervisión, visualización, redacción – borrador original y redacción – revisión y edición.

Jorge Dante de Prada: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software, supervisión, validación, visualización y redacción – borrador original.

Horacio Gil: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software, validación, visualización y redacción – borrador original.

Víctor Hugo Becerra: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software, validación, visualización y redacción – borrador original.

Liliana Cristina Issaly: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software, supervisión, validación, visualización, redacción – borrador original y redacción – revisión y edición.

José Cisneros: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software, validación, visualización y redacción – borrador original.

Catalina Bozzer: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software, supervisión, validación, visualización, redacción – borrador original y redacción – revisión y edición.

Referencias

Alvarez, R., Steinbach, H.S. y De Paepe, J. (2017). Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. Soil and Tillage Research, 170, 53-65. DOI 10.1016/j.still.2017.03.005

Andriani, J. (2017). *Coeficientes de cultivos para los principales cultivos extensivos de la Región Pampeana*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Argentina.

Becerra, V.H., Issaly, L.C., Ricotto, A., Bergamin, G. y Ryan, S. (2011). Agricultura familiar: Vulnerabilidad económica en la provincia de Córdoba (Argentina). *Cuadernos de Desarrollo Rural, 8*(67), 121-150.

Bedano, J.C., Vaquero, F., Domínguez, A., Rodríguez, M.P., Wall, L. y Lavelle, P. (2019). Earthworms contribute to ecosystem process in no-till systems with high crop rotation intensity in Argentina. *Acta Oecologica, 98*, 14-24. DOI 10.1016/j.actao.2019.05.003

Bell, L.W., Moore, A.D. y Thomas, D.T. (2021). Diversified crop-livestock farms are risk-efficient in the face of price and production variability. *Agricultural Systems, 189*, 103050. DOI 10.1016/j.agsy.2021.103050

RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 32-47 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

Bitar, M.V., Cabrini, S.M. y Urcola, H.A. (2024). Changes in productive, socio-economic, and environmental performance of field crop farming in the Argentine Pampas, 2007-2018. *Farming System, 2*(4), 100101. DOI 10.1016/j.farsys.2024.100101

Boardman, A., Greenberg, D., Vining, A. y Weime, D. (2018). *Cost-benefit Analysis: Concepts and Practice* (5.ª ed). Cambridge University Press. DOI 10.1017/9781108235594

Cabrini, S.M. y Calcaterra, C.P. (2016). Modeling economic-environmental decision making for agricultural land use in Argentinean Pampas. *Agricultural Systems, 143*,183-194. DOI 10.1016/j.agsy.2015.12.016

Castillo, J.G. y Zhangallimbay, D. (2021). The social discount rate in the evaluation of investment projects: an application for Ecuador. *CEPAL Rewiev,* (134), 75-93. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/1bc01bfa-cadb-4e36-8db3-6c4c8d04e678/content

Davis, A.S., Hill, J.D., Chase, C.A., Johanns, A.M. y Liebman, M. (2012). Increasing Cropping System Diversity Balances Productivity, Profitability and Environmental Health. *PLOS ONE, 7*(10), e47149. DOI 10.1371/journal.pone.0047149

De Prada, J.D., Bravo-Ureta, B. y Shah, F.A. (2003). Agricultural productivity and sustainability: evidence from low input farming in Argentina. *EconPapers*, (22115), 1-1-26. DOI 10.22004/ag.econ.22115

De Prada, J.D., Plevich, O.J., Peñafort, C.H., Anomale, M.V., Tello, D. y Gil, H. (2021). *Potencial económico de la ganadería en la regeneración de los servicios ecosistémicos en el bosque de Caldén, Argentina*. Instituto de Promoción de la Carne Vacuna Argentina.

Díaz-Zorita, M., Duarte, G.A. y Grove, J.H. (2002). A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research, 65*(1), 1-18. DOI 10.1016/S0167-1987(01)00274-4

Di Leo, N. y Montico, S. (2011). Sustentabilidad de diferentes modelos de uso de la tierra en unidades de paisaje de una cuenca del Sur de Santa Fe, Argentina. *Natura Neotropicalis, 42*(1-2), 22-43. DOI 10.14409/natura.v1i42.3890

FAO (2018). *Climate-smart Agriculture Case Studies 2018. Successful Approaches from Different Regions (Rome)*. FAO.

Fernández, R., Furch, N.E., Bissolino, M., Frasier, I., Scherger, E.D. y Quiroga, A.R. (2020). Efecto de las pasturas perennes en la fertilidad física y biológica en molisoles de la región semiárida pampeana. *Ciencia del Suelo, 38*(1), 133-148.

Ghida Daza, C., Issaly, C. y Pizarro, L. (2020). Monitoreo económico de los sistemas productivos predominantes del sector agropecuario de Córdoba. INTA. https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/12445#

Ghimire, R., Norton, J. B. y Pendall, E. . (2014). Alfalfa-grass biomass, soil organic carbon, and total nitrogen under different management approaches in an irrigated agroecosystem. *Plant and Soil, 374*, 173-184. DOI 10.1007/s11104-013-1854-2

Hénin, S. y Dupuis, M. (1945). Essai de bilan de la matière organique du sol. *Annales Agronomiques, 15,* 17-29.

INTA (2020). *Informe Ensayo de aplicación de efluentes porcinos en cultivo de maíz y soja (campaña 2018-2019)*. INTA, Ministerio de Producción y Trabajo, Grupo Rioseco y CAPPCOR. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/6966#

Issaly, L.C., Van Den Bosch, M.E., Wilson, M.G. y Calvi, M. (2022). *Utilización del método MESMIS en la evaluación de la sustentabilidad*. INTA. http://hdl.handle.net/20.500.12123/13111

Kovach, J., Petzoldt, C., Degnil, J. y Tette, J. (1992). A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin, 139*, 1-8. https://hdl.handle.net/1813/55750

Lal, R. (2020). Regenerative agriculture for food and climate. *Journal of Soil and Water Conservation, 75*(5), 123A.

Latruffe, L., Diazabakana, A. y Bockstaller, C. (2016). Measurement of sustainability in agriculture: A review of indicators. *Studies in Agricultural Economics, 118,* 123-130. DOI 10.7896/j.1624

Nhemachena, C., Matchaya, G., Nhemachena, C.R., Karuaihe, S., Muchara, B. y Nhlengethwa, S. (2018). Measuring baseline agriculture-related sustainable development goals index for Southern Africa. *Sustainability, 10*(3), 849. DOI 10.3390/su10030849

Pacín, F. y Oesterheld, M. (2014). In-farm diversity stabilizes return on capital in Argentine agro-ecosystems. *Agricultural Systems, 124*, 51-59. DOI 10.1016/j.agsy.2013.10.008

Piñeiro, G., Paruelo, J., Oesterheld, M., Gampel, J. y Gabriel, E. (2010). Pathways of grazing effects on soil organic carbon and nitrogen. *Rangeland Ecology and Management, 63*(1), 109-119. DOI 10.2111/08-255.1

CC BY

Principiano, M. y Acciaresi, H. (2017). Costo financiero e impacto ambiental del control de malezas en diferentes secuencias de cultivos en el NO de la provincia de Buenos Aires. *RTA Revista de Tecnología Agropecuaria, 10*(34), 37-41.

Senge, P.M. y Sterman, J. (1992). Systems thinking and organizational learning: Acting locally and thinking globally in the organization of the future. *European Journal of Operational Research, 59*(1), 37-150. DOI 10.1016/0377-2217(92)90011-W

Shen, Y., Zhang, T., Cui, J., Chen, S., Han, H. y Ning, T. (2021). Subsoiling increases aggregate-associated organic carbon, dry matter, and maize yield on the North China Plain. *PeerJ, 9*, e11099. DOI 10.7717/peerj.11099

Stephens, E., Jones, A. y Parsons, D. (2017). Agricultural systems research and global food security in the 21st century: An overview and roadmap for future opportunities. *Agricultural Systems, 163*, 1-6. DOI 10.1016/j.agsy.2017.01.011

Teutscherova, N., Vázquez, E. y Sotelo, M. (2021). Intensive short-duration rotational grazing is associated with improved soil quality within one year after establishment in Colombia. *Applied Soil Ecology, 159*, 103835. DOI 10.1016/j.apsoil.2020.103835

USDA-SCS (1968). *A Method for Estimating Volume and Rate of Runoff in Small Watershed*. U. S. Department of Agriculture-Soil Conservation Service. http://54.243.252.9/ce-3354-webroot/3-Readings/NRCS-CN-TP149/methodforestimat149kent.pdf

Viana, C.M., Freire, D., Abrantes, P., Rocha, J. y Pereira, P. (2022). Agricultural land systems importance for supporting food security and sustainable development goals: A systematic review. *Science of The Total Environment, 806*, 150718. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.150718

Yang, S., Zhao, W., Liu, Y., Cherubini, F., Fu, B., Pereira, P. (2020). Prioritizing sustainable development goals and linking them to ecosystem services: A global expert's knowledge evaluation. *Geography and Sustainability, 1*(4), 321-330. DOI 10.1016/j.geosus.2020.09.004