

Oportunidades y limitantes para seguir una trayectoria de intensificación sostenible en la región pampeana argentina

Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias

Priscila Belén Cano

Ingeniera Agrónoma - Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires
- 2017

Lugar de trabajo: Centro de Investigación de Economía y Prospectiva (CIEP) - INTA



FAUBA

Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires



COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

Santiago Luis Poggio

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

Co-directora

María Silvina Cabrini

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctorado en Economía Agrícola y del Consumidor (University of Illinois at Urbana-Champaign)

Consejero de Estudios

Diego Omar Ferraro

Ingeniero agrónomo (UBA)

Doctor en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

JURADO DE TESIS

JURADO

Marcos Gallacher

Ingeniero agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor (University of Kentucky)

JURADO

Patricia Beatriz Lombardo

Ingeniera agrónoma (Universidad Nacional de Mar del Plata)

Doctora (Universidad de Buenos Aires)

JURADO

José María Paruelo

Ingeniero agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor (Colorado State University)

Agradecimientos:

En primer lugar, quiero agradecer a mis directores, Silvina y Santiago, por la paciencia y confianza que tuvieron en mí desde el primer día. Gracias por enseñarme tanto y guiarme en estos años.

A mis papás, por siempre estar ahí, brindándome cariño y apoyándome en todas mis decisiones.

A mi hermana por ser una gran compañera.

A la Facultad de Agronomía de la UBA, por la calidad formativa.

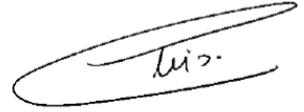
A la Comisión de Investigaciones científicas de la provincia de Buenos Aires por financiar mi estudio.

A mis compañeros de trabajo de INTA CIEP por su apoyo en el último año de la tesis.

Finalmente, un agradecimiento que no tiene un nombre, pero que es para todas las personas que, en algún momento de duda colaboraron para que esto saliera adelante.

¡Gracias a todos!

“Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.”

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, horizontal, oval-shaped flourish. The signature itself is cursive and appears to read "Priscila".

Priscila Belén Cano

Publicaciones derivadas de la tesis:

Cano, P. B., Cabrini, S. M., Peper, A. M., & Poggio, S. L. (2023). Multi-criteria assessment of cropping systems for the sustainable intensification in the Pampas. *Agricultural Systems*, 210, 103723.

INDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1.	Intensificación agrícola.....	2
1.2.	Intensificación agrícola en la región pampeana argentina.....	3
1.3.	Hacia una intensificación sostenible de la actividad agropecuaria	4
1.4.	Prácticas de intensificación agrícola sostenible	5
1.5.	La intensificación sostenible de la agricultura pampeana.....	7
1.6.	Esquema de la tesis	10
1.7.	Objetivo general.....	12
1.8.	Objetivos específicos.....	12
1.9.	Hipótesis.....	12
2.	EVALUACIÓN MULTICRITERIO DE SISTEMAS AGRÍCOLAS PARA LA INTENSIFICACIÓN SOSTENIBLE EN LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA.....	14
2.1	Introducción	15
2.2	Materiales y métodos	18
2.2.1	Criterios evaluados en el experimento de campo durante cinco campañas agrícolas20	
2.2.2	Ponderación de los criterios	22
2.2.3	Análisis multicriterio	23
2.3	Resultados	25
2.3.1	Vectores de peso.....	25
2.3.2	Matriz de decisión.....	27
2.3.3	Clasificación de los sistemas agrícolas en PROMETHEE	30
2.3.4	Contribución de los criterios al desempeño de los sistemas agrícolas.	31
2.3.5	Compensaciones y sinergias entre criterios.....	36
2.4	Discusión	39
2.4.1	Secuencias de cultivo	39
2.4.2	Comparación entre manejos intensivos y convencionales	42
2.4.3	Análisis de cultivos de cobertura	43
2.5	Conclusión	45

3. VARIABILIDAD ESPACIOTEMPORAL DE LAS SECUENCIAS DE CULTIVOS Y SU RELACIÓN CON VARIABLES FÍSICAS DEL SUELO EN LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA	46
3.1. Introducción	47
3.2. Materiales y métodos	49
3.3. Delimitación de las unidades de uso de la tierra.....	50
3.3.1. Segmentos aleatorios.....	51
3.3.2. Uso del suelo.....	52
3.3.3. Extracción de la secuencia de cultivos	52
3.3.4. Representatividad de los segmentos aleatorios para estimar secuencias de cultivos 53	
3.3.5. Relación entre las secuencias de cultivos con la capacidad de uso del suelo	53
3.3.6. Relación entre las secuencias de cultivos con el índice de productividad.	54
3.3.7. Relación entre las secuencias de cultivos con la erosión hídrica potencial. ..	55
3.4. Resultados	56
3.5. Discusión	63
3.6. Conclusiones	64
4. LA TOMA DE DECISIONES SOBRE LA DIVERSIFICACIÓN DE LAS SECUENCIAS DE CULTIVOS EN LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA	66
4.1. Introducción	67
4.2. Métodos	70
4.2.1. Área de estudio	70
4.2.2. Metodología de muestreo	71
4.2.3. Encuesta.....	72
4.2.4. Nivel de diversificación de la producción.....	73
4.2.5. Modelo estadístico Probit.....	73
4.2.6. Caracterización de las empresas agrícolas y los productores	75
4.2.7. Objetivos y limitaciones de los decisores.....	76
4.3. Resultados	77
4.3.1. Usos de la tierra	78
4.3.2. Objetivos y limitaciones relevantes en las decisiones del uso de la tierra	80
4.4. Discusión	86
4.4.1. Tamaño de la unidad productiva	87
4.4.2. Tenencia de la tierra	88
4.4.3. Localización de la unidad productiva	88

4.4.4.	Actividad pecuaria.....	89
4.4.5.	Experiencia en la actividad agrícola	89
4.4.6.	Objetivos del productor al decidir el uso de la tierra agrícola.	90
4.4.7.	Limitaciones del productor a la hora de decidir el uso de la tierra agrícola. .	91
4.5.	Conclusiones	91
5.	DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES FINALES	93
5.1.	Contexto del análisis abordado	94
5.2.	Objetivos de la tesis	95
5.3.	Hipótesis y principales resultados	95
5.4.	Aportes de la tesis en relación con trabajos previos.....	97
5.5.	Debilidades de la tesis	98
5.6.	Relación entre los objetivos de la tesis	99
5.7.	Conclusiones finales	101
6.	BIBLIOGRAFÍA	103
7.	Anexos	119
7.1.	Anexo 1. Detalle de los parámetros utilizados en el cálculo de los criterios.....	119
7.1.1.	Margen bruto	119
7.1.2.	Aporte económico por derecho a la exportación	119
7.1.3.	Balance de carbono del suelo	120
7.1.4.	Impacto ambiental por uso de plaguicidas	120
7.2.	Anexo 2. Análisis de sensibilidad.....	120
7.2.1.	Intervalo de estabilidad de peso para el perfil de decisión orientado a la producción.....	122
7.2.2.	Intervalo de estabilidad de peso para el perfil de decisión ambiental.	123
7.2.3.	Anexo 3. Encuesta	124

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Sistemas agrícolas evaluados	19
Cuadro 2. Descripción de los criterios económicos, socioeconómicos y ambientales utilizados en el análisis.	21
Cuadro 3. Dirección del objetivo y peso asignado a cada criterio en la metodología PROMETHEE.....	26
Cuadro 4. Resultado de los indicadores evaluados para cada sistema agrícola. Cada criterio se expresa como la suma de las campañas agrícolas 2015/2016; 2016/2017; 2017/2018; 2018/2019 y 2019/2020.	28
Cuadro 5. Resultado de los indicadores evaluados para cada sistema agrícola. Cada criterio se expresa como la suma de las campañas agrícolas 2015/2016; 2016/2017; 2017/2018; 2018/2019 y 2019/2020.	29
Cuadro 6. Comparación de la proporción de superficie de cada secuencia de cultivos Junín y Pergamino estimado en base a segmentos aleatorios y en toda la superficie del partido para las campañas 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021.	57
Cuadro 7. Proporción de superficie asignada a cada secuencia de cultivos obtenida en base a segmentos aleatorios para cada partido de la cuenca del río Arrecifes en las campañas 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021.....	60
Cuadro 8. Clases de uso de suelo y su proporción de secuencias de cultivos en base a segmentos aleatorios en la cuenca del río Arrecifes durante las campañas 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021.	61
Cuadro 9. Índice de productividad y su proporción de secuencias de cultivos en base a segmentos aleatorios en la cuenca del río Arrecifes durante las campañas 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021.	62
Cuadro 10. Erosión hídrica potencial y su proporción de secuencias de cultivos en base a segmentos aleatorios en la cuenca del río Arrecifes durante las campañas 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021.	63
Cuadro 11. Variables utilizadas para caracterizar los establecimientos agropecuarios y sus responsables, relevadas de una encuesta productores de la cuenca del río Arrecifes.	75
Cuadro 12. Estadísticas descriptivas de las características de los productores de la cuenca del río Arrecifes encuestados y sus empresas agropecuarias.....	77
Cuadro 13. Odds ratios y prueba de χ^2 para la independencia entre objetivos y diversificación.	81

Cuadro 14. Odds ratios y prueba de Chi^2 para la independencia entre limitaciones y diversificación.	82
Cuadro 15. Coeficientes estimados del modelo Probit para la posibilidad de elegir un mayor nivel de diversificación como variable respuesta.	84
Cuadro 16. Efecto marginal para las características de la unidad productiva y del decisor.	85

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. La región pampeana y sus sub-regiones en la provincia de Buenos Aires (adaptado de Chaneton 2006).	3
Figura 2. Cuenca del río Arrecifes.	10
Figura 3. El diagrama de flujo de los sistemas agrícolas para el perfil de decisión orientado a la producción (A) y el diagrama de flujo de los sistemas agrícolas para el perfil de decisión orientado al ambiente (B) considerando los valores de los criterios y la ponderación.	31
Figura 4. Incidencia de los indicadores evaluados al flujo positivo o negativo de cada sistema agrícola para el perfil de decisión orientado a la producción. Error! Bookmark not defined.	
Figura 5. Incidencia de los indicadores evaluados al flujo positivo o negativo de cada sistema agrícola para el perfil de decisión ambiental. Error! Bookmark not defined.	
Figura 6. Plan GAIA (Análisis Geométrico para Ayudas Interactivas), para el perfil de decisión orientado a la producción considerando los valores de los criterios y la ponderación.	37
Figura 7. Plan GAIA (Análisis Geométrico para Ayudas Interactivas), para el perfil de decisión ambiental considerando los valores de los criterios y la ponderación.	38
Figura 8. Lotes delimitados en los partidos de Junín y Pergamino, ubicados dentro de la cuenca del río Arrecifes.	50
Figura 9. Segmentos aleatorios en los partidos de la cuenca del río Arrecifes determinados por el Ministerio de Agroindustria de la Nación.	52
Figura 10. Capacidad de uso del suelo en la cuenca del río Arrecifes.	54
Figura 11. Regresión lineal entre los porcentajes de superficie de cada secuencia de cultivos determinados considerando todos los lotes de los partidos Junín y Pergamino, con los valores estimados considerando los lotes dentro de los segmentos correspondientes a los mismos partidos.	58
Figura 13. Agrupación por ubicación de los partidos en la cuenca del río Arrecifes.	70
Figura 14. Cuartiles de la superficie agrícola manejada (ha) de los agricultores para los tres grupos de partidos de la cuenca del río Arrecifes.	72
Figura 15. Frecuencia relativa acumulada del índice de concentración de Herfindahl-Hirschman (HH) para uso del suelo en la cuenta del río Arrecifes, durante las campañas 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020.	79

Figura 16. Porcentaje de productores que eligió cada objetivo dentro de los tres más relevantes a la hora de decidir el uso de la tierra agrícola.	80
Figura 17. Porcentaje de productores que eligió cada limitación como la principal a la hora de decidir el uso de la tierra agrícola.....	82
Figura 18. Orden de las secuencias en base a su alineación a la trayectoria de intensificación sostenible, su proporción en la cuenca del río Arrecifes (en relación con los colores) y características de la unidad productiva y del decisor que se asociadas.	101

Resumen

Oportunidades y limitantes para seguir una trayectoria de intensificación sostenible en la región pampeana argentina

Los sistemas agrícolas simplificados son actualmente cuestionados por la sociedad a nivel mundial debido a sus impactos ambientales. Por esta razón, la transformación de los sistemas agrícolas hacia trayectorias de intensificación sostenible es ineludible. El objetivo de esta tesis fue evaluar las oportunidades y las limitantes principales para implementar trayectorias de intensificación sostenible en la región pampeana argentina. Se compararon sistemas agrícolas con un enfoque integral basado en criterios múltiples, incorporando dimensiones económicas y ambientales, así como información sobre la relevancia percibida por las partes interesadas de estas dimensiones para encontrar los sistemas más alineados con la trayectoria de intensificación sostenible. Luego, se evaluó la diversidad de secuencias de cultivos existentes y se analizó su relación con características físicas del suelo. Finalmente, se analizaron los factores que influyen en la toma de decisiones de los productores sobre la decisión de diversificar o no las secuencias de cultivos. Los resultados muestran que la secuencia de cultivos soja-maíz-trigo/soja, conocida como rotación de tercios, fue identificada como la mejor alternativa para la región de estudio. Estos resultados amplían la evidencia que apoya la solidez de la rotación de tercios en la región pampeana. La adopción de cultivos de cobertura se encuentra en un conflicto entre beneficios ambientales e impacto económico. Un 35 % del área de estudio está ocupada por la secuencia soja-maíz-trigo/soja. Es interesante destacar que la elección de secuencias no está relacionada con variables físicas del suelo. Observamos relación entre la probabilidad de decisión de diversificar las secuencias de cultivos y características de la unidad productiva y del decisor. Esta tesis enfatiza la importancia de analizar de manera integral los sistemas agrícolas.

Palabras clave: secuencias de cultivos, toma de decisión, intensificación agrícola, evaluación integral, sostenibilidad, PROMETHEE.

Abstract
Opportunities and constraints to follow a sustainable intensification path in the Pampas region of Argentina.

Current simplified agricultural systems are questioned by society worldwide due to their environmental impacts. For this reason, the transformation of agricultural systems towards sustainable intensification trajectories is unavoidable. The objective of this thesis was to evaluate the main opportunities and constraints to implement sustainable intensification trajectories in the Argentine Pampas region. Agricultural systems were compared with an integrated approach based on multiple criteria, incorporating economic and environmental dimensions, as well as information on the relevance perceived by stakeholders of these dimensions to find the systems most aligned with the sustainable intensification trajectory. Finally, the factors influencing farmers' decision making on whether or not to diversify crop sequences were analyzed. Results show that soybean-corn-wheat-soybean sequence, known as rotation of thirds, was identified as the best alternative for the study region. These results expand the evidence that supports the solidity of rotation of thirds in the Pampas region. The adoption of cover crops is in a conflict between environmental benefits and economic impact. 35% of the study area is occupied by the soybean-corn-wheat/soybean sequence. It is interesting to note that the choice of sequences not related to physical soil variables. We observed a relationship between the probability of decision to diversify crop sequences and characteristics of the productive unit and the decision maker. This thesis emphasizes the importance of a comprehensive analysis of agricultural systems.

Key words: crop sequences, decision making, agricultural intensification, integral evaluation, sustainability, PROMETHEE.

-CAPÍTULO 1-

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Intensificación agrícola

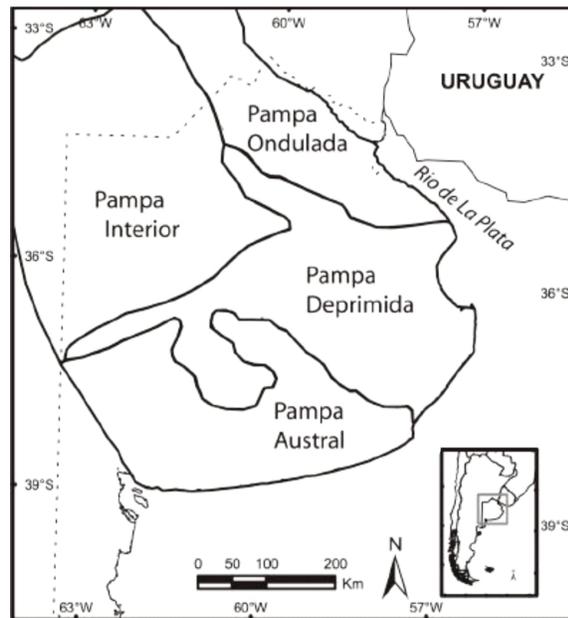
La humanidad comenzó a integrar la agricultura en su forma de vida en el período Neolítico (Maroto Borrego 2014). Los agricultores, durante milenios domesticaron plantas silvestres, las seleccionaron y las reprodujeron de acuerdo con las características que les interesaban, como los rendimientos más elevados, determinados atributos de calidad, la mayor resistencia a las enfermedades y a la sequía (Collette 2011). Además, utilizaron diferentes prácticas para conservar el suelo, distribuir el agua a sus campos, fertilizar y combatir las plagas (Collette 2011). Por lo tanto, desde sus comienzos la agricultura puede percibirse como un largo proceso de intensificación, es decir un aumento en la producción por unidad de insumo (tierra, mano de obra, tiempo, fertilizante, semilla) o mantener la producción con menos insumo (Kenmore et al. 2004).

En el siglo XX se dio la llamada “Revolución Verde”. Con ella surge un cambio de paradigma a partir del rápido desarrollo y la adopción de nuevas tecnologías en la agricultura y especialmente en la producción de cultivos, con énfasis en el uso combinado de variedades de alto rendimiento, fertilizantes minerales y productos químicos (Struik y Kuyper 2017). La “Revolución Verde” produjo un aumento significativo en la producción de granos a nivel mundial (Pretty 2018). Sin embargo, los diferentes tipos y niveles de intensificación también produjeron externalidades negativas como la degradación de la fertilidad del suelo, la salinización de las zonas de regadío, el agotamiento de las aguas subterráneas, el aumento de la resistencia a las plagas y las malezas y la pérdida de biodiversidad (Tilman et al. 2002).

1.2. Intensificación agrícola en la región pampeana argentina

La región pampeana argentina es una gran llanura de más de 50 millones de hectáreas ubicada en la parte centro-oriental del país. Esta región tiene suelos muy fértiles desarrollados a partir de sedimentos profundos de loess. El clima es templado-húmedo con una precipitación media anual que oscila entre los 1000 mm en el oriente y los 800 mm en el occidente. La Pampa argentina se puede dividir en Pampa Ondulada, Pampa Central, Pampa Inundada, Pampa Meridional y Pampa Mesopotámica según los patrones del suelo, las precipitaciones o la biodiversidad (León et al. 1984).

Figura 1. La región pampeana y sus sub-regiones en la provincia de Buenos Aires (adaptado de León et al. 1984).



Las Pampas de Argentina tuvieron pastizales nativos hasta 1920. Luego, las rotaciones de cultivos extensivos y ganado de bajos insumos prevalecieron hasta mediados de la década de 1970 (Solbrig 1997). Los principales cultivos fueron trigo, lino, girasol y

maíz en secano y pasto de alfalfa para la producción de carne y leche (Cascardo et al. 1991). A partir de 1980 se produjo una rápida expansión de la agricultura, con un notable avance de la soja sobre el resto de los cultivos (Viglizzo et al. 2011; Satorre 2005). Desde la década de 1990, el surgimiento de variedades de soja transgénica resistentes al glifosato ha favorecido el crecimiento significativo de la producción de este cultivo, basado en un manejo sencillo, bajo labranza cero, con bajos costos y altos niveles de tasa de retorno (Satorre y Andrade 2021; Cabrini y Calcaterra 2016). Las secuencias de cultivo simplificadas, con un alto predominio de la soja, se asocian a diferentes problemas ambientales (Wingeyer et al. 2015).

1.3. Hacia una intensificación sostenible de la actividad agropecuaria

Los sistemas agropecuarios actuales enfrentan numerosas críticas de la sociedad en distintos ámbitos, los que abarcan desde los niveles locales y regionales, hasta nacionales e incluso globales (Foley et al. 2011; Cabrini et al. 2018). Los reclamos se basan en la aspiración de que los sistemas agropecuarios, por un lado, generen suficientes alimentos de calidad, fibras y combustibles accesibles a todos los niveles sociales (Pretty et al. 2018). Por otro lado, la sociedad también exige que la producción se realice con bajo impacto ambiental y que sus contribuciones sociales y culturales sean positivas (Pretty et al. 2018). Ante este escenario, el enfoque de intensificación sostenible propone explorar las sinergias entre la producción y la sostenibilidad.

La intensificación sostenible se define como el incremento de la producción a partir del uso más eficiente de los recursos, al tiempo que se reducen los efectos negativos para el ambiente y se aumentan las contribuciones relacionadas con el cuidado del capital natural y la provisión de servicios ambientales (Godfray et al. 2010; FAO 2011; Pretty et al. 2011). El

término intensificación sostenible es abierto. Enfatiza claramente los resultados esperados, más que la definición de formas concretas de cómo alcanzar los objetivos relacionados (Garnett y Godfray 2012; Pretty et al. 2018). La intensificación sostenible se aplica a empresas de cualquier tamaño sin predeterminedar los tipos de tecnologías y formas producción o componentes de diseño particulares (Pretty et al. 2018).

Actualmente, hay un consenso general sobre la necesidad de considerar los aspectos ambientales y sociales de la producción agropecuaria, junto con los resultados productivos y económicos relacionados con el diseño y la evaluación de actividades agrícolas (Doré et al. 2011; Tiftonell 2014; Pretty et al. 2018). Sin embargo, hay posiciones dispares sobre la definición de cuáles son los sistemas productivos más apropiados para alcanzar altos niveles de intensificación agrícola de manera sostenible (Cassman 1999; Bommarco et al. 2013). Las diferencias provienen de formas diferentes de valorar los impactos económicos, ambientales y sociales. Además, existe un debate académico sobre los conceptos asociados con la intensificación sostenible, entre los más controversiales se mencionan los términos de intensificación ecológica y agroecología. En algunos casos sus definiciones, principios y prácticas, son difusas y se prestan a múltiples interpretaciones (Wezel et al. 2015).

1.4. Prácticas de intensificación agrícola sostenible

Las prácticas de intensificación agrícola sostenible son heterogéneas en diferentes regiones y sistemas agrícolas debido a los diferentes ambientes naturales y condiciones socioeconómicas (Weltin et al. 2018; Pretty y Bharucha 2014).

En una revisión de alcance mundial, Pretty et al. (2018) mencionan una gran diversidad de casos que son clasificados en (i) manejo integrado de plagas, (ii) agricultura

conservacionista, (iii) integración de cultivos y biodiversidad, (iv) pasturas y forrajes, (v) sistemas silvopastoriles (i.e. árboles integrados a sistemas agrícolas), (vi) manejo del agua, e (vii) intensificación de la agricultura en pequeña escala.

Weltin et al. (2018) agruparon a partir de una revisión de la literatura prácticas de intensificación agrícola sostenible en desarrollo agronómico, eficiencia en el uso de recursos, asignación de uso de la tierra e integración regional. “Desarrollo agronómico” abarca desde prácticas de cultivos (i.e. rotaciones de cultivos, cultivos intercalados o diversificación de patrones de cultivo en escala temporal, y cultivos mixtos, cultivo en franjas, agricultura hortícola o sistemas agroforestales en escala espacial) (Hellin et al. 2013; Mao et al. 2015; Nyagumbo et al. 2016), hasta la elección de variedades y la gestión de cultivos (i.e técnicas de labranza, de conservación del suelo (Giller et al. 2015; Townsend et al. 2016) y la agricultura de precisión (Gumma et al. 2016)). “Eficiencia en el uso de recursos” incluye prácticas como la mejora en la eficiencia de uso de los fertilizantes (Suter et al. 2015; Wani et al. 2015), las mediciones de balances y las pérdidas de carbono, nitrógeno y fósforo (Linguist et al. 2012; Zhou y Butterbach-Bahl 2014; Sattari et al. 2016), la gestión integrada del agua para cultivos (Jägermeyr et al. 2016) o captación de agua de lluvia (Dile et al. 2013), el uso de pesticidas y antibióticos (Ellis et al. 2016) y la producción y eficiencia energética (Krupnik et al. 2015). “Asignación de uso de la tierra” se refiere a las elaboraciones sobre el diseño del paisaje y su declinación en los enfoques intensificación sostenible de reparto de tierras y conservación de tierras (Shackelford et al. 2015; Dauber y Miyake 2016). La escasez de tierra disponible para la conversión a la agricultura con el fin de alimentar a la creciente población, combinada con la necesidad paralela de conservación de la biodiversidad, requiere la integración holística de espacios productivos y naturales a nivel de paisaje (Fischer et al. 2014) y la identificación de posibles prácticas innovadoras de uso del suelo (Grau et al. 2013).

Muchos ejemplos de estos dos enfoques de intensificación sostenible están relacionados con la coexistencia en un paisaje específico de producción agrícola, como ganado y pastos (Mastrangelo y Gavin 2012) o plantaciones de café (Gordon et al. 2007), y elementos naturales que indican un buen nivel de biodiversidad, como vegetación nativa y aves. Los sistemas mixtos de cultivos y ganadería a escala de paisaje también se incluyen. Aumentan la diversidad dentro de los sistemas agrícolas y permiten una mejor regulación y mantenimiento de los servicios ambientales a través de un mosaico de paisaje diversificado (Lemaire et al. 2014). Finalmente, “integración regional” abarca múltiples temas de intercambio de conocimientos y difusión de innovación, funcionamiento de instituciones, mecanismos de gobernanza y redes locales. Los ejemplos incluyen esquemas regulatorios para la gestión del riego a nivel regional (Pretty et al. 2011) y los sistemas de certificación que establecen un marco normativo común para las prácticas agrícolas sostenibles mejorando la conexión entre productores y consumidores y generando confianza en los consumidores (Buckwell et al. 2014).

Scherer et al. (2018) evaluaron las oportunidades de intensificación sostenible en la agricultura europea. Identificaron oportunidades para la intensificación sostenible en el 34% de la superficie cultivable. Las mayores oportunidades ambientales existen en términos de brechas de rendimiento, que podrían ser reducidas por el uso de múltiples cultivos.

1.5. La intensificación sostenible de la agricultura pampeana

Las condiciones favorables del suelo y el clima para el crecimiento de los cultivos, junto con la predisposición de los productores para incorporar nuevas tecnologías, hacen que la región pampeana argentina se encuentre entre las regiones más importantes del mundo

para la producción de alimentos (Hall et al. 1992). En esta región, las investigaciones generalmente han considerado algunos aspectos del sistema de cultivo, como el uso de recursos, la eficiencia, el drenaje profundo, la lixiviación de nitrógeno, el carbono y el nitrógeno orgánico del suelo, y la estructura del suelo (Andrade et al. 2015; Portela et al. 2016; Andrade et al. 2017; Restovich et al. 2019; Martínez et al. 2020; Crespo et al. 2021). Con relación a la intensificación en el tiempo, los estudios más recientes se centran en los impactos agronómicos de aumentar la frecuencia de cultivos dobles (Andrade et al. 2015, 2017). Los resultados respaldan la idea de que es posible aumentar el rendimiento de la producción agrícola mediante la implementación de sistemas de producción más intensivos y diversos (Caviglia et al. 2004; Caviglia y Andrade 2010, Caviglia et al. 2019).

Sin embargo, hasta el momento, ninguna investigación ha comparado los sistemas agrícolas con un enfoque más integral basado en múltiples criterios, incorporando dimensiones económicas y ambientales, así como información sobre la relevancia percibida por las partes interesadas de estas dimensiones, para encontrar los más alineados con la trayectoria de la intensificación sostenible. Para definir trayectorias intensificación sostenible, es necesario identificar alternativas que mejoren la producción y por ende logren mejores resultados económicos y, al mismo tiempo, reduzcan el impacto ambiental. A pesar de que sistemas de producción más intensivos y diversos se plantean como una de las mejores alternativas para la región pampeana argentina, estos sistemas han sido evaluados considerando aspectos agronómicos como la eficiencia del uso del agua y la energía. El primer objetivo de esta tesis es comparar los sistemas agrícolas con un enfoque integral basado en múltiples criterios, incorporando dimensiones económicas y ambientales, así como información sobre la relevancia percibida por las partes interesadas de estas dimensiones, para encontrar las que están más alineadas con la trayectoria de intensificación sostenible.

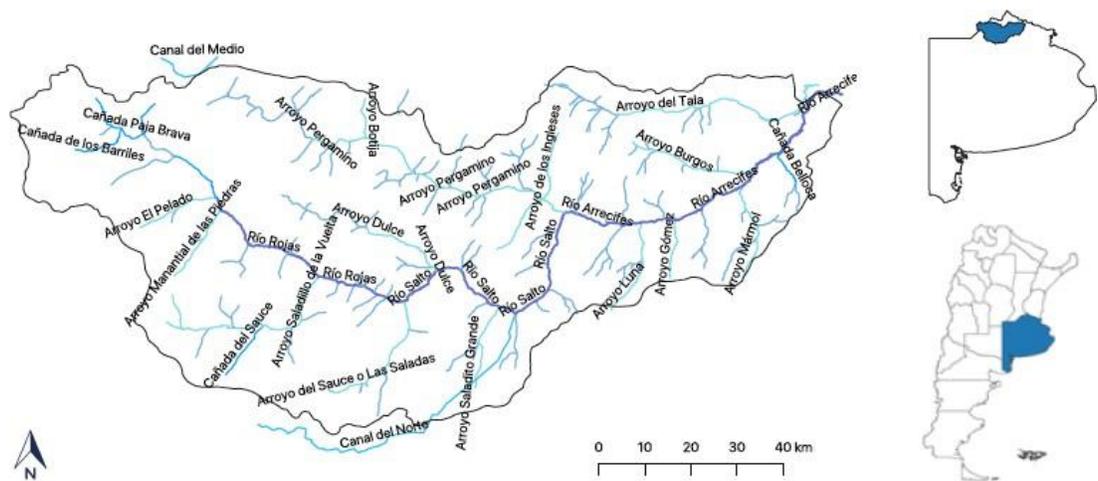
En la región Pampeana argentina, existe heterogeneidad en el uso del suelo, desde secuencias de cultivos simplificadas con un solo cultivo de verano, hasta secuencias de cultivos más diversificadas e intensivas (Pacín y Oesterheld 2014; Cabrini et al. 2019). A pesar de la importancia de la secuencia de cultivo que elige cada productor, el porcentaje ocupado por cada secuencia es información que no está disponible. El Ministerio de Agricultura de la Nación Argentina (2021) y los mapas nacionales de cultivos de INTA (de Abelleira et al. et al. et al. 2019 2020 2021) muestran la proporción de cada cultivo en una determinada campaña, sin determinar las secuencias de cultivos presentes. Para difundir trayectorias de intensificación sostenible, es importante conocer la oportunidad en el área de estudio de expandir los sistemas agrícolas alineado a la trayectoria de intensificación sostenible. El segundo objetivo de esta tesis es conocer las secuencias de cultivos presentes, su proporción en el área de estudio y su relación con las variables físicas del suelo.

Finalmente, el proceso de toma de decisiones sobre el uso de la tierra agrícola se ve afectado por las estructuras de la unidad productiva y las características del decisor (Pope y Prescott 1980; Mishra et al. 2004). Además, se han identificado varios objetivos como determinantes de la toma de decisiones de los agricultores, tales como la maximización del beneficio económico, la reducción del riesgo económico, evitar daños al ambiente, preservar la productividad de los recursos, asegurar la continuidad de la empresa y la simplificación de las tareas rurales (Sattler y Nagel 2010; Berkhout et al. 2011; Jansen 2011; Mandryk et al. 2014; Arora et al. 2015). A menudo, estos objetivos están en conflicto y la decisión es compleja. El tercer objetivo de esta tesis propone analizar cómo las diferentes características de la unidad productiva y de los decisores influyen en la decisión de optar por secuencias agrícolas más alineadas a la trayectoria de intensificación sostenible.

1.6. Esquema de la tesis

El objetivo principal de esta tesis es estudiar las oportunidades y las limitantes para intensificar y diversificar las secuencias de cultivos en la región pampeana argentina. En esta región, la tesis se desarrolló en los partidos de la provincia de Buenos Aires ubicados en la cuenca del río Arrecifes, que comprende una parte importante de la zona núcleo pampeana. La cuenca abarca en su totalidad los partidos de Rojas y Arrecifes, en forma parcial, los partidos de San Pedro, Baradero, Capitán Sarmiento, Pergamino, Salto, Chacabuco, Colón, General Arenales y Junín, todos en la provincia de Buenos Aires. La cuenca además ocupa una pequeña porción de los departamentos de Constitución y General López de la provincia de Santa Fe, que no serán considerados en esta tesis. Comprende una superficie de 1.145.288 hectáreas y forma parte de la cuenca del río Paraná. Esta última, junto con las de los ríos Uruguay y de la Plata forman parte de la Cuenca del Plata. El río Arrecifes es exponente principal de la cuenca, colecta los caudales drenados por otros cursos, igualmente importantes, tales como el arroyo Pergamino y los ríos Salto y Rojas (Figura 2).

Figura 2. Cuenca del río Arrecifes.



Fuente: Elaboración propia basándose en datos geográficos del Instituto Geográfico Nacional.

La tesis se desarrolla en tres escalas: el lote agrícola (unidad mínima de manejo, donde se implementan las acciones derivadas de la toma de decisiones), la unidad productiva agrícola (unidad de planificación de la empresa agrícola), y la cuenca del río Arrecifes. En el Capítulo 2, enfocado en la escala de lote agrícola, se comparan sistemas agrícolas en un ensayo a campo ubicado en el partido de Pergamino. La comparación se realiza con un enfoque integral basado en múltiples criterios, incorporando dimensiones económicas y ambientales, así como información sobre la relevancia percibida por las partes interesadas de estas dimensiones, para encontrar las que están más alineadas con la trayectoria de intensificación sostenible. El Capítulo 3, centrado en la cuenca del río Arrecifes, está orientado a identificar las secuencias de cultivos presentes, su proporción y su relación con las variables físicas del suelo, para conocer cuál es la oportunidad para intensificar y diversificar las secuencias de cultivos. El Capítulo 4, se centra en el nivel de unidad productiva cubriendo la extensión de la cuenca del río Arrecifes. Este capítulo aborda el estudio mediante encuestas de cómo las diferentes características de la empresa agrícola y del productor influyen en la decisión de optar por secuencias agrícolas más alineadas a la trayectoria de intensificación sostenible. En el último capítulo, los resultados expuestos en los tres capítulos previos se discuten con relación al estado actual del conocimiento sobre la cuestión, destacando los aspectos novedosos y presentando las conclusiones del trabajo.

1.7. Objetivo general

Esta tesis propone estudiar las oportunidades y limitantes para intensificar y diversificar las secuencias de cultivos en la región Pampeana argentina.

1.8. Objetivos específicos

- 1) Comparar sistemas agrícolas con un enfoque integral basado en criterios múltiples, incorporando dimensiones económicas y ambientales, así como información sobre la relevancia percibida por las partes interesadas de estas dimensiones, para encontrar las que están más alineadas con la trayectoria de intensificación sostenible.
- 2) Determinar las secuencias de cultivos presentes, su proporción y su relación con las variables físicas del suelo en la cuenca del río Arrecifes, para conocer cuál es la oportunidad para intensificar y diversificar las secuencias de cultivos.
- 3) Analizar como las diferentes características de la unidad productiva y de los decisores influyen en la decisión de optar por secuencias agrícolas más alineadas a la trayectoria de intensificación sostenible.

1.9. Hipótesis

Hipótesis 1:

Los sistemas agrícolas con un mayor grado de diversificación son las mejores opciones que sistemas con menor grado de diversificación desde un punto de vista integral considerando criterios económicos y ambientales y la relevancia percibida por las partes interesadas en estas dimensiones.

Hipótesis 2:

Las empresas agrícolas con mayor superficie trabajada, con tierra propia y que combinan actividades agrícolas y pecuarias, son más diversificadas en comparación con empresas agrícolas con menor superficie trabajada, con tierras alquiladas y se dedican exclusivamente a la agricultura.

-CAPÍTULO 2-

**2. EVALUACIÓN MULTICRITERIO DE SISTEMAS AGRÍCOLAS PARA LA
INTENSIFICACIÓN SOSTENIBLE EN LA REGIÓN PAMPEANA
ARGENTINA**

2.1 Introducción

Los actuales sistemas agrícolas simplificados son cuestionados por la sociedad a nivel mundial debido a sus impactos ambientales (Foley et al. 2011; Wingeyer et al. 2015). Dichos impactos incluyen principalmente la disminución de la capacidad productiva de los suelos, la pérdida de biodiversidad, las emisiones de gases de efecto invernadero, los desequilibrios de nutrientes y los riesgos de contaminación por plaguicidas (Pretty et al. 2018; Rockström et al. 2017). La sociedad demanda que los sistemas agrícolas generen alimentos, fibras y combustibles de calidad en cantidades suficientes y accesibles a todos los niveles de la sociedad, y que la producción se lleve a cabo con un bajo impacto ambiental y que tenga contribuciones sociales y culturales positivas (Pretty et al. 2018). Por esta razón, la transformación de los sistemas agrícolas en trayectorias de intensificación sostenible es ineludible.

Existe un amplio consenso a la hora de definir la intensificación sostenible como "el aumento de la producción en la misma superficie de tierra reduciendo el impacto ambiental y al mismo tiempo, aumentando las contribuciones al capital natural y el flujo de servicios ambientales de la agricultura" (Pretty 2008; Baulcombe et al. 2009; Conway y Waage 2010; Godfray et al. 2010; Pretty et al. 2011). La noción de intensificación sostenible denota una aspiración de lo que persigue la sociedad, más que una definición de formas concretas de cómo alcanzar los objetivos relacionados (Garnett y Godfray 2012). En todo el mundo se proponen diferentes prácticas orientadas a la intensificación sostenible, como la gestión integrada de plagas, las prácticas de conservación del suelo, la integración de cultivos y

biodiversidad, el rediseño de pastizales y forrajes, la inclusión de árboles en el sistema de cultivo y la gestión del agua de riego (Pretty et al. 2018).

Aunque la definición de intensificación sostenible sigue siendo objeto de debate (Garnett y Godfray 2012; Pretty y Bharucha 2014; Rockström et al. 2017; Mahon et al. 2018), todas las opiniones coinciden en la necesidad de considerar la multifuncionalidad de los sistemas agrícolas (Vanclay 2009; Doré et al. 2011; Tiftonell, 2014; Pretty et al. 2018). Los pilares de la intensificación sostenible son la productividad, la economía, el ambiente y el bienestar social y humano (Smith et al. 2017). La literatura sobre intensificación sostenible hasta la fecha contiene una amplia gama de criterios sólidos para evaluar la productividad, la economía y los impactos ambientales de los sistemas agrícolas. En cambio, los criterios para evaluar el bienestar social y humano son menos claros (Smith et al. 2017). Debido a su multifuncionalidad, la evaluación de la intensificación sostenible en los sistemas agrícolas requiere una perspectiva más integral (Mahon et al. 2018).

Existen pocas sugerencias sobre cómo podría llevarse a cabo una aplicación concreta de la intensificación sostenible debido a la dificultad de integridad que requiere el concepto. A pesar de ello, se han realizado algunos trabajos para evaluar las opciones de intensificación sostenible de manera integral (Firbank et al. 2013; Barnes y Thomson 2014; Gadanakis et al. 2015; Mouratiadou et al. 2021). El análisis de decisiones multicriterio (MCDA) se ha utilizado para la evaluación de la sostenibilidad en diferentes sistemas y regiones (Evia y Sarandon 2002; Sadok et al. 2008; Talukder et al. 2016; Diaz-Balteiro et al. 2020).

Dentro del MCDA, el Método de Organización de Clasificación de Preferencias para Evaluaciones de Enriquecimiento (PROMETHEE) es una técnica discreta de decisión multicriterio basada en modelos de sobreclasificación. PROMETHEE se utilizó en varias investigaciones relacionadas con temas agrícolas. Kylilli et al. (2016) lo utilizaron para la

identificación de cultivos energéticos óptimos para la explotación. Król et al. (2018) aplicaron la metodología para evaluar y clasificar las prácticas de adaptación al cambio climático con respecto a la labranza para el cultivo de maíz. Talukder e Hipel (2018) utilizaron el método para comparar la sostenibilidad en cinco tipos diferentes de sistemas agrícolas en la costa de Bangladesh muy diferentes de los evaluados en esta tesis. En esta tesis proponemos la aplicación PROMETHEE para operacionalizar el concepto de intensificación sostenible. PROMETHEE permite combinar información objetiva (criterios) con información subjetiva (ponderación de criterios basada en percepciones de su importancia).

En la región pampeana argentina se han estudiado algunas alternativas de intensificación sostenible en experimentos de mediano y largo plazo. Los análisis ex-post de estos ensayos generalmente consideran algunos aspectos del sistema de cultivo como el uso de recursos, la eficiencia, el drenaje profundo, la lixiviación de nitrógeno, el carbono y el nitrógeno orgánico del suelo, y la estructura del suelo (Andrade et al. 2015; Portela et al. 2016; Andrade et al. 2017; Restovich et al. 2019; Martínez et al. 2020; Crespo et al. 2021). Sin embargo, ninguna investigación ha comparado los sistemas agrícolas con un enfoque integral basado en múltiples criterios, así como información sobre la relevancia de los dichos criterios percibida por las partes interesadas, para encontrar los más alineados con la trayectoria de la intensificación sostenible. La falta de una perspectiva integral puede deberse a la dificultad de realizar comparaciones multicriterio, teniendo en cuenta la multifuncionalidad del concepto y las posibles compensaciones asociadas (Mouratiadou et al. 2021).

Para definir trayectorias de intensificación sostenible es necesario identificar alternativas que permitan alcanzar mejores resultados económicos y, al mismo tiempo,

reducir el impacto ambiental, considerando todos los criterios relevantes. El objetivo de este capítulo es comparar y jerarquizar integralmente secuencias de cultivos y prácticas de manejo presentes en la Pampa Ondulada de Argentina de acuerdo con su alineamiento con las trayectorias de intensificación sostenible utilizando la herramienta de análisis de decisión multicriterio PROMETHEE, en base a datos obtenidos en un experimento de mediano plazo.

Como hipótesis se plantea que los sistemas agrícolas con un mayor grado de diversificación son mejores opciones que sistemas con menor grado de diversificación desde un punto de vista integral considerando criterios económicos y ambientales y la relevancia percibida por las partes interesadas en estas dimensiones.

2.2 Materiales y métodos

El estudio se basa en un experimento de campo realizado en el partido de Pergamino, provincia de Buenos Aires, Argentina, una zona representativa de la Pampa Ondulada, el cinturón maicero de Argentina. El suelo es un Mollisol profundo, Typic Argiudoll con aproximadamente un 3% de materia orgánica en la capa superior del suelo. El clima es subtropical húmedo, con veranos calurosos y sin estación seca marcada. La precipitación media anual es de 980 mm y la temperatura media anual es de 18 °C (1938-2019).

Durante cinco campañas agrícolas 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018, 2018- 2019 y 2019-2020 se evaluaron diez alternativas. Estas alternativas resultaron de las combinaciones de tres factores: el manejo del período invernal sin cultivo de granos (con cultivo de cobertura: CC, y barbecho: B, secuencias de cultivos (monocultivo de soja: Sj-Sj, maíz-soja: Mz-Sj, trigo/soja-maíz-soja: Tr/Sj-Mz-Sj), y manejo agronómico (manejo convencional: MC e intensificado: MI). Las secuencias de cultivos Mz-Sj y Tr/Sj-Mz-Sj se evaluaron bajo

ambos sistemas de manejo, mientras que el monocultivo de soja se sembró solo bajo MC. (Cuadro 1). Durante el período de estudio, la precipitación fue de 1131 mm en promedio (2015-16: 1434 mm, 2016-17: 1138 mm, 2017-18: 896 mm, 2018-19: 1315 mm y 2019-20: 874 mm).

Cuadro 1. Sistemas agrícolas evaluados

Secuencia de cultivos	Cultivo de cobertura/barbecho	Manejo	ID
Soja	Barbecho	Convencional	Sj-B-MC
Maíz-soja	Barbecho	Convencional	MzSj-B-MC
Maíz-soja	Barbecho	Intensificación	MzSj-B-MC
Trigo/soja-maíz-soja	Barbecho	Convencional	Tr/SjMzSj-B-MC
Trigo/soja-maíz-soja	Barbecho	Intensificación	Tr/SjMzSj-B-MI
Soja	Cultivos de cobertura	Convencional	Sj-CC-MC
Maíz-soja	Cultivos de cobertura	Convencional	MzSj-CC-MC
Maíz-soja	Cultivos de cobertura	Intensificación	MzSj-CC-MI
Trigo/soja-maíz-soja	Cultivos de cobertura	Convencional	Tr/SjMzSj-CC-MI
Trigo/soja/maíz/soja	Cultivos de cobertura	Intensificación	Tr/SjMzSj-CC-MI

Los cultivos de cobertura eran una mezcla de triticale (*Triticosecale* Wittm. ex A. camus) y vicia peluda (*Vicia villosa* Roth). El MC incluía las prácticas de gestión de cultivos más habituales en la agricultura asesorando a los agricultores. El MI se basaba en conocimientos previos destinados a aumentar el rendimiento de los cultivos mediante una mayor productividad de los recursos (Cassman 1999). Las diferencias de manejo entre el MC y el MI están en los genotipos elegidos, la disposición de las plantas, los agroquímicos y la fertilización. La MI contó con genotipos, agroquímicos y fertilizantes que se consideran insumos de primera calidad. Los niveles de fertilización de nitrógeno, fósforo y azufre fueron mayores en el MI en comparación con el MC y las fuentes utilizadas en ambos manejos

fueron diferentes. La siembra directa se aplicó en el MC y el MI porque esta práctica es la más utilizada en la región. Este experimento de campo tiene la ventaja de que todos los cultivos incluidos bajo cada tratamiento estuvieron presentes cada año, reduciendo así los posibles efectos de la variabilidad climática interanual. Los detalles de los experimentos, así como la estadística, se presentan en Hisse et al. (2022). En el análisis multicriterio, utilizamos los valores medios de las cinco temporadas de cultivo para cada criterio, para caracterizar cada alternativa.

2.2.1 Criterios evaluados en el experimento de campo durante cinco campañas agrícolas

Se definieron 16 criterios para evaluar cada una de las alternativas, que se basaron en las condiciones de intensificación sostenible consideradas en la bibliografía y en las características particulares de la región. Todos los criterios se calcularon para cada estación, se expresaron como la suma de las cinco estaciones y se analizaron por unidad de tierra (ha).

Los criterios económicos son el margen bruto, la tasa de retorno y el riesgo económico del productor. El margen bruto es el indicador más utilizado para evaluar el criterio de rendimiento económico de los cultivos anuales (Ghida Daza 2009). Otros dos criterios económicos pertinentes para comparar las rotaciones agrícolas son la tasa de retorno y el riesgo económico (Pecar 2008).

El aporte económico por derecho de exportación fue considerado como un criterio socioeconómico porque representa ingresos adicionales en términos de recaudación de impuestos que teóricamente podrían emplearse para mejorar la distribución de ingresos y el bienestar social (Rzezak 2008).

Los criterios ambientales evaluados fueron aquellos identificados como claves para el desempeño ambiental de la producción agropecuaria en la Pampa argentina: balances de

nitrógeno, fósforo y azufre (García y González Sanjuan 2010), balance de carbono en el suelo (Berhongaray et al. 2013), emisiones netas de gases de efecto invernadero (Caviglia et al. 2016; Lewczuk 2017), impacto ambiental por uso de plaguicidas (Bernardos y Zaccagnini 2011), diversificación de secuencia e índice de secuencia de intensificación (Caviglia y Andrade 2010). En el Cuadro 2 se describe cómo se obtuvo cada criterio. Los detalles de los parámetros utilizados en estos cálculos se encuentran en el Anexo 1.

Cuadro 2. Descripción de los criterios económicos, socioeconómicos y ambientales utilizados en el análisis.

	Criterio	Descripción
Económicos	Margen bruto	Ingreso bruto - costos directos (gastos en insumos, servicios, cosecha y comercialización) (Ghida Daza 2009).
	Riesgo económico del productor	Margen bruto anual mínimo en el periodo de 5 años.
	Tasa de retorno	Margen bruto dividido por el costo de insumos y servicios.
Socioeconómico	Aporte económico por derecho de exportación	Tasa de impuesto a la exportación que es específica para cada producto
	Balance de carbono del suelo	Modelo AMG de la evolución del carbono orgánico del suelo (COS): Stock de carbono estable + masa de carbono aportada por el cultivo * coeficiente de humificación/coeficiente de mineralización (Andriulo et al. 1999; Milesi Delaye et al. 2013).
	Emisiones netas de gases de efecto invernadero	Emisión o captura de carbono equivalente: Emisiones o remociones de carbono del suelo según el balance de carbono del suelo negativo o positivo + Emisiones de N ₂ O por fertilización con nitrógeno + Emisiones de N ₂ O por mineralización + Emisiones de CO ₂ por fertilización con urea + Emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O por el uso de combustibles fósiles en maquinaria para el cálculo se consideraron pasadas en el campo + emisiones de N ₂ O por entrada de rastrojos. Directrices del IPCC de 2006 y 2019 (Eggleston et al. 2006, Shukla et al. 2019).
	Balance de fósforo	Entrada de P (fertilizantes) — Salida de P (grano cosechado)
	Balance de azufre	Entradas de S (fertilizantes) + Entrada de S (lluvia) — Salida de S (grano cosechado)
	Balance de nitrógeno ¹	Aportes de N (fertilizantes) + Fijación biológica de N + Aporte de N (lluvia) – Salida de N (grano cosechado) - Salida de N (pérdidas

Ambientales		gaseosas).
	Impacto Ambiental por el uso de agroquímicos - Consumidor	La exposición al producto se considera a través de la posible presencia de residuos en el suelo y la planta y el efecto potencial en las aguas subterráneas (Kovach et al. 1992).
	Impacto Ambiental por el uso de agroquímicos - Ecológico	Comprende los efectos sobre el agua y la tierra, así como sobre los peces, las aves y los artrópodos beneficiosos, como la abeja melífera (Kovach et al. 1992).
	Impacto Ambiental por el uso de agroquímicos - Trabajador	La exposición a productos agroquímicos durante la aplicación se considera por toxicidad dérmica y la exposición a largo plazo por toxicidad crónica calculada en mamíferos (Kovach et al. 1992).
	Intensificación de rotaciones	La relación entre el número de días con cultivos en crecimiento (desde la emergencia hasta la madurez fisiológica) y el total de días de la temporada de cultivo (Rodríguez et al. 2020).
	Diversificación de rotaciones	10.000 - Índice de concentración de Herfindahl-Hirschman (HH) (Parkin y Loria 2010). HH se calcula como la suma de los porcentajes al cuadrado del área asignada a cada cultivo en la rotación.

Nota: En el balance de nitrógeno se utilizó una versión simplificada para calcular el balance de nitrógeno sin considerar las pérdidas por erosión, lixiviación y escorrentía, ya que son difíciles de estimar, son muy variables y se estima que su magnitud es pequeña (Oenema et al. 2003; Vicente y Engler 2008; Álvarez et al. 2014).

En el análisis multicriterio, se consideraron los balances anuales de nitrógeno y azufre del suelo por exceso y por extracción en indicadores separados. Aunque no se midieron las pérdidas por lixiviación y escorrentía, cuando el balance fue positivo, se consideró como potencial lixiviable.

2.2.2 Ponderación de los criterios

La metodología PROMETHEE carece de un procedimiento específico para asignar pesos (W_j). En este estudio, se utilizó el método AHP (Analytical Hierarchy Process) para la asignación de pesos, tal y como proponen Macharis et al. (2004). La metodología AHP permite clasificar las alternativas según las preferencias del centro de decisión.

Se realizaron entrevistas en las que se preguntó por la importancia de un criterio en relación con los demás. De las entrevistas se obtuvieron dos perfiles de decisión. Por un lado, el perfil de decisión con enfoque productivo, que surgió de una entrevista conjunta con un

asesor, un productor agropecuario y un administrador de fincas pertenecientes a los CREA (Consortios Regionales de Experimentación Agrícola). Por otro lado, el perfil de decisión con enfoque ambiental surgió de una entrevista conjunta con miembros de la Dirección de Producciones Sustentables del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGYP). Los vectores de ponderación alcanzados a partir de estas entrevistas no pretenden ser representativos de todo el perfil de decisión de la sociedad ni de todos los productores, sino que muestran dos perfiles de decisión realmente relevantes que participan de manera diferente en las decisiones del sector.

2.2.3 Análisis multicriterio

Para comparar los resultados de los distintos sistemas agrícolas incluidos en el experimento se utilizó el método de análisis multicriterio discreto PROMETHEE (Brans y Vincke 1985). En este método, se realiza una comparación por pares de sistemas de explotación alternativos para cada criterio de intensificación sostenible.

$$d_j(A_h - A_k) = C_j(A_h) - C_j(A_k) \quad (\text{Eq. 1})$$

Donde d_j es la diferencia entre los valores de las alternativas (A) h and k para el criterio C_j .

Para cada criterio, se definió la función de preferencia en forma de V (Brans y Vincke 1985; Brans et al. 1986).

$$P_j(A_h - A_k) = f(d_j(A_h - A_k)) \quad (\text{Eq. 2})$$

donde P_j es la preferencia entre los valores de las alternativas h y k para el criterio j .

La función en forma de V tomará los siguientes valores:

$$f(d_j(A_h - A_k)) = 0 \text{ if } (d_j(A_h - A_k)) = 0 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$f(d_j(A_h - A_k))/p \text{ if } (d_j(A_h - A_k)) \leq p \quad (\text{Eq. 4})$$

$$f \left(d_j(A_h - A_k) \right) = 1 \text{ if } (d_j(A_h - A_k)) > p \text{ (Eq. 5)}$$

donde p es el valor umbral obtenido de la diferencia entre los valores máximo y mínimo de cada criterio. Esta función de preferencia puede interpretarse como una normalización de los valores de las diferencias para los diferentes criterios para tomar valores entre 0 y 1.

Luego se obtiene el índice de preferencia multicriterio:

$$\pi(A_h, A_k) = \sum_{j=1}^n P_j(A_h, A_k) W_j \quad (\text{Eq. 6})$$

donde π es el índice de preferencia entre los valores de los sistemas agrícolas h y k y W_j es el peso asignado a cada criterio j obtenido a través de encuestas usando la metodología del Proceso de Jerarquía Analítica.

A partir del índice de preferencia multicriterio se obtienen los flujos de rendimiento positivo $\Phi^+(A_h)$ y negativo $\Phi^-(A_h)$. El flujo de desempeño superior positivo expresa cómo un sistema agrícola está superando a las alternativas. Cuanto mayor sea este valor, mejor será el sistema de cultivo. El flujo de rendimiento superior negativo expresa cómo un sistema agrícola es superado por las alternativas. Cuanto menor sea este valor, mejor será el sistema de cultivo.

$$\Phi^+(A_h) = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m \pi(A_h, A_k) \quad (\text{Eq. 7})$$

$$\Phi^-(A_h) = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m \pi(A_k, A_h) \quad (\text{Eq. 8})$$

Se obtuvo un orden PROMETHEE completo del flujo neto de superación de cada sistema agrícola $\Phi(A_h)$, con la diferencia entre sus flujos positivos y negativos, según la ecuación:

$$\emptyset(A_h) = \emptyset^+(A_h) - \emptyset^-(A_h) \quad (\text{Eq. 9})$$

Se empleó el Análisis Geométrico para Ayuda Interactiva (GAIA) para mostrar los sistemas agrícolas y los criterios en un gráfico biplot.

2.3 Resultados

2.3.1 Vectores de peso

Los vectores de peso obtenidos de las entrevistas muestran que el perfil de decisión con enfoque ambiental enfatizó 54% más indicadores ambientales que el perfil productivo y el perfil de decisión con enfoque productivo 35% más indicadores económicos que el perfil ambiental (Cuadro 3). El Cuadro 3 también indica con flechas la dirección en la que cada criterio se considera mejor en PROMETHEE, por ejemplo, mayor margen bruto, menor riesgo económico.

Cuadro 3. Dirección del objetivo y peso asignado a cada criterio en la metodología PROMETHEE.

Categoría	Criterio	Dirección	Peso perfil ambiental		Peso perfil productivo	
Económicos	Margen bruto	↑		0.48		3.46
	Riesgo económico	↓	3.79	0.41	5.88	1.73
	Tasa de retorno	↑		2.90		0.69
Socioeconómico	Aporte económico por					
	derecho de exportación	↑	0.32	0.32	0.38	0.38
Ambientales	Balance de carbono	↑		0.97		1.15
	Emisiones netas de gases de efecto invernadero	↓		1		0.49
	Balance de fósforo	↑		0.48		1.15
	Exceso de azufre	↓		0.40		0.38
	Exceso de nitrógeno	↓		0.50		0.49
	Extracción de azufre	↓	11.88	0.40	7.70	0
	Extracción de nitrógeno	↓		1		0
	Impacto Ambiental por el uso de agroquímicos - Consumidor	↓		0.50		0.58
	Impacto Ambiental por el uso de agroquímicos – Ecológico	↓		0.50		0.58
	Impacto Ambiental por el uso de agroquímicos - Trabajador	↓		0.50		0.58
	Intensificación de rotaciones	↑		2.90		1.15
	Diversificación de rotaciones	↑		2.90		1.15

2.3.2 Matriz de decisión

La matriz de decisión considerada en el modelo PROMETHEE se formó a través de la evaluación objetiva de cada criterio (Cuadros 4 y 5). El mayor margen bruto se presentó Tr/Sj-Mz-Sj-B-MI (Cuadro 4). Para cada secuencia de cultivo, los sistemas agrícolas manejados con barbecho tuvieron mayor margen bruto que aquellos que incluyeron cultivos de cobertura (Cuadro 4). Finalmente, los sistemas de manejo intensificado tuvieron un margen bruto mayor que los sistemas de manejo convencional. Por otro lado, el riesgo económico fue menor en el sistema Tr/Sj-Mz-Sj-B-MC. A su vez, este sistema tuvo la mayor tasa de retorno. En cuanto al aporte económico por derecho de exportación, el monocultivo de soja tuvo la mayor contribución. El sistema Mz-Sj-CC-MI tuvo el mayor balance de carbono (Cuadro 4). El balance de carbono en el suelo fue notablemente mayor en los sistemas que incluían cultivos de cobertura. Además, las emisiones netas de gases de efecto invernadero fueron menores en los sistemas agrícolas con cultivos de cobertura durante el invierno (Cuadro 4). En cuanto al balance de fósforo, los sistemas MI presentaron valores positivos, mientras que los sistemas MC tuvieron balances negativos (Cuadro 5). Los sistemas manejados con períodos de barbecho invernal tuvieron balances de nitrógeno más cercanos a la neutralidad, mientras que la exportación de nitrógeno del suelo fue más desequilibrada en estos sistemas. Los sistemas MI tuvieron exceso de azufre como resultado de la fertilización con azufre (Cuadro 5). En cuanto al impacto ambiental por el uso de plaguicidas (consumidor, trabajador agrícola y ecosistema), Tr/Sj-Mz-Sj MI mostró los mejores resultados y, en general, los sistemas MI tuvieron menor toxicidad (Cuadro 5). En el índice de intensificación de rotaciones, los sistemas con cultivos de cobertura superaron a aquellos con períodos de barbecho. Finalmente, la mayor diversificación de rotaciones se

observó en los sistemas que incluyeron la secuencia de cultivos más diversa Tr/Sj-Mz-Sj (Cuadro 5).

Cuadro 4. Resultado de los indicadores evaluados para cada sistema agrícola. Cada criterio se expresa como la suma de las campañas agrícolas 2015/2016; 2016/2017; 2017/2018; 2018/2019 y 2019/2020.

Sistema agrícola	Margen bruto US\$ ha ⁻¹	Riesgo económico para el productor US\$ ha ⁻¹	Tasa de retorno %	Aporte económico por derecho de exportación US\$ ha ⁻¹	Balace de carbono del suelo tn C ha ⁻¹	Emisiones netas de gases de efecto invernadero kg CO ₂ eq ha ⁻¹	Diversificación de rotaciones
Sj-B-MC	1872.1	183.9	132	1227.8	-1.5	7624.6	0
Sj-CC-MC	717.3	30.5	38	1004.7	1.7	-2826.1	5000
MzSj-B-MC	2540.8	316.5	131	739.4	-0.7	6798.9	5000
MzSj-B-MI	2569.8	278.6	98	761.2	-0.6	6792.0	5000
MzSj-CC-MC	1093.7	-0.8	43	656.4	1.9	-1333.0	6250
MzSj-CC-MI	1320.9	8.0	40	731.6	2.7	-3183.3	6250
Tr/SjMzSj-B-MC	2708.4	397.2	137	854.5	-0.2	4817.2	7500
Tr/SjMzSj-B-MI	2781.3	392.6	104	929.5	0.0	3809.2	7500
Tr/SjMzSj-CC-MC	1778.7	213.6	74	829.6	1.1	893.8	7777
Tr/SjMzSj-CC-MI	2157.3	258.0	70	939.2	2.1	-1935.0	7777

Nota: Sj: Soja; MzSj: Maíz-Soja; Tr/SjMzSj: Trigo/Soja-Maíz-Soja; B: barbecho; CC: cultivos de cobertura; MI: Manejo Intensificado; MC: Manejo Convencional

Cuadro 5. Resultado de los indicadores evaluados para cada sistema agrícola. Cada criterio se expresa como la suma de las campañas agrícolas 2015/2016; 2016/2017; 2017/2018; 2018/2019 y 2019/2020.

Sistema agrícola	Balance de fósforo kg P ha ⁻¹	Balance de nitrógeno kg N ha ⁻¹		Balance de azufre kg N ha ⁻¹		Impacto Ambiental por el uso de agroquímicos			Intensificación de rotaciones
		N+	N-	N+	N-	C	E	T	
Sj-F-MC	4.7	0	-148.4	3.7	-20.9	147.2	1363.7	414.2	0.3
Sj-CC-MC	12.2	132.5	-23.8	6.2	-15.0	122.7	1114.9	340.6	0.7
MzSj-F-MC	-33.3	0.5	-102.2	3.3	-12.1	159.3	1439.7	403.4	0.3
MzSj-F-MI	32.1	2.8	-92.8	80.5	0	140.8	1257.3	358.7	0.3
MzSj-CC-MC	-17.5	238.6	-12.0	5.4	-8.7	135.0	1227.0	340.1	0.7
MzSj-CC-MI	50.1	249.0	0	84.0	0	127.0	1170.7	318.3	0.7
Tr/SjMzSj-F-MC	-24.8	0	-123.4	5.1	-16.4	116.4	1133.1	313.7	0.4
Tr/SjMzSj-F-MI	32.0	19.8	-97.4	82.8	0	119.7	1071.3	302.4	0.4
Tr/SjMzSj-CC-MC	-16.8	104.4	-30.9	3.6	-12.6	113.7	1045.9	286.7	0.7
Tr/SjMzSj-CC-MI	34.5	152.8	-15.2	82.8	0	103.9	965.9	258.3	0.7

Nota: Sj: Soja; MzSj: Maíz-Soja; Tr/SjMzSj: Trigo/Soja-Maíz-Soja; B: barbecho; CC: cultivos de cobertura; MI: Manejo Intensificado; MC: Manejo Convencional; C: Consumidor; E: Ecológico; T: Trabajador

2.3.3 Clasificación de los sistemas agrícolas en PROMETHEE

El diagrama de flujo de los sistemas agrícolas para el perfil de decisión orientado a la producción posiciona las secuencias de cultivo Tr/Sj-Mz-Sj en los primeros lugares del ranking. A su vez, dentro de esta secuencia de cultivos, MI superó a MC. Los sistemas con barbecho se posicionaron por encima de los de cultivos de cobertura, a pesar de la poca diferencia entre los dos manejos del período invernal (Figura 3- Panel A). El diagrama de flujo de los sistemas agrícolas para el perfil de decisión orientado al ambiente posiciona al sistema agrícola Tr/Sj-Mz-Sj-CC en el primer y segundo lugar. A su vez, dentro de esta secuencia de cultivos, MI superó a MC (Figura 3- Panel B). Es destacable que el sistema agrícola Tr/Sj-Mz-Sj-CC-MI quedó en segundo lugar del perfil de decisión orientado a la producción, a muy poca distancia del primer sistema agrícola, y sube al primer lugar en el perfil de decisión orientado al ambiente. El análisis de sensibilidad se presenta en el Anexo 2.

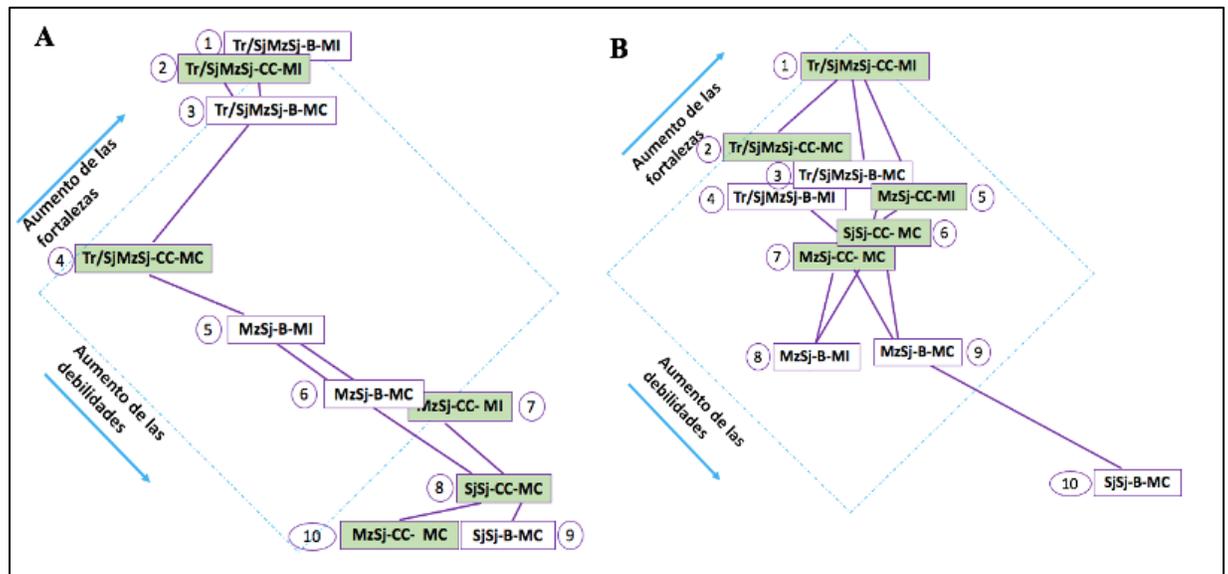


Figura 3. El diagrama de flujo de los sistemas agrícolas para el perfil de decisión orientado a la producción (A) y el diagrama de flujo de los sistemas agrícolas para el perfil de decisión orientado al ambiente (B) considerando los valores de los criterios y la ponderación.

El resultado fue generado por el software libre VISUAL PROMETHEE (2013). Los rectángulos verdes indican sistemas agrícolas de cultivos de cobertura y los rectángulos blancos indican sistemas agrícolas en barbecho. El cuadrado punteado azul claro corresponde al flujo positivo y al flujo negativo de cada sistema agrícola. Las puntuaciones de flujo positivas aumentan desde la esquina izquierda hacia la parte superior (aumentando las fortalezas) y las puntuaciones de flujo negativas aumentan desde la esquina izquierda hacia la inferior (aumentando las debilidades).

Nota: Sj: Soja; MzSj: Maíz-Soja; Tr/SjMzSj: Trigo/Soja-Maíz-Soja; B: barbecho; CC: cultivos de cobertura; MI: Manejo Intensificado; MC: Manejo Convencional.

2.3.4 Contribución de los criterios al desempeño de los sistemas agrícolas.

Los flujos positivos y negativos de desempeño de cada criterio en los sistemas agrícolas se presentan en los gráficos de arcoíris de PROMETHEE visual (Figuras 4 y 5). Los flujos de rendimiento superior positivos y negativos se muestran por encima y por debajo de la línea cero, respectivamente. El tamaño de las barras es proporcional a los flujos positivos y negativos de cada criterio en los sistemas agrícolas. Estos gráficos de barras combinan la información de los valores de los indicadores de los criterios (Cuadros 6 y 7) y

la ponderación de los perfiles de decisión (Cuadro 3), debido a que los flujos se determinan en función del valor obtenido para cada criterio y el peso asignado.

En particular, es interesante analizar las contribuciones de los criterios al desempeño de los sistemas agrícolas mejor clasificados. Para el perfil de decisión orientado a la producción, el primer sistema agrícola Tr/Sj-Mz-Sj-B-MI tiene como criterio principal el margen bruto y el riesgo económico en el flujo positivo, que son los criterios con mayor peso para este perfil. En el segundo sistema agrícola Tr/Sj-Mz-Sj-CC-MI, los principales criterios en el flujo positivo son el índice de secuencia de intensificación y el balance de carbono del suelo. Ambos sistemas agrícolas tienen un exceso de azufre en el suelo en el flujo negativo. Este resultado implica que, aunque estos sistemas agrícolas ocupan el primer y segundo lugar, un ajuste en las dosis de azufre aplicadas puede mejorar su desempeño. Tr/Sj-Mz-Sj-B-MI también tiene emisiones netas de gases de efecto invernadero, balance de carbono del suelo e índice de secuencia de intensificación en el flujo negativo, y Tr/Sj-Mz-Sj-CC-MI tiene tasa de retorno y un exceso de nitrógeno en el suelo. Estas diferencias se asocian a la inclusión o no de cultivos de cobertura (Figura 4).

Para el perfil de decisión orientado al ambiente, los dos primeros sistemas agrícolas Tr/Sj-Mz-Sj-CC-MI y Tr/Sj-Mz-Sj-CC-MC, tienen como criterio principal en el flujo positivo los índices de intensificación y diversificación de las secuencias de cultivos. En el flujo negativo, ambos sistemas agrícolas tienen como criterio el excedente de nitrógeno y la tasa de retorno. En el primer sistema agrícola Tr/Sj-Mz-Sj-CC-MI, el exceso de azufre también se agrega al flujo negativo. Mientras que en el segundo sistema agrícola Tr/Sj-Mz-Sj-CC-MC, también se suma al flujo negativo el aporte económico por derecho de exportación, el margen bruto, la extracción de azufre del suelo y el balance de fósforo. En el

primer sistema agrícola (Tr/Sj-Mz-Sj-CC-MI), un ajuste en el manejo de nitrógeno y azufre podría aumentar el flujo positivo y, en consecuencia, mejorar la tasa de retorno (Figura 5).

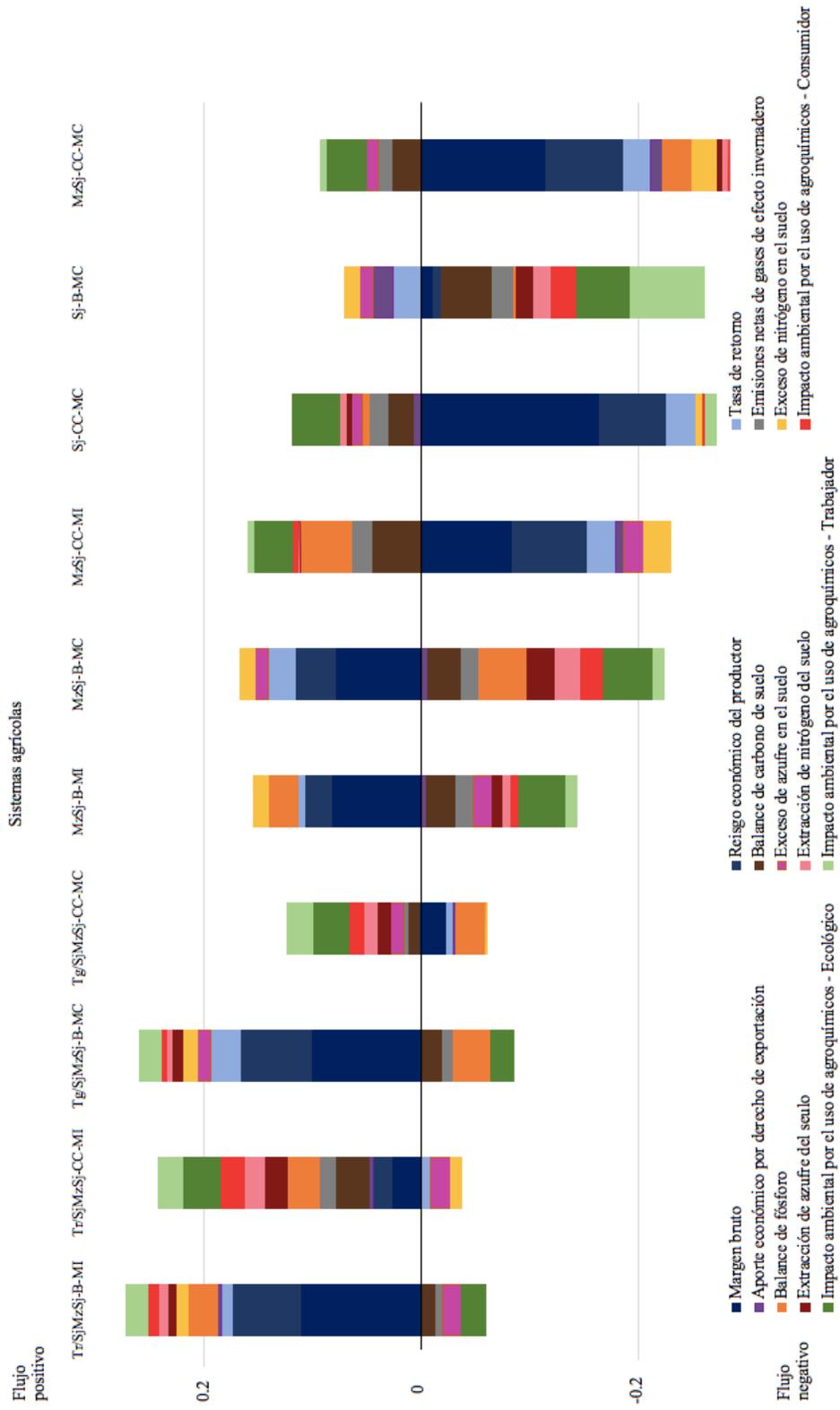


Figura 4. Incidencia de los indicadores evaluados al flujo positivo o negativo de cada sistema agrícola para el perfil de decisión orientado a la producción.

Nota: Sj: Soja; MzSj: Maíz-Soja; Tr/SjMzSj: Trigo/Soja-Maíz-Soja; B: Barbecho; CC: Cultivos de cobertura; MI: Manejo intensificado; MC: Manejo convencional

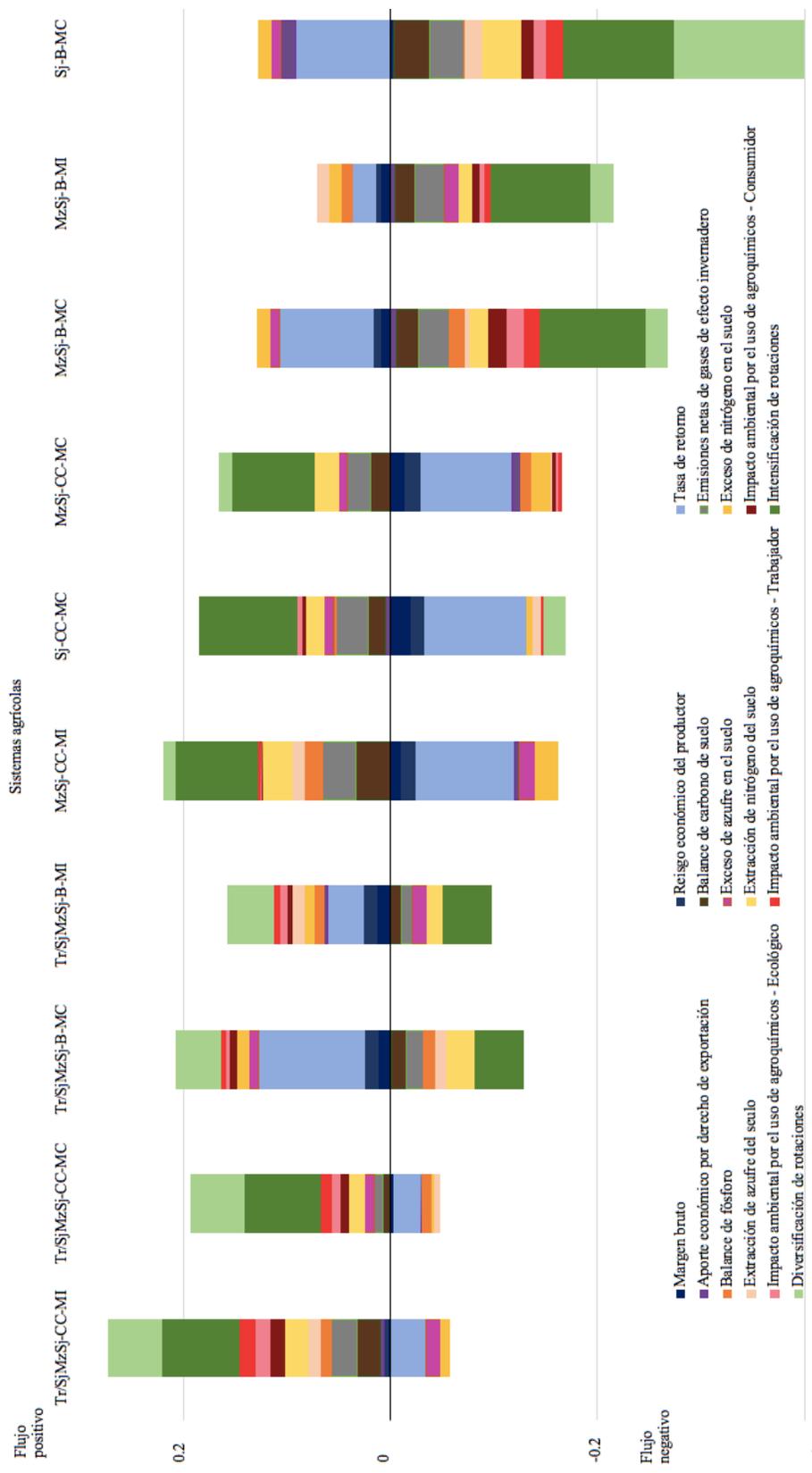


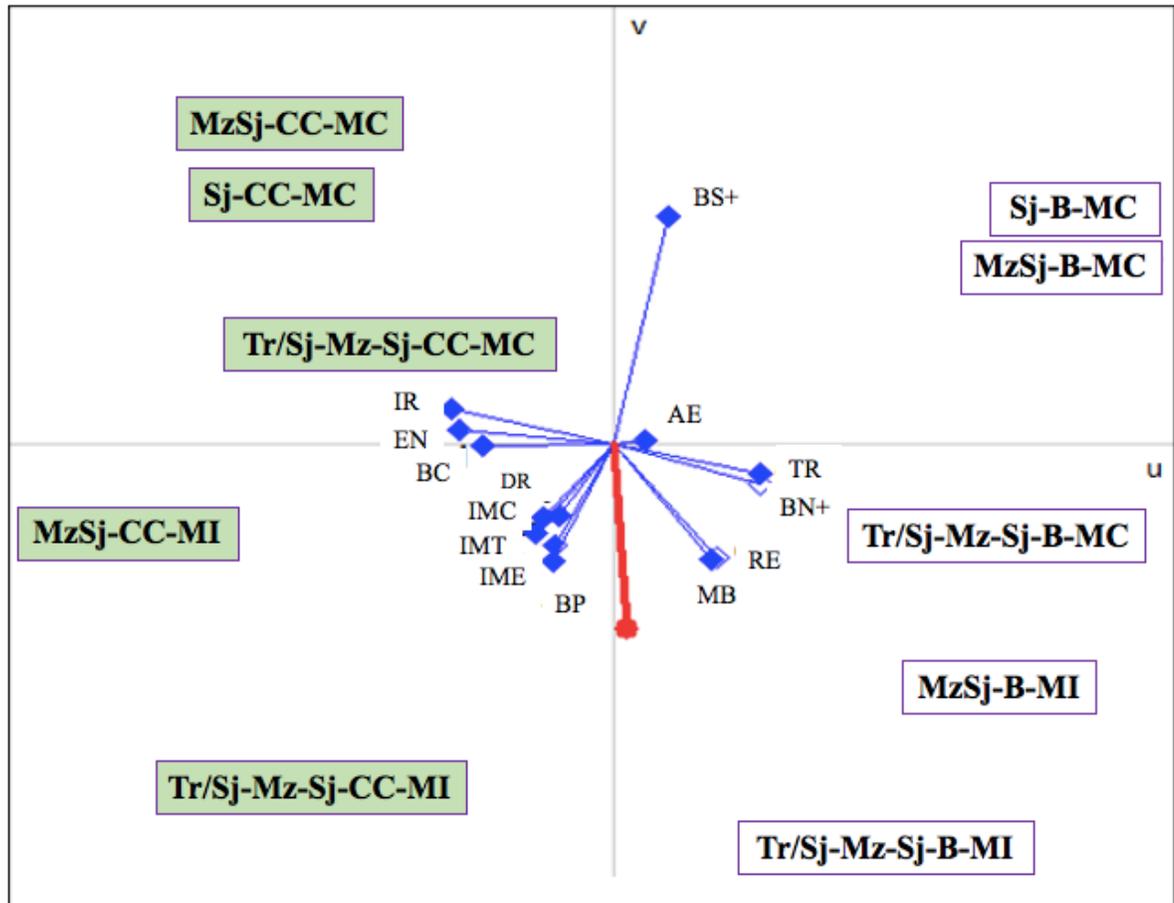
Figura 5. Incidencia de los indicadores evaluados al flujo positivo o negativo de cada sistema agrícola para el perfil de decisión ambiental.

Nota: Sj: Soja; MzSj: Maíz-Soja; Tr/SjMzSj: Trigo/Soja-Maíz-Soja; B: Barbecho; CC: Cultivos de cobertura; MI: Manejo intensificado; MC: Manejo convencional

2.3.5 Compensaciones y sinergias entre criterios

El Análisis Geométrico para Ayuda Interactiva (GAIA) se visualiza en las Figuras 6 y 7. Estas figuras muestran en el cuadrante inferior derecho un agrupamiento de los criterios económicos (tasa de retorno, riesgo económico y margen bruto). A su vez, los criterios económicos están en conflicto con los agrupados en el cuadrante superior izquierdo, como el balance de carbono del suelo, las emisiones netas de gases de efecto invernadero y el índice de secuencia de intensificación. El primer grupo está asociado a los sistemas agrícolas manejados con barbechos de invierno, mientras que el segundo corresponde a aquellos con cultivos de cobertura. Por otro lado, hay un agrupamiento en el cuadro superior derecho de sistema agrícola con MC alineado con exceso de azufre en el suelo, que entra en conflicto con el cuadrante inferior izquierdo que agrupa sistemas agrícolas con MI alineado con índice de impacto ambiental y balance de fósforo.

La comparación de ambas figuras permite observar los diferentes pesos asignados a los criterios, lo que se indica con la orientación del vector rojo hacia la izquierda. De acuerdo con los pesos asignados a cada criterio, en el perfil de decisión orientado a la producción el eje de decisión tiende hacia el cuadrante inferior (MI) y ligeramente hacia la derecha (F) (Figura 6). En el perfil de decisión ambiental, el eje de decisión tiende hacia el cuadrante izquierdo (CC) y ligeramente hacia el cuadrante inferior (MI) (Figura 7).



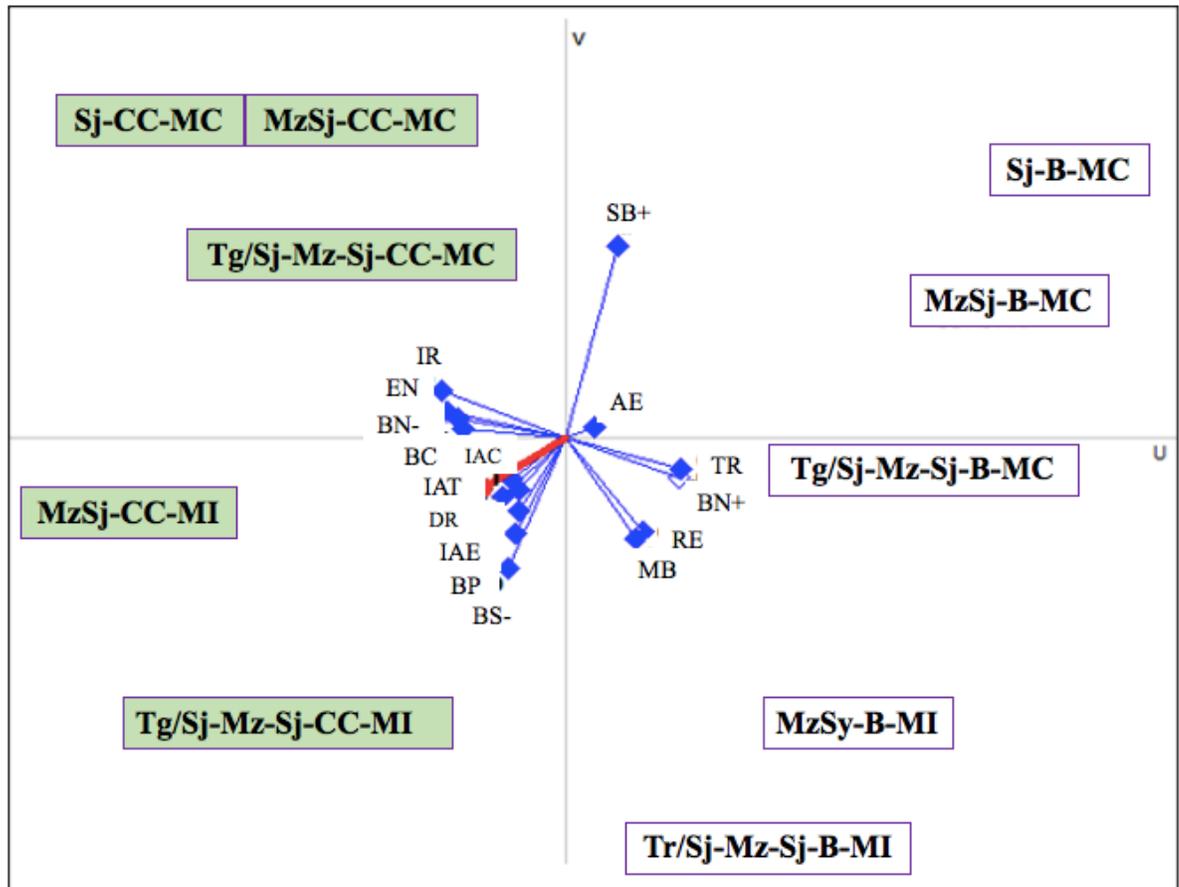
Nota: **BS+** Exceso de azufre en el suelo, **AE** Aporte económico por derecho de exportación, **TR** Tasa de retorno, **BN+** Exceso de nitrógeno en el suelo, **RE** Riesgo económico, **MB** Margen bruto, **BP** Balance de fósforo, **IAE** Impacto ambiental por el uso de agroquímicos - Ecológico, **IAT** Impacto ambiental por el uso de agroquímicos - Trabajador, **IAC** Impacto ambiental por el uso de agroquímicos - Consumidor, **DR** Diversificación de rotaciones, **BC** Balance de carbono del suelo, **EN** Emisiones netas de gases de efecto invernadero, **IR** Intensificación de rotaciones. U es el primer componente principal, contiene la máxima cantidad de información posible, y V es el segundo componente principal, que proporciona la máxima información adicional ortogonal a U.

Sj: Soja; MzSj: Maíz-Soja; Tr/SjMzSj: Trigo/Soja-Maíz-Soja; F: barbecho; CC: cultivos de cobertura; MI: Manejo intensificado; MC: Manejo convencional

El eje de decisión (el vector rojo) es una representación de la ponderación de los criterios, su dirección indica los mejores sistemas agrícolas y los criterios que identifican los mejores sistemas agrícolas (Mareschal y De Smet 2009).

Figura 6. Plan GAIA (Análisis Geométrico para Ayudas Interactivas), para el perfil de decisión orientado a la producción considerando los valores de los criterios y la ponderación.

El resultado fue generado por el software VISUAL PROMETHEE (2013).



Nota: **BS+** Exceso de azufre en el suelo, **AE** Aporte económico por derecho de exportación, **TR** Tasa de retorno, **BN+** Exceso de nitrógeno en el suelo, **RE** Riesgo económico, **MB** Margen bruto, **BS-** Extracción de azufre del suelo, **BP** Balance de fósforo, **IAE** Impacto ambiental por el uso de agroquímicos - Ecológico, **IAT** Impacto ambiental por el uso de agroquímicos - Trabajador, **IAC** Impacto ambiental por el uso de agroquímicos - Consumidor, **DR** Diversificación de rotaciones, **BC** Balance de carbono del suelo, **BN-** Extracción de nitrógeno del suelo **EN** Emisiones netas de gases de efecto invernadero, **IR** Intensificación de rotaciones. U es el primer componente principal, contiene la máxima cantidad de información posible, y V es el segundo componente principal, que proporciona la máxima información adicional ortogonal a U.

Sj: Soja; MzSj: Maíz-Soja; Tr/SjMzSj: Trigo/Soja-Maíz-Soja; B: barbecho; CC: cultivos de cobertura; MI: Intensificado; MC: Convencional

El eje de decisión (el vector rojo) es una representación de la ponderación de los criterios, su dirección indica los mejores sistemas agrícolas y los criterios que identifican los mejores sistemas agrícolas (Mareschal y De Smet 2009).

Figura 7. Plan GAIA (Análisis Geométrico para Ayudas Interactivas), para el perfil de decisión ambiental considerando los valores de los criterios y la ponderación.

El resultado fue generado por el software VISUAL PROMETHEE (2013).

2.4 Discusión

La secuencia de cultivos más diversa (Tr/Sj-Mz-Sj) resultó ser la mejor secuencia en un análisis exhaustivo, aunque no superó al resto de las secuencias de cultivos en todos los criterios que pueden incluirse en un marco de evaluación de intensificación sostenible. Estos resultados respaldan nuestra hipótesis de trabajo, los sistemas agrícolas con un mayor grado de diversificación son las mejores opciones que sistemas con menor grado de diversificación desde un punto de vista integrado considerando criterios económicos y ambientales y la relevancia percibida por las partes interesadas en estas dimensiones.

Con respecto a la inclusión de cultivos de cobertura en los sistemas agrícolas, encontramos un conflicto entre criterios ambientales y económicos. El manejo intensificado superó al manejo convencional en diez indicadores y fue inferior en el resto. La herramienta PROMETHEE permite clasificar los sistemas agrícolas por criterios y su ponderación en función de la importancia percibida de los criterios y, por lo tanto, permite operacionalizar el concepto de intensificación sostenible. PROMETHEE es útil para discusiones grupales sobre la evaluación de diferentes sistemas o escenarios productivos.

2.4.1 Secuencias de cultivo

La secuencia de cultivo Tr/Sj-Mz-Sj superó a las demás en la mayoría de los criterios evaluados. La ventaja de esta secuencia de cultivos se consolidó tanto en la información objetiva (criterios) (Cuadro 3) como en su combinación con la información subjetiva (ponderación de criterios) (Figura 3).

La secuencia de cultivos Tr/Sj-Mz-Sj superó a las secuencias de cultivos Mz-Sj y Sj-Sj en criterios económicos. Esto se debe principalmente a la incorporación de un cultivo comercial más en la misma temporada de crecimiento. En lugar de producir un solo cultivo

en la estación cálida, el doble cultivo permite producir un cultivo adicional durante la estación fría, en este caso trigo (Tr/Sj). Por lo tanto, el doble cultivo ayuda a mejorar el margen bruto total. Además, la incorporación del doble cultivo Tr/Sj en la secuencia, en lugar de, por ejemplo, cultivar solo Sj, da estabilidad en la productividad porque sus rendimientos totales se definen en dos momentos diferentes de la temporada de crecimiento, lo que reduce el riesgo económico (Cuadro 3).

En el criterio socioeconómico aporte económico por derecho de exportación, Sj-Sj ocupó el primer lugar debido a que el cultivo de soja es el que grava con mayor porcentaje (Anexo 1) y se exporta en su totalidad. Argentina es uno de los pocos países, junto con otros países, como Ghana e India, donde las políticas aplican impuestos a la producción agrícola. En la mayoría de los países del mundo, los agricultores reciben apoyo financiero y subsidios para sostener la producción agrícola (FAO et al. 2021).

Con respecto a los criterios ambientales, la secuencia de cultivo Tr/Sj-Mz-Sj tuvo, en promedio, emisiones netas de gases de efecto invernadero más bajas que las secuencias Mz-Sj y Sj-Sj. Aunque la secuencia Tr/Sj-Mz-Sj con respecto al balance de carbono del suelo ocupó el segundo lugar con poca diferencia detrás de Mz-Sj, tuvo menores emisiones de N₂O por fertilización, mineralización y residuos, lo que resultó en menores emisiones netas de gases de efecto invernadero en el Tr/Sj-Mz-Sj. Por otro lado, la secuencia Sj-Sj presentó las menores emisiones de gases, debido a la menor aplicación de fertilizante N en comparación con el maíz y el trigo (Álvarez et al. 2012). No obstante, las emisiones netas de gases de efecto invernadero fueron mayores en la secuencia Sj-Sj debido a la pérdida de carbono del suelo. Las mayores emisiones de N-N₂O en secuencias que incluyen el cultivo de maíz son consistentes con otros trabajos (Parkin y Kaspar 2006; Gregorich et al. 2008) y difieren de los resultados encontrados por Piccenetti et al. 2021, donde Sj-Sj y las secuencias que

incluían maíz y trigo mostraron una emisión de N-N₂O acumulada similar en términos absolutos.

Con respecto al balance de fósforo, la secuencia Tr/Sj-Mz-Sj tendió a tener un balance neutro. Este resultado será positivo o negativo dependiendo de la cantidad de P en el suelo, tomamos balances neutrales como positivos debido a la posibilidad de lixiviación de P como se muestra en nuevos trabajos (Speir et al. 2022).

Los excesos de nitrógeno en el suelo tuvieron una tendencia más neutra en Sj-Sj, seguido de Tr/Sj-Mz-Sj y finalmente Mz-Sj. Los excesos de azufre en el suelo fueron más neutros en Sj-Sj, seguido de Mz-Sj y finalmente Tr/Sj-Mz-Sj. Estos resultados están directamente asociados con la fertilización y sugieren que hubo una sobreestimación de las exportaciones de nitrógeno y azufre (salida con grano) en el cálculo de las dosis utilizadas. Estos nutrientes tienen alta movilidad en el suelo y estos excesos pueden implicar riesgo de lixiviación (Carciochi et al. 2015; Portela et al. 2016). Si bien la secuencia de cultivo Tr/Sj-Mz-Sj ocupó los primeros lugares en ambos perfiles de decisión (Figuras 3 y 5), los excesos de nitrógeno y azufre tienen flujos negativos, lo que sugiere que es necesario un ajuste en las dosis de fertilización.

La extracción de nitrógeno y azufre del suelo tendió a ser neutral en Sj-Mz-CC-MI. El sistema agrícola Sj-Sj-B-MC fue el más extractivo de nutrientes de nitrógeno y azufre. Estos resultados son consistentes con los encontrados por Austin et al. 2006, en el que el aumento de los aportes de nitrógeno a partir de la fijación biológica no compensa las pérdidas debidas a la exportación de semillas de soja, lo que da como resultado una pérdida neta de nitrógeno.

La secuencia Tr/Sj-Mz-Sj tuvo, en promedio, un menor impacto ambiental que las secuencias Mz-Sj y Sj-Sj. Tal diferencia se debió a que la toxicidad del paquete de

plaguicidas aplicado en la secuencia Tr/Sj-Mz-Sj fue menor que en las secuencias Mz-Sj y Sj-Sj. Nuestros resultados concuerdan con una investigación previa, que reportó que el doble cultivo trigo/soja presenta la menor toxicidad entre las secuencias de cultivo sembradas en la región de estudio (Principiano y Acciaresi, 2018). Ferraro et al. (2003), encontraron que el trigo tuvo un menor impacto ambiental que el maíz y el girasol en el agroecosistema pampeano en términos del uso de pesticidas, lo que también se alinea con nuestros resultados. La menor toxicidad del doble cultivo trigo/soja, y por tanto de la secuencia Tr/Sj-Mz-Sj, está asociada con la tasa de intensificación de la secuencia. El período de ocupación del suelo es máximo en esta secuencia, disminuyendo la abundancia de malezas y la cantidad de aplicaciones de herbicidas. La secuencia Tr/Sj-Mz-Sj también presentó la mayor diversificación en comparación con las secuencias Mz-Sj y Sj-Sj debido a la incorporación de trigo en su secuencia.

La secuencia Tr/Sj-Mz-Sj fue superior en indicadores económicos y ambientales, por lo que se posicionó en los primeros cuatro lugares de ambos perfiles de decisión. Estos resultados, basados en una evaluación integral de los sistemas agrícolas, refuerzan los beneficios de la secuencia de cultivos Tr/Sj-Mz-Sj, lo que concuerda con investigaciones previas realizadas con un enfoque ecofisiológico (Caviglia et al. 2004; Caviglia y Andrade 2010; Andrade et al. al. 2015, 2017).

2.4.2 Comparación entre manejos intensivos y convencionales

El manejo convencional superó al intensivo en tasa de retorno, debido a que se utilizaron diferentes productos y se aplicaron menores dosis de fertilización, reduciendo costos y mejorando la tasa de retorno. Este manejo también fue superior (balances más

neutros) en el exceso tanto de nitrógeno como de azufre, lo que sugiere que es necesario un ajuste en las dosis de fertilización en los sistemas de manejo intensivo. En el resto de los criterios, el manejo intensificado fue superior.

2.4.3 Análisis de cultivos de cobertura

Sembrar cultivos de cobertura antes de los cultivos de estación cálida, por un lado, mejoró los criterios ambientales, mientras que, por otro lado, empeoró los criterios económicos. Los cultivos de cobertura mejoraron notablemente el balance de carbono del suelo por la cantidad de biomasa que producen (Wander y Traina 1996, Ding et al. 2006). Los tratamientos de cultivos de cobertura en promedio tuvieron emisiones netas de gases de efecto invernadero más bajas (Poeplau y Don 2015; Abdalla et al. 2019; Restovich et al. 2019). Si desglosamos la composición de estas emisiones netas de gases de efecto invernadero, las emisiones de N_2O por fertilización y residuos, las emisiones de CO_2 por urea y las emisiones de CO_2 , N_2O y CH_4 por el uso de combustibles fósiles en las pasadas de maquinaria en el campo fueron mayores en los cultivos de cobertura. Sin embargo, las menores emisiones de N_2O provenientes de la mineralización de la materia orgánica del suelo y el balance positivo de carbono del suelo fueron más relevantes, lo que se traduce en menores emisiones netas de gases de efecto invernadero. Los cultivos de cobertura disminuyeron el impacto ambiental de los sistemas agrícolas debido al menor uso de pesticidas. Estos resultados coinciden con los encontrados por Principiano y Acciari (2017) y Baigorria et al. (2019). Además, estos cultivos aumentaron la diversificación de la secuencia y disminuyeron el período de suelo desnudo aumentando la tasa de intensificación de la secuencia.

Los criterios económicos, como el margen bruto, la tasa de retorno y el riesgo económico, disminuyeron con la incorporación de cultivos de cobertura en los sistemas agrícolas. Una de las razones de esta disminución es el costo de los cultivos de cobertura, sin retorno a corto o mediano plazo, ya sea que se mantenga o disminuya el rendimiento del cultivo siguiente (Bojanich et al. 2010; Baigorria et al. 2012). Además, el análisis de rendimiento de este experimento mostró que los cultivos de cobertura generan penalizaciones en el rendimiento que afectan principalmente a los cultivos de maíz posteriores (Hisse et al. 2022).

Los cultivos de cobertura tienen una adopción baja en Argentina, 0,02% según datos de la Subsecretaría de Agricultura, Argentina 2022. La baja adopción puede deberse a la disminución de los criterios económicos, principalmente los márgenes brutos. Además, el cultivo de cobertura es una práctica relativamente nueva y, a pesar de la voluntad de los agricultores pampeanos de incorporar nuevas tecnologías, tienen que adaptar las prácticas agronómicas (fecha de siembra, fecha de secado, especie, proporción, etc.) que funcionen mejor para cada sistema agrícola.

En el perfil con enfoque ambiental existe una clara preferencia por tratamientos con cultivos de cobertura, mientras que en el perfil con enfoque productivo la preferencia es por tratamientos sin cultivos de cobertura. Una de las soluciones para lograr las preferencias del perfil con enfoque ambiental es aplicar medidas políticas que estimulen al agricultor a adoptar cultivos de cobertura, por ejemplo, excediendo el aporte económico por derecho de exportación. De esta forma, los agricultores no tendrían el costo económico y podrían adoptar la práctica. Entonces, a la larga, con los beneficios de la práctica y el conocimiento adquirido, la medida de política para implementar la práctica podría eliminarse.

2.5 Conclusión

Se encontró un mejor desempeño en las secuencias de cultivo más diversas. La secuencia Tr/Sj-Mz-Sj demostró ser el mejor sistema agrícola para la región de estudio. Nuestros hallazgos refuerzan los beneficios observados en trabajos anteriores y brindan una evaluación más completa de esa secuencia de cultivo. El manejo intensificado superó al manejo convencional, excepto en tasa de retorno y exceso de azufre y nitrógeno. La adopción de cultivos de cobertura trae beneficios ambientales. Sin embargo, los costos asociados desalientan su implementación en el perfil de decisión orientado a la producción. El análisis multicriterio PROMETHEE permitió una adecuada evaluación de la intensificación sostenible en los sistemas agrícolas desde diferentes perspectivas. Además, es una herramienta flexible que se puede aplicar a diferentes sistemas o situaciones productivas. En la región de estudio, hasta donde sabemos, este es el primer trabajo de investigación que se aplica esta herramienta para evaluar sistemas agrícolas con niveles intermedios a altos de intensificación.

-CAPÍTULO 3-

**3. VARIABILIDAD ESPACIOTEMPORAL DE LAS SECUENCIAS DE CULTIVOS
Y SU RELACIÓN CON VARIABLES FÍSICAS DEL SUELO EN LA REGIÓN
PAMPEANA ARGENTINA**

3.1. Introducción

La rotación de cultivos, es decir el cultivo de diferentes cultivos en una secuencia recurrente en el mismo campo, ha demostrado tener impactos ambientales beneficiosos (Dogliotti et al., 2003; Caviglia et al. 2004; Leteinturier et al., 2006; Caviglia y Andrade 2010). La rotación de cultivos es importante para disminuir la presencia de malezas (Liebman y Dyck 1993), romper los ciclos de plagas y enfermedades (Porter et al. 1997; Thenail et al. 2009) y tener en cuenta las necesidades y el suministro de cultivos con respecto a los nutrientes del suelo y la estructura del suelo a lo largo de la secuencia (Bullock 1992, Karlen et al. 2006). Los cultivos que se incluyan en la rotación producirán mayores rendimientos para cada cultivo que si se cultivan en monocultivo bajo las mismas condiciones de nutrientes (Porter et al. 1997); esta mejora del rendimiento de la rotación se conoce como el "efecto de rotación" (Pierce y Rice 1988).

El diseño de secuencias de cultivos ha sido estudiado ampliamente a nivel mundial. En Estados Unidos, Plourde et al. (2013) analizaron los patrones de rotación de cultivos espacio-temporales del centro de EE. UU. de 2003 a 2010. Encontraron que el área total de producción de soja y maíz aumentó solo ligeramente, mientras que la medida en que estos cultivos se establecieron en monocultivo aumentó significativamente. En Francia, Thenail et al. (2009) mostraron que la organización del establecimiento agrícola construye en promedio patrones de mosaico de cultivos específicos y con variabilidad a lo largo del tiempo. Los resultados también mostraron que la rotación de cultivos altamente organizada en los establecimientos puede producir mosaicos de cultivos aleatorios debido a la agregación de territorios agrícolas en el espacio. También en Francia, Levavasseur et al. (2016) encontraron

que girasol-trigo de invierno fueron las secuencias más frecuentes en dos años en las cuencas Vivier y Courance pero aparecieron algunas diferencias, por ejemplo, con una mayor proporción de la secuencia trigo de invierno-trigo de invierno en la cuenca de Courance (7,2% frente a 3,6%). El modelo de rotación de cultivos indicó que colza-trigo de invierno-girasol, girasol-trigo de invierno-trigo de invierno, y monocultivo de maíz fueron las tres principales rotaciones de cultivos. En China, Liu et al. (2020) más precisamente en la cuenca de Huaihe encontraron que el cultivo simple, el doble y el triple representaron el 41,6 %, el 57,7 % y el 0,7 % del área total cultivada en 2018, respectivamente. Los trabajos revisados anteriormente utilizan diferentes técnicas para determinar las secuencias de cultivos.

En la región pampeana argentina, se ha dado una rápida expansión de la agricultura desde la década del '80, con una expansión importante de la soja en detrimento del resto de los cultivos, particularmente los estivales (Satorre 2005; Viglizzo et al. 2011). La soja es el cultivo con mayor volumen de producción y la superficie ocupada de Argentina. Los productores eligen cultivar soja por su simplicidad de manejo y la alta tasa de retorno. Durante los últimos diez ciclos agrícolas (2010/2011 a 2020/2021), la soja representa, en promedio, el 48% de las 38 millones de hectáreas sembradas anualmente, seguida por los cultivos de maíz y trigo, los que en conjunto representan el 33% del área sembrada (Ministerio de Agricultura de la Nación Argentina, 2021).

Sin embargo, la agricultura extensiva en las Pampas experimentó cambios de importancia en los últimos tiempos, particularmente, en lo que se refiere a las superficies sembradas y bajo riego, la composición de los cultivos y los niveles tecnológicos usados. Si bien los cultivos agrícolas más difundidos actualmente son soja y maíz y el cultivo doble de trigo y soja de segunda, los productores eligen diversos sistemas de rotaciones combinando

estos cultivos y otros de importancia menor que dan como resultado a una gran heterogeneidad en el uso del suelo (Caviglia et al. 2004; Caviglia y Andrade 2010, Hisse et al. 2022).

Para diseñar trayectorias de intensificación sostenible, es importante conocer la situación actual en el área de estudio, para luego implementar los sistemas agrícolas alineados a la trayectoria de intensificación sostenible. En Argentina se conocen mapas de cultivos de donde se puede extraer la proporción de cada cultivo en una determinada campaña (Ministerio de Agricultura de la Nación Argentina 2021; de Abelleira et al. et al. et al. 2019, 2020, 2021). Sin embargo, no hay análisis de las secuencias de cultivos para áreas extensas como la cuenca del río Arrecifes. de Abelleira y Verón (2020), determinaron las secuencias de cultivos en un área de aproximadamente 60.000 ha dentro de la región pampeana.

El objetivo de este capítulo es identificar la proporción de las secuencias de cultivos implementadas en la cuenca del río Arrecifes, como área representativa de la Pampa Ondulada (1.145.288 ha). A su vez, se propone evaluar su relación con características físicas del suelo, como la capacidad de uso del suelo, el índice de productividad y la erosión potencial.

3.2. Materiales y métodos

Para estimar las proporciones de las distintas secuencias de cultivos en la cuenca del río Arrecifes, se trabajó con la metodología de segmentos aleatorios propuesta por el Ministerio de Agroindustria de la Nación. Previamente, se comparó las estimaciones de las

proporciones de secuencia de cultivos determinadas en los segmentos, versus estas proporciones determinadas considerando todos los lotes del partido.

3.3. Delimitación de las unidades de uso de la tierra

Se digitalizaron las unidades de uso de la tierra, los lotes, a través de la visualización en clasificaciones no supervisadas e imágenes de alta resolución de Google Earth y de Bing Maps Aerial. Para realizar este trabajo se utilizó el programa libre Qgis. En los casos de lotes con distintos tamaños entre campañas se eligió la subdivisión de menor tamaño. Este proceso se llevó a cabo en toda la superficie correspondiente al partido de Junín y Pergamino (Figura 8).

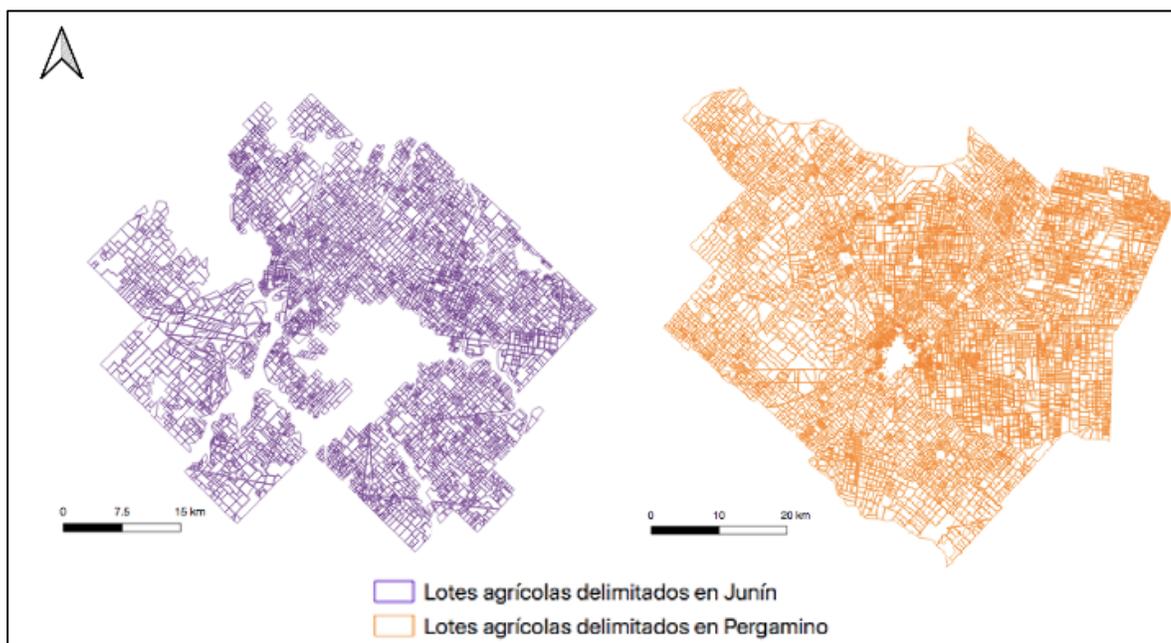


Figura 8. Lotes delimitados en los partidos de Junín y Pergamino, ubicados dentro de la cuenca del río Arrecifes.

3.3.1. Segmentos aleatorios

El Ministerio de Agroindustria de la Nación utiliza la metodología de segmentos aleatorios para estimar la superficie sembrada con cultivos de tipo extensivos en las principales provincias y regiones del país (Rodríguez y Mirensky 2015) (Figura 9). El método se basa en relevar la ocupación con cultivos en numerosas unidades de muestreo de aproximadamente 400 ha de superficie cada una. Las unidades de muestreo se distribuyen al azar en el área relevada. Los segmentos fueron obtenidos mediante la estratificación del área con imágenes satelitales. A partir de los estratos homogéneos formados, se selecciona una muestra aleatoria de puntos. La cantidad de puntos, y en consecuencia futuros segmentos, a elegir se determina mediante un estudio del tamaño de la muestra, a nivel de partido. El tamaño de la muestra es una aproximación basada en los siguientes criterios estadísticos: el conocimiento de la superficie de las jurisdicciones, la cantidad y composición de los estratos (zonas dentro de cada partido que hacen un uso agropecuario homogéneo del suelo) que se observan en las imágenes satelitales y la disponibilidad de información anterior de la zona (Rodríguez y Mirensky 2015). Los segmentos de los partidos incluidos dentro de la cuenca del río Arrecifes, fueron utilizados para estimar las secuencias de cultivos en el área de la cuenca.

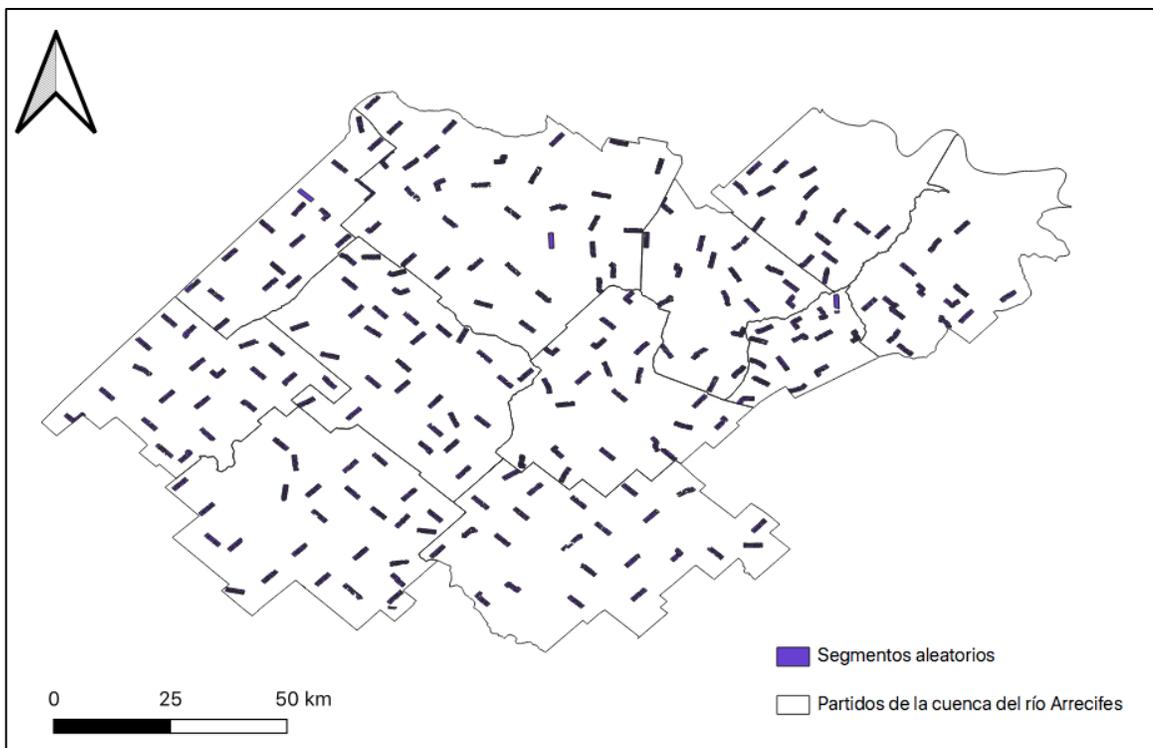


Figura 9. Segmentos aleatorios en los partidos de la cuenca del río Arrecifes determinados por el Ministerio de Agroindustria de la Nación.

3.3.2. Uso del suelo

La información sobre el uso de suelo del área de estudio se obtuvo de los mapas nacionales de cultivos extensivos para tres campañas agrícolas consecutivas (2018-2019, 2019-2020 y 2020-21), publicados por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (de Abelleira et al. et al. et al. 2019, 2020, 2021).

3.3.3. Extracción de la secuencia de cultivos

Para los lotes delimitados de los partidos de Junín y Pergamino y los lotes de segmentos aleatorios dentro de toda la cuenca se generó un centroide, es decir un punto en el centro de cada lote utilizando la herramienta “generar centroide” de QGIS. Luego con la

herramienta "Point sampling" se obtuvo la información del uso del suelo para cada punto en las campañas 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021. Obteniéndose de esta manera la secuencia de cultivo para cada lote.

3.3.4. Representatividad de los segmentos aleatorios para estimar secuencias de cultivos

Para evaluar la representatividad de los segmentos aleatorios se compararon los porcentajes de superficie de cada secuencia de cultivos determinados considerando todos los lotes de los partidos Junín y Pergamino, con los valores estimados considerando los lotes dentro de los segmentos correspondientes a los mismos partidos.

3.3.5. Relación entre las secuencias de cultivos con la capacidad de uso del suelo

Utilizando el mapa de uso de suelos "Mapas de Suelos de la República Argentina" (INTA, 1993), se determinó la capacidad de uso de suelo para cada lote de los segmentos aleatorios ubicados en la cuenca del río Arrecifes y luego se relacionó con la secuencia de cultivos. El mapa de uso de suelos agrupa en clases y subclases, en un sistema de clasificación que distingue ocho clases (señaladas con números romanos del I al VIII) que indican un aumento progresivo de las limitaciones que presentan los suelos para el desarrollo la producción "Mapas de Suelos de la República Argentina" (INTA, 1993) (Figura 10).

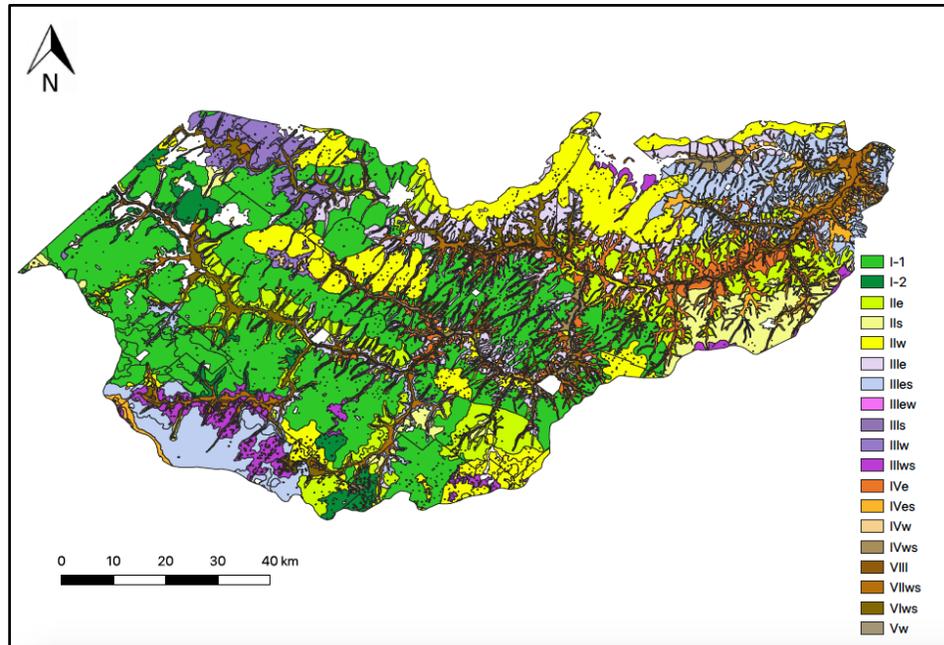


Figura 10. Capacidad de uso del suelo en la cuenca del río Arrecifes.

Fuente: Elaboración propia en base a "Mapas de Suelos de la República Argentina" (INTA, 1993).

Nota: Clases: I no presenta prácticamente limitantes para su uso, II presenta algunas limitaciones, III y IV las limitantes aumentan progresivamente, clases V a VII por lo general no son aptas para agricultura y VIII no tiene aplicación agrícola ni ganadera. Subclases representan limitantes en "e" erosión, "w" exceso de agua, "s" limitaciones del suelo dentro de la zona radical o "c" limitación climática.

3.3.6. Relación entre las secuencias de cultivos con el índice de productividad.

A partir del mapa de uso de suelos "Mapas de Suelos de la República Argentina" (INTA, 1993), se extrajo el índice de productividad (IP) para cada lote de los segmentos aleatorios ubicados en la cuenca del río Arrecifes y luego se relacionó con la secuencia de cultivos. La determinación del índice de productividad tiene como objetivo establecer una valoración numérica de la capacidad productiva de las tierras, permitiendo además lograr la necesaria comunicación entre la información edafológica y la económica.

$$IP= H \times D \times Pe \times Ta \times Tb \times Mo \times CIC \times E \times Na \times Sa$$

Donde: H: Condiciones climáticas; D: Drenaje; Pe: Profundidad efectiva; Ta: Textura del horizonte superficial; Tb: Textura del subsuperficial; Mo: Materia orgánica del horizonte subsuperficial; CIC: Capacidad de intercambio del horizonte superficial; E: Erosión hídrica o eólica; Na: Alcalinidad; Sa: Salinidad

El resultado se interpreta como una proporción del rendimiento máximo potencial de los cultivos más comunes de la región, ecotípicamente adaptados bajo un determinado nivel de manejo. Expresado de otra manera, la diferencia a 100 del valor obtenido, corresponde al porcentaje de disminución experimentado en los rendimientos máximos debido al efecto de una o más características.

Sobre la base de estos datos, el sistema RIQUEIR/FAO propone cinco clases de Productividad (Riquier 1970).

- a- Excelente: 65-100%
- b- Buena: 35-64%
- c- Media: 20-34%
- d- Pobre: 8-19%
- e- Extremadamente pobre: 0-7%

3.3.7. Relación entre las secuencias de cultivos con la erosión hídrica potencial.

La erosión hídrica es uno de los factores que reducen la productividad agropecuaria de la cuenca. Gaspari, et al. (2006) establecieron que la cuenca del río Arrecifes presentaba una tasa de erosión predominante relativamente baja (2 a 4 Mg ha⁻¹ año⁻¹), con sitios críticos muy

vulnerables a un potencial proceso erosivo mayor. Uno de los factores importantes en el control de la erosión hídrica es considerar cambios en la intensificación del uso del suelo y de la secuencia agrícola (Sasal, 2012; Maggi, et al. 2016). Actualmente, los productores CREA del norte de Buenos Aires están reinstalando vías vegetadas para prevenir o, hasta cierto punto, evitar que los problemas por erosión hídrica se agraven (Radrizzani, comunicación personal). A partir de los datos publicados en Gaitán et al. 2017, se extrajo la erosión hídrica potencial para cada lote de los segmentos aleatorios ubicados en la cuenca del río Arrecifes y luego se relacionó con la secuencia de cultivos. La erosión potencial estima la máxima tasa de pérdida de suelo que ocurriría si se elimina la totalidad de la cobertura vegetal. Para obtener la erosión hídrica potencial se multiplica el factor R (erosividad de las lluvias), el factor K (susceptibilidad del suelo frente a la erosión ($t MJ^{-1} mm^{-1}$) y el factor LS: es el factor topográfico (adimensional) y establece la influencia del relieve en la erosión hídrica. Está conformado por el factor de largo de la pendiente (L) y el factor de gradiente de la pendiente (S) (Gaitán et al. 2017).

3.4. Resultados

Se identificaron distintas secuencias de cultivos que difirieron en las proporciones de soja de primera, maíz y dobles cultivos. Los porcentajes de las secuencias de cultivos identificadas en los partidos de Junín y Pergamino no difirieron significativamente con las secuencias identificadas para los mismos partidos con los segmentos aleatorios. La máxima diferencia es de 6% en la secuencia S_j-S_j-M_z en el partido de Pergamino, luego en la secuencia S_j-M_z-C_i/S_j en el partido de Junín, y S_j-C_i/S_j-C_i/S_j en el partido de Pergamino hay diferencia de 3%. En el resto de las secuencias no hay diferencia o sólo del 1% (Cuadro 6). El coeficiente de correlación entre los porcentajes de superficie de cada secuencia de cultivos determinados considerando todos los lotes de los partidos Junín y Pergamino y los

valores estimados considerando los lotes dentro de los segmentos correspondientes a los mismos partidos fue superior el 90% en ambos partidos (Figura 11). Por lo tanto, los segmentos aleatorios son una herramienta práctica para estimar las secuencias de cultivos.

En ambos partidos la secuencia con mayor frecuencia fue Sj-Mz-Ci/Sj. Sin embargo, en Junín es la secuencia dominante con amplia diferencia con la segunda secuencia más frecuente, mientras que en Pergamino la diferencia con la segunda y tercera secuencia no es tan amplia. En Pergamino hubo más variantes de secuencias de cultivos que en Junín.

Cuadro 6. Comparación de la proporción de superficie de cada secuencia de cultivos Junín y Pergamino estimado en base a segmentos aleatorios y en toda la superficie del partido para las campañas 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021.

Secuencias de cultivos	Junín		Pergamino	
	Segmentos	Junín	Segmentos	Pergamino
			--%--	
Sj-Mz-Ci/Sj	48	45	25	26
Sj-Sj-Ci/Sj	13	13	19	19
Sj-Sj-Mz	13	14	21	15
Sj-Ci/Sj-Ci/Sj	7	8	7	10
Sj-Sj-Sj	4	4	13	13
Mz-Mz-Sj	5	6	6	5
Ci/S-Ci/S-Mz	5	5	2	3
Mz-Mz-Ci/Sj	4	4	1	2
Sj-Sj-Ci/Mz	0	0	2	1
Sj-Ci/Sj-Ci/Mz	0	0	1	2
Ci/Sj-Ci/Sj-Ci/Sj	0	1	1	1
Mz-Sj-Ci/Mz	0	0	1	1
Otras	1	1	1	2

Nota: Sj: soja, Mz: maíz, Ci: cultivo de invierno

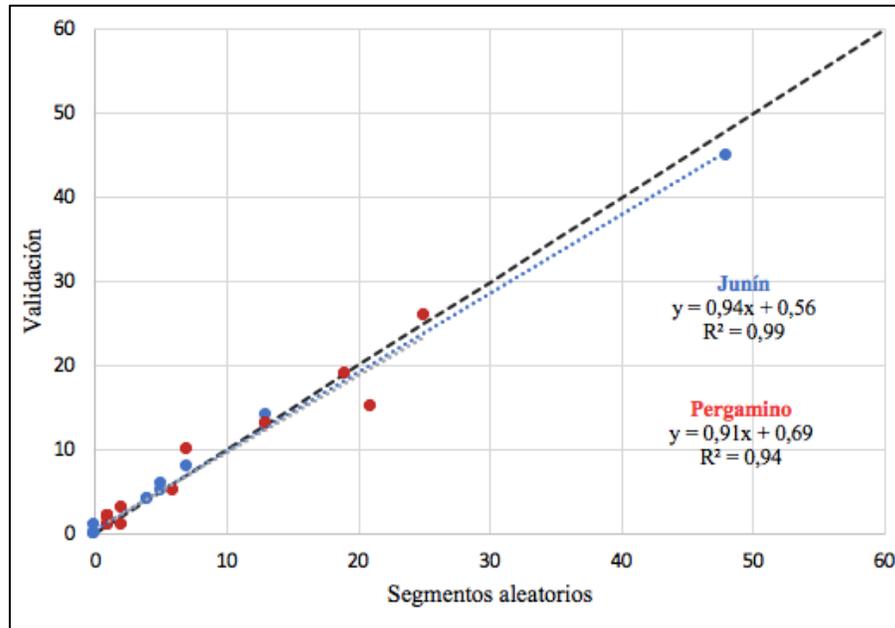


Figura 11. Regresión lineal entre los porcentajes de superficie de cada secuencia de cultivos determinados considerando todos los lotes de los partidos Junín y Pergamino, con los valores estimados considerando los lotes dentro de los segmentos correspondientes a los mismos partidos.

La rotación soja-maíz-cultivo de invierno/soja es la rotación más frecuente en la cuenca con un 35%, mientras que el monocultivo de soja representó el 8% de la superficie analizada (Fig. 12). También se puede observar que el 30% de los lotes tuvieron barbecho durante el invierno (i.e. $SjSjMz = 15,9\%$, $SjSjSj = 8,3\%$, $MzMzSj = 5,7\%$) y sólo un 0,5 % tuvieron cultivo de invierno en las tres campañas analizadas. Las secuencias $Sj-Sj-Sj$, $Sj-Sj-Ci/Sj$, $Sj-Sj-Mz$ y $Sj-Sj-Ci/Mz$ tienen más de 50% de soja, lo que representa un 43% de la cuenca. Por último, un 43% de las secuencias tienen más de dos cultivos distintos.

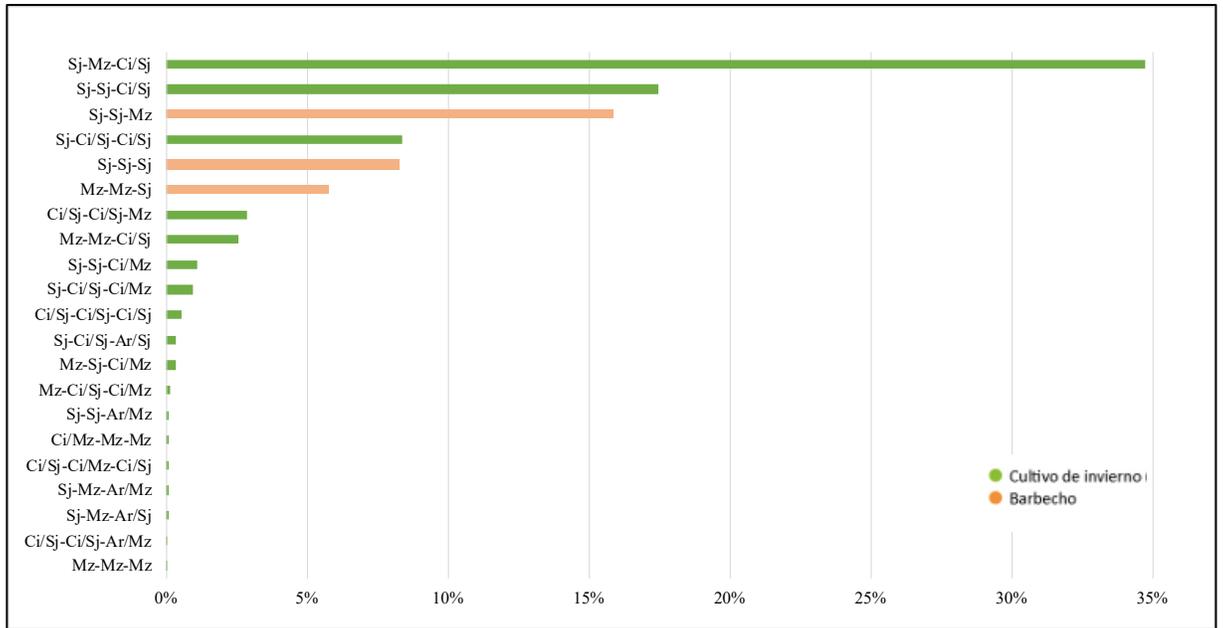


Figura 12. Porcentaje de ocupación de la superficie agrícola por cada secuencia de cultivos en la cuenca del río Arrecifes obtenida con segmentos aleatorios.

Nota: Sj: soja Mz: maíz Ci: cultivo de invierno Ar: Arveja

En todos los partidos que incluidos en la cuenca del río Arrecifes, la secuencia más frecuente fue soja-maíz-cultivo de invierno/soja, con valores desde 27% en el partido de Baradero hasta un 48% en Junín (Cuadro 7). La secuencia de cultivo que se ubicó en segundo lugar fue para algunos partidos soja-soja- cultivo de invierno/soja y para otros partidos soja-soja-maíz. El porcentaje de monocultivo de soja presentó variabilidad entre partidos siendo el porcentaje más bajo de 3% en el partido de General Arenales y el más alto de 13% en Pergamino (Cuadro 7).

Cuadro 7. Proporción de superficie asignada a cada secuencia de cultivos obtenida en base a segmentos aleatorios para cada partido de la cuenca del río Arrecifes en las campañas 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021.

Secuencia de cultivos	Partidos de la cuenca del río Arrecifes										
	Arrecifes	Baradero	Capitán Sarmiento	Chaca-buco	Colón	General Arenales	Junín	Pergamino	Rojas	Salto	San Pedro
	--%--										
Sj-Mz-Ci/Sj	36	27	32	35	33	45	48	25	39	29	29
Sj-Sj-Ci/Sj	15	29	19	17	19	10	13	19	13	23	25
Sj-Sj-Mz	14	15	17	16	18	18	13	21	16	15	7
Sj-Ci/Sj-Ci/Sj	10	12	10	7	5	4	7	7	8	11	14
Sj-Sj-Sj	9	9	5	8	10	3	4	13	9	10	10
Mz-Mz-Sj	6	4	6	9	8	4	5	6	8	2	5
Ci/Sj-Ci/Sj-Mz	1	1	3	4	3	5	5	2	2	3	1
Mz-Mz-Ci/Sj	3	1	1	3	2	8	4	1	2	2	2
Sj-Sj-Ci/Mz	1	0	3	0	0	0	0	2	1	3	2
Sj-Ci/Sj-Ci/Mz	3	0	2	0	3	1	0	1	0	1	0
Ci/Sj-Ci/Sj-Ci/Sj	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1
Sj-Ci/Sj-Ar/Sj	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
Mz-Sj-Ci/Mz	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0
Otras	2	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1

Nota: Sj : soja Mz : maíz Ci : cultivo de invierno Ar: Arveja

La elección de secuencias difirió muy poco en relación a la clase de uso de suelo (Cuadro 8). En todas las clases la secuencia predominante fue la secuencia con dos cultivos de verano iguales, un cultivo de verano diferente y un cultivo de invierno, debido a que es la secuencia con mayor frecuencia. Sin embargo, en la clase III la secuencia con dos cultivos de verano aumenta su proporción, y en la clase V y VIII supera a la secuencia con dos cultivos de verano iguales, un cultivo de verano diferente y un cultivo de invierno.

Cuadro 8. Clases de uso de suelo y su proporción de secuencias de cultivos en base a segmentos aleatorios en la cuenca del río Arrecifes durante las campañas 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021.

Clase	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
I	8%	23%	15%	45%	9%
II	8%	21%	16%	42%	13%
III	7%	31%	16%	34%	11%
IV	12%	23%	16%	39%	9%
V	10%	39%	0%	37%	14%
VI	7%	22%	15%	44%	13%
VII	11%	30%	4%	52%	3%

Nota:

Grupo 1: Sj-Sj-Sj

Grupo 2: Sj-Sj-Mz y Mz-Mz-Sj

Grupo 3: Sj-Sj-Ci/Sj y Ci/Mz-Mz-Mz

Grupo 4: Mz-Mz-Ci/Sj; Sj-Sj-Ci/Mz; Sj-Sj-Ar/Mz; Sj-Mz-Ar/Sj; Ci/Sj-Sj-Mz; Mz-Sj-Ci/Mz y Sj-Mz-Ar/Mz

Grupo 5: Ci/Sj-Ci/Sj-S; Ci/Sj-Ci/Sj-Ci/Sj; Ci/Sj-Ci/Sj-Mz; Ci/Sj-Ci/Mz-Ci/Sj; Sj-Ci/Mz-Ci/Sj; Mz-Ci/Sj-Ci/Mz; Sj-Ci/Sj-Ar/Sj; Ci/Sj-Ci/Sj-Ar/Mz y Sj-Ci/Sj-Ar/Mz

Sj: Soja Mz: Maíz Ci: Cultivo de invierno Ar: Arveja

Clases: I no presenta prácticamente limitantes para su uso, II presenta algunas limitaciones, III y IV las limitantes aumentan progresivamente y clases V a VII por lo general no son aptas para agricultura.

Fuente Clase: "Mapas de Suelos de la República Argentina" (INTA, 1993).

Tampoco hubo grandes diferencias en la elección de secuencias en relación al índice de productividad (Cuadro 9). En todas las clases la secuencia predominante fue la secuencia con dos cultivos de verano iguales, un cultivo de verano diferente y un cultivo de invierno, debido a que es la secuencia con mayor frecuencia. En el grupo extremadamente pobre de índice de productividad, el monocultivo de soja subió 4 puntos porcentuales con respecto al grupo excelente de índice de productividad.

Cuadro 9. Índice de productividad y su proporción de secuencias de cultivos en base a segmentos aleatorios en la cuenca del río Arrecifes durante las campañas 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021.

IP	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
Excelente	8%	22%	17%	40%	13%
Buena	8%	20%	21%	36%	16%
Media	6%	24%	12%	43%	14%
Pobre	11%	25%	16%	40%	8%
Extremadamente pobre	12%	24%	19%	36%	10%

Nota:

Grupo 1: Sj-Sj-Sj

Grupo 2: Sj-Sj-Mz y Mz-Mz-Sj

Grupo 3: Sj-Sj-Ci/Sj y Ci/Mz-Mz-Mz

Grupo 4: Mz-Mz-Ci/Sj; Sj-Sj-Ci/Mz; Sj-Sj-Ar/Mz; Sj-Mz-Ar/Sj; Ci/Sj-Sj-Mz; Mz-Sj-Ci/Mz y Sj-Mz-Ar/Mz

Grupo 5: Ci/Sj-Ci/Sj-S; Ci/Sj-Ci/Sj-Ci/Sj; Ci/Sj-Ci/Sj-Mz; Ci/Sj-Ci/Mz-Ci/Sj; Sj-Ci/Mz-Ci/Sj; Mz-Ci/Sj-Ci/Mz; Sj-Ci/Sj-Ar/Sj; Ci/Sj-Ci/Sj-Ar/Mz y Sj-Ci/Sj-Ar/Mz

Sj: Soja Mz: Maíz Ci: Cultivo de invierno Ar: Arveja

Productividad: Excelente de 65-100%; Buena de 35-64%; Media de 20-34%; Pobre de 8-19%; y Extremadamente pobre de 0-7%.

Fuente IP: "Mapas de Suelos de la República Argentina" (INTA, 1993).

Cuadro 10. Erosión hídrica potencial y su proporción de secuencias de cultivos en base a segmentos aleatorios en la cuenca del río Arrecifes durante las campañas 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021.

Valor de erosión hídrica potencial (tnha ⁻¹ año ⁻¹)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
0-10	9%	23%	16%	40%	11%
11-30	8%	24%	15%	42%	11%
31-50	8%	20%	22%	34%	16%
51-100	10%	17%	21%	37%	16%
101-410	7%	17%	15%	35%	27%

Nota:

Grupo 1: Sj-Sj-Sj

Grupo 2: Sj-Sj-Mz y Mz-Mz-Sj

Grupo 3: Sj-Sj-Ci/Sj y Ci/Mz-Mz-Mz

Grupo 4: Mz-Mz-Ci/Sj; Sj-Sj-Ci/Mz; Sj-Sj-Ar/Mz; Sj-Mz-Ar/Sj; Ci/Sj-Sj-Mz; Mz-Sj-Ci/Mz y Sj-Mz-Ar/Mz

Grupo 5: Ci/Sj-Ci/Sj-S; Ci/Sj-Ci/Sj-Ci/Sj; Ci/Sj-Ci/Sj-Mz; Ci/Sj-Ci/Mz-Ci/Sj; Sj-Ci/Mz-Ci/Sj; Mz-Ci/Sj-Ci/Mz; Sj-Ci/Sj-Ar/Sj; Ci/Sj-Ci/Sj-Ar/Mz y Sj-Ci/Sj-Ar/Mz

Sj: Soja Mz: Maíz Ci: Cultivo de invierno Ar: Arveja

Fuente erosión: Gaitán et al. 2017.

3.5. Discusión

En este capítulo se obtienen los porcentajes de secuencias de cultivos en la cuenca del río Arrecifes. Este resultado amplía el conocimiento previo sobre la diversidad de las rotaciones de cultivos en la zona núcleo pampeana. La utilización de la metodología tiene la ventaja de ser práctica para ser utilizada en grandes extensiones, las secuencias de cultivos en Argentina se podrían estimar con esta metodología. Además, se evaluó la relación entre las diferentes secuencias de cultivos y la clase de uso de suelo e índice de productividad.

Los resultados obtenidos con respecto a la secuencia soja-maíz-trigo/soja (rotación de tercios), como la de mayor predominancia, y el monocultivo de soja sólo representando un 8% concuerdan con el informe publicado por la Bolsa de Comercio de Rosario (junio, 2021). En este informe se muestra la relación entre las hectáreas sembradas con soja con las

hectáreas de trigo o maíz en la región núcleo, la cual incluye la cuenca del río Arrecifes las hectáreas. En la campaña 2015/2016, había 4,3 hectáreas de soja por cada hectárea sembrada con trigo o maíz. Sin embargo, en la siguiente campaña se da una notable disminución de 2,6 hectáreas de soja por cada hectárea sembrada con trigo o maíz. Luego siguió disminuyendo levemente hasta 1,4 hectáreas de soja por cada hectárea sembrada con trigo o maíz en la campaña 2021/2022.

La explicación de este proceso puede darse una combinación de factores económicos y ambientales. Por el lado económico, dicho cambio se da con las modificaciones de las políticas, durante 2015/2019 se eliminaron los impuestos al maíz y al trigo, pero se mantuvo un 30% al de la soja (Decreto 133/2015). Si bien el costo de sembrar maíz sigue siendo más elevado que el de soja. Por otro lado, la aparición de malezas resistentes a los herbicidas más utilizados para tratar a la soja en Argentina, entre ellos el glifosato también forjaron el cambio, sumado a otros beneficios ambientales de la rotación como la mejora del suelo y en consecuencia de los rendimientos.

A pesar de que la secuencia de cultivos principal fue la misma para todos los partidos de la cuenca, hubo diferencias en los porcentajes de cada partido. El monocultivo de soja también presentó variabilidad entre partidos.

No se encontró relación entre las diferentes secuencias de cultivos y la clase de uso de suelo, índice de productividad y la erosión hídrica potencial, lo que indicaría que el tipo de suelo no sería una limitante para seleccionar una secuencia.

3.6. Conclusiones

La secuencia de cultivos Soja-Maíz-Cultivo de invierno/Soja, es la predominante en la cuenca del río Arrecifes ocupando un 35%. Existe variabilidad entre partidos en las

secuencias de cultivos y sus porcentajes. No se encontró relación entre la clase de uso de suelo, índice de productividad con las secuencias de cultivos y la erosión hídrica potencial. El 30% de los lotes tuvieron barbecho durante el invierno (i.e. SjSjMz= 15,9%, SjSjSj= 8,3%, MzMzSj= 5,7%) y sólo un 0,5 % tuvieron cultivo de invierno en las tres campañas analizadas.

Si bien los resultados indican que la mayor proporción de secuencias se encuentran alineadas a la trayectoria de intensificación sostenible, aún hay una gran oportunidad para diversificar las secuencias de cultivos.

-CAPÍTULO 4-

**4. LA TOMA DE DECISIONES SOBRE LA DIVERSIFICACIÓN DE LAS
SECUENCIAS DE CULTIVOS EN LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA**

4.1. Introducción

En la región pampeana argentina, existe heterogeneidad de usos del suelo, desde secuencias de cultivos simplificadas con un solo cultivo de verano, hasta secuencias de cultivos más diversas e intensivas, con mayor proporción de cultivos doble en la misma campaña agrícola (Pacín y Oesterheld 2014; Cabrini et al. 2019). La simplificación de las secuencias resulta, en general, del alto predominio de soja en los sistemas de producción de cultivos de grano. Esto se debe, principalmente, a un menor costo por unidad de superficie y una mayor tasa de retorno económico sobre el capital invertido, en comparación con otras alternativas (Lanteri 2009; Pengue 2009).

Las secuencias simplificadas se asocian a problemas ambientales, como la disminución de la capacidad productiva de los suelos (Novelli et al. 2011), la pérdida de biodiversidad (Beck et al. 2005) y el desequilibrio de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno (Jobbágy et al. 2021). Para superar estos problemas ambientales y avanzar hacia una intensificación sostenible, se proponen secuencias de cultivo más diversas e intensivas (Caviglia et al. 2004; Caviglia y Andrade 2010; Monzón et al. 2014; Andrade et al. 2015, 2017; Bacigaluppo et al. 2020, Hisse et al. 2022).

Para la selección y difusión de trayectorias de intensificación sostenible apropiadas para la zona, no sólo es necesario comprender los aspectos productivos y ambientales de las diferentes secuencias de cultivos, sino también reconocer los factores que influyen en la toma de decisiones sobre el uso de la tierra. Obtener una comprensión más profunda de la toma de decisiones y mejorar la capacidad de predecir el comportamiento de los agricultores tiene una importancia primordial (Dessart et al. 2019; Thomas et al. 2019; Strletskaya et al. 2020; Sok et al. 2021). A la hora de analizar la heterogeneidad en las decisiones que toman los

agricultores, un enfoque adecuado es la teoría de la utilidad multi-atributo (Gómez-Limón 2003), ya que permite considerar los distintos objetivos que persiguen los agricultores y la importancia que asignan a cada uno de ellos. El supuesto básico en el que se basa esta teoría es que el decisor elige la alternativa que produce la mayor utilidad luego de considerar múltiples atributos en un conjunto de alternativas posibles.

Se han identificado varios objetivos como determinantes de la toma de decisiones de los agricultores, tales como la maximizar el resultado económico, reducir el riesgo, evitar daños al ambiente, preservar la productividad de los recursos, asegurar la continuidad de la empresa y la simplificar las tareas rurales (Sattler y Nagel 2010; Berkhout et al. 2011; Jansen 2011; Mandryk et al. 2014; Arora et al. 2015). A menudo, estos objetivos están en conflicto por lo que la decisión se hace más compleja.

Investigaciones realizadas en diferentes regiones del mundo han revelado una conexión entre la elección de diversificar los cultivos y las características de las explotaciones agrícolas (White e Irwin, 1972; Pope y Prescott, 1980; Weiss y Briglauer, 2002; Mishra et al., 2004), así como atributos de los tomadores de decisiones como la experiencia, la edad y la educación (Pope y Prescott, 1980; McNamara y Weiss, 2005; Weiss y Briglauer, 2002; Mishra et al., 2004). Se han identificado diferencias en la relación entre características como el tamaño de la explotación y la edad de los tomadores de decisiones, con la diversificación. En lo que respecta al tamaño de la explotación, algunos autores afirman una conexión positiva entre la diversificación de cultivos y el tamaño de la explotación (Pope y Prescott, 1980; Weiss y Briglauer, 2002; Culas, 2006; Ashfaq et al., 2008), mientras que otros observan una correlación negativa, sugiriendo que las explotaciones más grandes exhiben una menor diversificación (White e Irwin, 1972; Mishra et al., 2004). Pope y Prescott (1980) proponen que la tendencia de los tomadores de decisiones más jóvenes hacia una menor

diversificación podría estar relacionada con su menor aversión al riesgo. Por otro lado, McNamara y Weiss (2005) argumentan que a medida que los tomadores de decisiones envejecen y acumulan riqueza, su inclinación a correr riesgos disminuye, lo que conduce a una menor probabilidad de diversificación. Estas diferencias mencionadas anteriormente han generado un debate en la literatura. En consecuencia, comprender cómo estas características se relacionan con la diversificación en la región de las Pampas argentinas reviste una gran importancia.

El sector agropecuario de Argentina tiene un papel relevante en la economía nacional, generando más del 65% de los ingresos por exportaciones (INDEC 2022). Asimismo, nuestro país se encuentra entre los principales exportadores mundiales de varios productos de origen agropecuario como maíz y soja (FAOSTAT 2023). El 86% de las exportaciones agropecuarias argentinas se producen en la región pampeana (INDEC 2022). A pesar de su importancia, existe poca información sobre los factores que influyen en la toma de decisiones sobre el uso agrícola de la tierra en esta región productiva.

El análisis de los factores que influyen en la decisión de diversificar e intensificar las secuencias de cultivos es la base para la selección y difusión de trayectorias de intensificación sustentable apropiadas para la región pampeana argentina. El objetivo de este capítulo es analizar los objetivos y las limitaciones principales que influyen en el uso de la tierra en la zona núcleo agrícola de la pampa argentina, junto con la relación de las características de las empresas y sus responsables con el nivel de diversificación de las secuencias de cultivos. Como hipótesis se plantea que las empresas agrícolas con mayor superficie trabajada, con tierra propia y que combinan actividades agrícolas y pecuarias, son más diversificadas en comparación con empresas agrícolas con menor superficie trabajada, con tierras alquiladas y se dedican exclusivamente a la agricultura.

4.2. Métodos

4.2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en la cuenca del río Arrecifes, provincia de Buenos Aires, Argentina. El área abarca un total de 11 partidos, los que se agruparon en tres grupos según su ubicación en la cuenca. El grupo A, ubicado al norte de la cuenca, está conformado por los partidos Pergamino, Rojas, Colón y Salto. El grupo B, ubicado al sur de la cuenca, quedó integrado por Junín, Chacabuco y General Arenales. Finalmente, el grupo C, ubicado al este de la cuenca, comprende los partidos de Baradero, San Pedro, Capitán Sarmiento y Arrecifes (Figura 13).

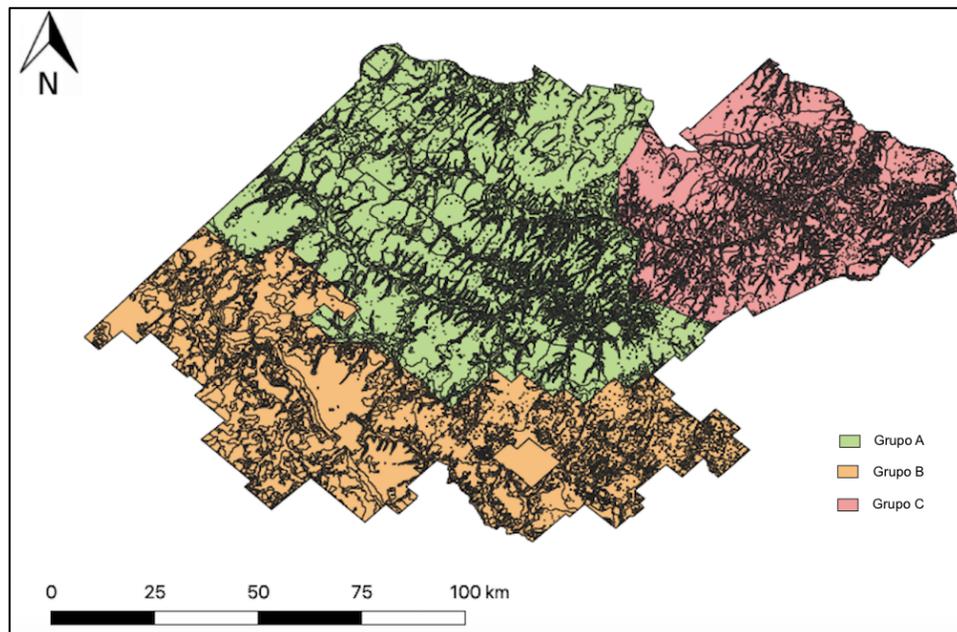


Figura 13. Agrupación por ubicación de los partidos en la cuenca del río Arrecifes.

4.2.2. Metodología de muestreo

Los datos del estudio se recopilaban en una encuesta a productores de la cuenca del río Arrecifes, realizada entre abril de 2020 y marzo de 2021. En este estudio se utilizó un muestreo estratificado. Se tomó como listado poblacional el registro de productores del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Alimentaria (SENASA) de Argentina. Los productores se agruparon en tres grupos según la ubicación de los partidos en la cuenca (Figura 12). Luego, cada grupo se dividió en cuatro subgrupos considerando los cuartiles de la superficie manejada (Figura 14). Se establecieron 12 estratos, los que resultaron de considerar los cuatro subgrupos según superficie manejada dentro de cada uno de los tres grupos de partidos delimitados en la cuenca. Cada estrato se completó muestreando al azar 10 productores de la lista poblacional de SENASA, resultando un total de 120 encuestados. Cuarenta y tres de los encuestados que trabajan tierra propia y alquilada y respondieron por separado sobre el uso de la tierra bajo los dos tipos de tenencia, lo que determinó que la muestra final ascienda a 163 observaciones.

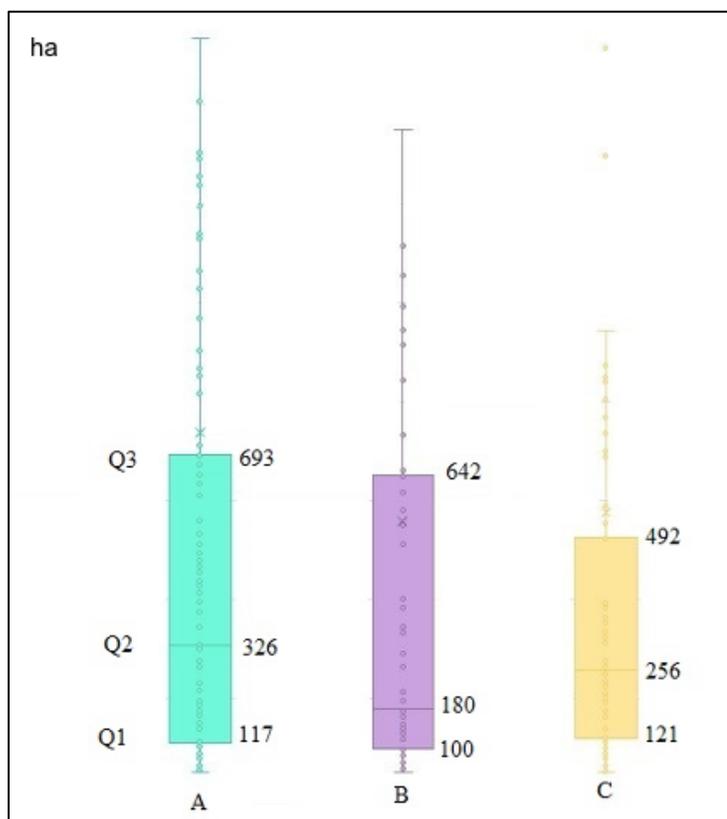


Figura 14. Cuartiles de la superficie agrícola manejada (ha) de los agricultores para los tres grupos de partidos de la cuenca del río Arrecifes.

4.2.3. Encuesta

Se diseñó y aplicó un instrumento de encuesta para relevar información demográfica y productiva de los agricultores. El formulario releva información sobre las características de la empresa agrícola, tamaño, tenencia y localidad. También releva características de la persona responsable de la toma de decisiones sobre el uso de la tierra (edad, nivel educativo, años de experiencia en la agricultura y si la agricultura es su principal fuente de ingreso). Además, se releva información sobre las actividades no agrícolas y sobre quienes participan en la toma de decisiones sobre el uso de la tierra. Una de las preguntas centrales releva la superficie sembrada por los diferentes cultivos durante tres campañas agrícolas

consecutivas (2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020). Se indagó también sobre los objetivos a la hora de decidir sobre el uso de la tierra agrícola (Anexo 3).

4.2.4. Nivel de diversificación de la producción

El índice de concentración de Herfindahl-Hirschman (HH) se utilizó para cuantificar el nivel de diversificación en el uso del suelo (Kumar y Kumar 2018; Ponce et al. 2015). Este índice, que toma valores entre 0 y 10000, se utiliza para medir el grado de concentración de las actividades económicas (Parkin y Loria 2015). El índice HH se calculó en base a las hectáreas asignadas a cada cultivo durante las tres campañas relevadas (2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020). En concreto, se calcula la suma de los porcentajes al cuadrado de la superficie dedicada a cada cultivo agrícola en las tres campañas agrícolas analizadas (Eq. 10). El valor más alto del índice HH (10000) corresponde al uso de la tierra con un único cultivo (i.e. monocultivo). Los niveles de diversificación productiva aumentan a medida que los valores del índice HH son más bajos.

$$HH_j = \left(\frac{Sup_{aj\ 17-18} + Sup_{bj\ 17-18} + Sup_{cj\ 17-18} + Sup_{ij\ 17-18}}{Sup_{totalj\ 18-19}} \right) * 100)^2 +$$

$$\left(\frac{Sup_{aj\ 18-19} + Sup_{bj\ 18-19} + Sup_{cj\ 18-19} + Sup_{ij\ 18-19}}{Sup_{totalj\ 18-19}} \right) * 100)^2 +$$

$$\left(\frac{Sup_{aj\ 19-20} + Sup_{bj\ 19-20} + Sup_{cj\ 19-20} + Sup_{ij\ 19-20}}{Sup_{totalj\ 18-19}} \right) * 100)^2 \quad (\text{Eq. 10})$$

donde HH_j es el índice de diversificación para cada productor de la muestra

$Sup_{a,b,c,...i}$ es la superficie asignada a cada cultivo en una campaña determinada

Sup_{total} es la superficie trabajada total en una campaña determina

4.2.5. Modelo estadístico Probit

Los datos se analizaron con el modelo estadístico Probit. Este modelo se utiliza generalmente para estudiar las elecciones entre alternativas (McFadden 1973). Su uso

permite estudiar la relación de los distintos factores con la toma de decisiones de los agricultores. En los modelos de elección del uso de la tierra, se ha estudiado los efectos de un gran número de variables independientes (Rahman 2008; Mamani 2016). El análisis de estas variables permite estimar la probabilidad de que se adopte determinado uso del suelo por parte de un decisor o grupos de decisores de una empresa agraria con determinadas características y motivaciones (Knowler y Bradshaw 2007).

El modelo Probit adopta la siguiente forma:

$$P(Y = 1|X) = F(X\beta) \quad (\text{Eq. 11})$$

Donde: X es el vector de variables explicativas y β el vector de parámetros a estimar. $F(\cdot)$ la función de distribución acumulativa normal, donde los valores estimados se encuentran estrictamente entre cero y uno $0 < F(X\hat{\beta}) < 1$.

En este estudio, $P(Y=1)$ corresponde a la probabilidad de elegir un nivel alto de diversificación en el uso de la tierra ($HH \leq 2500$). El vector de variables explicativas (X_n), incluye las características de la unidad productiva y del decisor (Cuadro 9). Se consideró $HH=2500$ como punto de corte, asumiendo que este valor corresponde a una secuencia de cultivos con las mismas proporciones asignadas a la secuencia doble cultivo trigo/soja 2^{da}-maíz-soja (i.e. rotación de tercios). Esta secuencia de cultivos es la una de las más adoptadas en la región pampeana (Capítulo 3; Andrade et al. 2022). La rotación de tercios es la secuencia de cultivos que más se alinea con trayectorias de intensificación sostenible (Capítulo 2).

A continuación, se describen las variables explicativas incluidas en el vector (X_n).

4.2.6. Caracterización de las empresas agrícolas y los productores

Diferentes variables se consideraron para caracterizar a la empresa agropecuaria y al decisor (Cuadro 11).

Cuadro 11. Variables utilizadas para caracterizar los establecimientos agropecuarios y sus responsables, relevadas de una encuesta productores de la cuenca del río Arrecifes.

	Variables	Valor de la variable
Características de la unidad productiva	Tamaño (tierra trabajada)	Continua (hectáreas)
	Tenencia	Binaria (1 si es tierra propia y 0 si es alquilada)
	Grupo A (zona norte de la cuenca)	Binaria (1 pertenece al grupo, 0 si no pertenece)
	Grupo B (zona sur de la cuenca)	Binaria (1 pertenece al grupo, 0 si no pertenece)
Características del decisor	Edad	Continua (años)
	Educación primaria o secundaria	Binaria (1 si el máximo nivel de educación es educación primaria o secundaria - 0 en otros casos)
	Educación superior relacionada con las ciencias agropecuarias	Binaria (1 si tiene educación superior relacionada con las ciencias agropecuarias -0 en otros casos)
	Experiencia en la actividad agrícola	Continua (años)
	Actividad agrícola como principal fuente de ingreso	Binaria (1 si la actividad agrícola es la principal fuente de ingresos - 0 en otros casos)
	Actividad pecuaria	Binaria (1 si realiza además de la actividad agrícola actividad pecuaria - 0 en otros casos)
	Toma de decisión con un asesor	Binaria (1 un asesor participa en la toma la decisión de uso de la tierra - 0 en otros casos)
	Toma de decisión con la familia	Binaria (1 la familia participa en la toma la decisión de uso de la tierra- 0 en otros casos)
	Toma de decisión (otra)	Binaria (1 si toma la decisión de uso de la tierra de forma diferente a las anteriores - 0 en otros casos)

Nota: Educación superior hace referencia a la educación terciaria o universitaria.

4.2.7. Objetivos y limitaciones de los decisores

En la encuesta se le solicitó a cada productor seleccionar los objetivos más relevantes a la hora de tomar decisiones sobre el uso de la tierra. Se le presentaron diez objetivos, los cuales fueron definidos en base a objetivos estándar encontrados en la literatura de decisiones de uso de la tierra (Willock et al. 1999) y corroborados en reuniones con un equipo de profesionales extensionistas del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina. Con relación a estos diez objetivos, se solicitó a cada productor que seleccionara los tres más relevantes al momento de tomar decisiones sobre el uso de la tierra. Se analizaron las frecuencias en las que los distintos objetivos fueron seleccionados como los tres más importantes.

Por último, se plantean cinco limitaciones y se le pide que las clasifique según su importancia a la hora de decidir sobre el uso de la tierra. Para el análisis se consideró la limitación que posicionaron en el primer lugar. Se formulan preguntas separadas sobre las decisiones de asignación de tierras en propiedad y en alquiler.

Para analizar la relación entre objetivos y limitaciones con la diversificación se utilizaron *Odds Ratios* (OR). Los OR se utilizan para comparar las probabilidades relativas de que ocurra el resultado de interés (e.g., diversificación), dada la exposición a la variable de interés (e.g., objetivo reducir el nivel de riesgo económico) (Szumilas 2010). El *odd* es la probabilidad de que suceda un evento dividido por la probabilidad de que no suceda. Los *Odds Ratios* representan el cociente entre dos odds (Cerdeira et al. 2013). Cuando el odd ratio es 1 indica ausencia de asociación entre las variables. Los valores menores de 1 señalan una asociación negativa entre las variables y los valores mayores de 1 indican asociación positiva entre las variables.

4.3. Resultados

El Cuadro 12 presenta las estadísticas de las características de los productores de la cuenca del río Arrecifes encuestados y sus empresas agropecuarias. La superficie promedio reportada es de 447 ha. El 60% de las respuestas recibidas corresponden al uso de la tierra en campo propio y el 40% restante al uso de la tierra alquilada. Las respuestas se reparten en forma en las tres zonas de la cuenca (Cuadro 12).

La edad promedio es de 47 años y la experiencia promedio es de 24 años. El nivel educativo más frecuente es la educación superior (terciaria/universitaria) relacionada con las ciencias agropecuarias. El 82% de la muestra tiene la actividad agrícola como principal fuente de ingresos y el 50% de la muestra además de la actividad agrícola realiza actividad pecuaria. La encuesta muestra que el 40% de los decisores sobre el uso de la tierra agrícola lo hace individualmente (Cuadro 12).

Cuadro 12. Estadísticas descriptivas de las características de los productores de la cuenca del río Arrecifes encuestados y sus empresas agropecuarias.

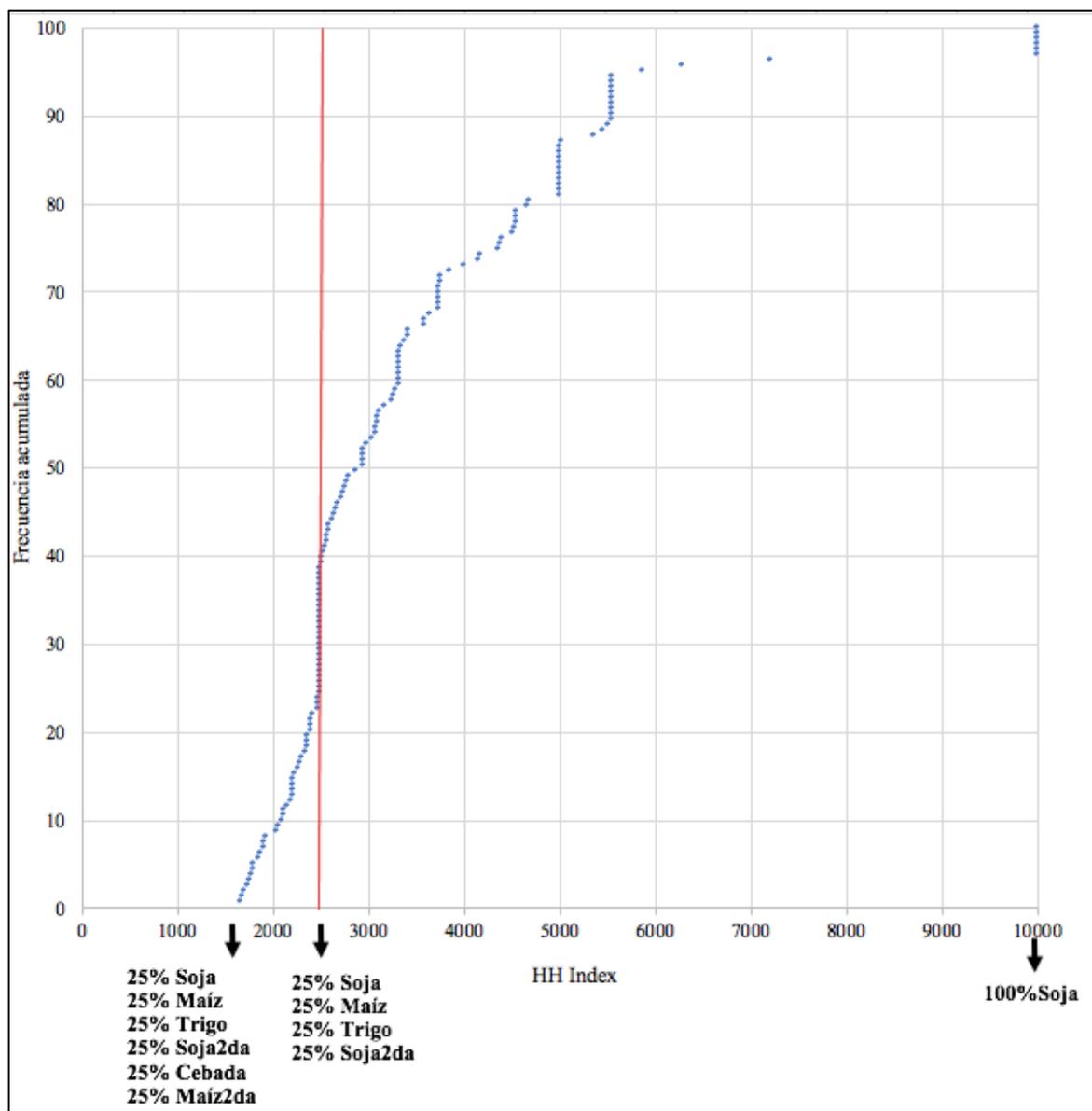
Variable	Media/ porcentaje	Unidad	Error estándar
Tamaño (tierra trabajada)	447	ha	51.47
Tierra propia	60	%	0.04
Grupo C (zona este de la cuenca)	33	%	0.04
Grupo B (zona sur de la cuenca)	32	%	0.04
Grupo A (zona norte de la cuenca)	35	%	0.04
Edad	46.5	años	1.09
Experiencia en la actividad agrícola	23.7	años	1.18
Educación primaria o secundaria	30	%	0.04
Educación superior relacionada con las ciencias agropecuarias	52	%	0.04
Educación superior no relacionada con las ciencias agropecuarias	18	%	0.03

Actividad agrícola como principal fuente de ingresos	82	%	0.03
Actividad pecuaria	50	%	0.04
Toma de decisión individualmente	40	%	0.04
Toma de decisión con un asesor	24	%	0.03
Toma de decisión con la familia	20	%	0.03
Toma de decisión (otra)	15	%	0.03
Nota: Número total de observaciones=163			

4.3.1. Usos de la tierra

Los productores encuestados reportaron diversos planteos de asignación de la tierra a usos particulares. Los cultivos predominantes fueron soja, maíz y trigo. El 4% de los encuestados presentó el mínimo nivel de diversificación posible, asignando toda la tierra al monocultivo de soja (HH=10000). El 39% de los productores realizó soja, maíz y doble cultivo trigo/soja 2^{da}. El 30% y el 31% de los productores presentan menos y más cultivos respecto al uso de la tierra con soja, maíz, trigo/soja, respectivamente.

El índice de diversificación HH, establecido a partir de la proporción asignada a cada cultivo dentro de la secuencia, presentó un valor mínimo de 1667 (máxima diversificación) y un valor máximo de 10000, correspondiente a monocultivos de soja (Figura 15).



Nota: Los cultivos de 2^{da} se consideraron separados de los mismos cultivos de 1^{ra} para el cálculo de HH.

Figura 15. Frecuencia relativa acumulada del índice de concentración de Herfindahl-Hirschman (HH) para uso del suelo en la cuenta del río Arrecifes, durante las campañas 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020.

4.3.2. Objetivos y limitaciones relevantes en las decisiones del uso de la tierra

La figura 16 muestra la frecuencia con la que los objetivos fueron elegidos dentro los tres más relevantes al decidir el uso de la tierra. Aumentar el rendimiento económico de la empresa, reducir el nivel de riesgo económico y mantener los niveles de nutrientes del suelo fueron los más elegidos.

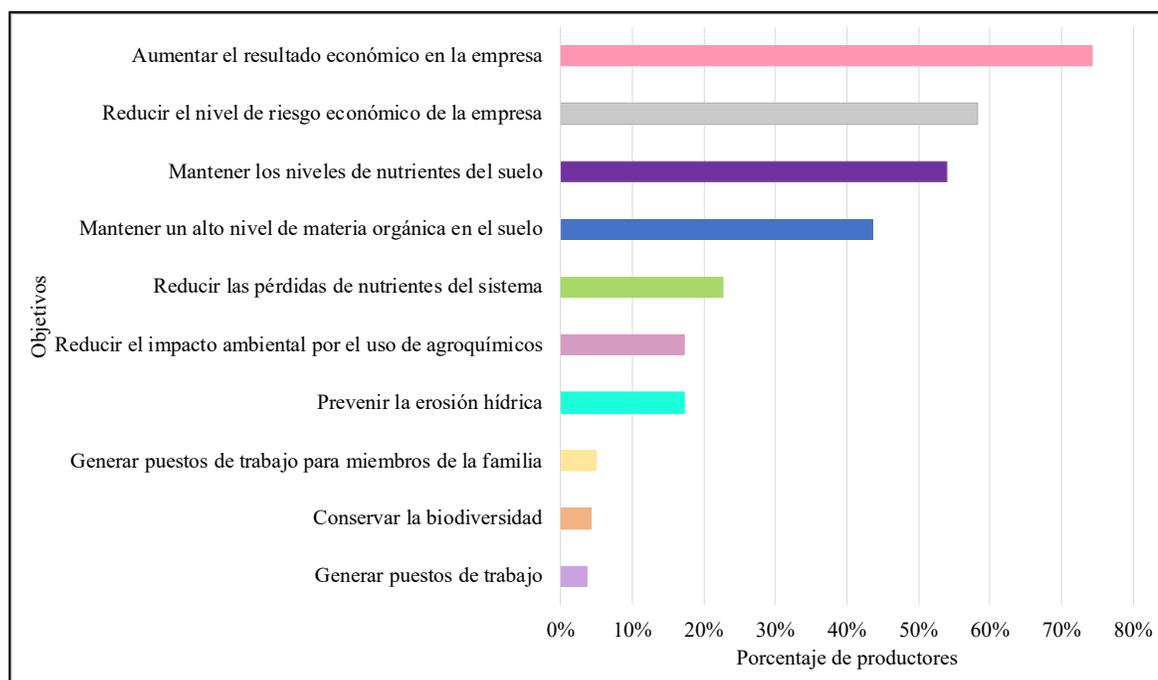


Figura 16. Porcentaje de productores que eligió cada objetivo dentro de los tres más relevantes a la hora de decidir el uso de la tierra agrícola.

La probabilidad de diversificación estuvo correlacionada con los objetivos más relevantes en la toma de decisiones. Por un lado, la probabilidad de diversificación y la selección del objetivo "reducir el nivel de riesgo económico de la empresa" fue significativamente negativa (Cuadro 13). Por otro lado, se obtuvo una correlación

significativamente positiva entre el nivel de diversificación y la selección del objetivo “mantener un nivel elevado de materia orgánica” (Cuadro 13).

Cuadro 13. Odds ratios y prueba de Chi² para la independencia entre objetivos y diversificación.

Objetivos	Odds Ratio	Pearson Chi ²	Valor P
Aumentar el resultado económico en la empresa	0.96	0.01	0.92
Reducir el nivel de riesgo económico de la empresa	0.44	6.14	0.01**
Prevenir la erosión hídrica	1.87	2.28	0.13
Generar puestos de trabajo para miembros de la familia	1	0.00	1
Conservar la biodiversidad	2.31	1.21	0.27
Reducir el impacto ambiental por el uso de agroquímicos	0.5	2.23	0.14
Mantener un alto nivel de materia orgánica en el suelo	1.98	4.40	0.04**
Reducir las pérdidas de nutrientes del sistema	0.64	1.21	0.27
Mantener los niveles de nutrientes del suelo	1.24	0.45	0.50
Generar puestos de trabajo	1.71	0.42	0.52

Nota: *p<0.1 **p<0.05 ***p<0.01 ****p=0

Número de observaciones =163 (HH > 2500 102 (0); HH ≤ 2500 61(1))

Dentro de las limitantes de los productores al momento de decidir el uso de la tierra, la disponibilidad de tierra para trabajar y de fondos para gastos de cultivo fueron las mencionadas con más frecuencia (Figura 18). La probabilidad de diversificación se correlaciono significativamente con la limitación disponibilidad de tierra para trabajar (Cuadro 14).

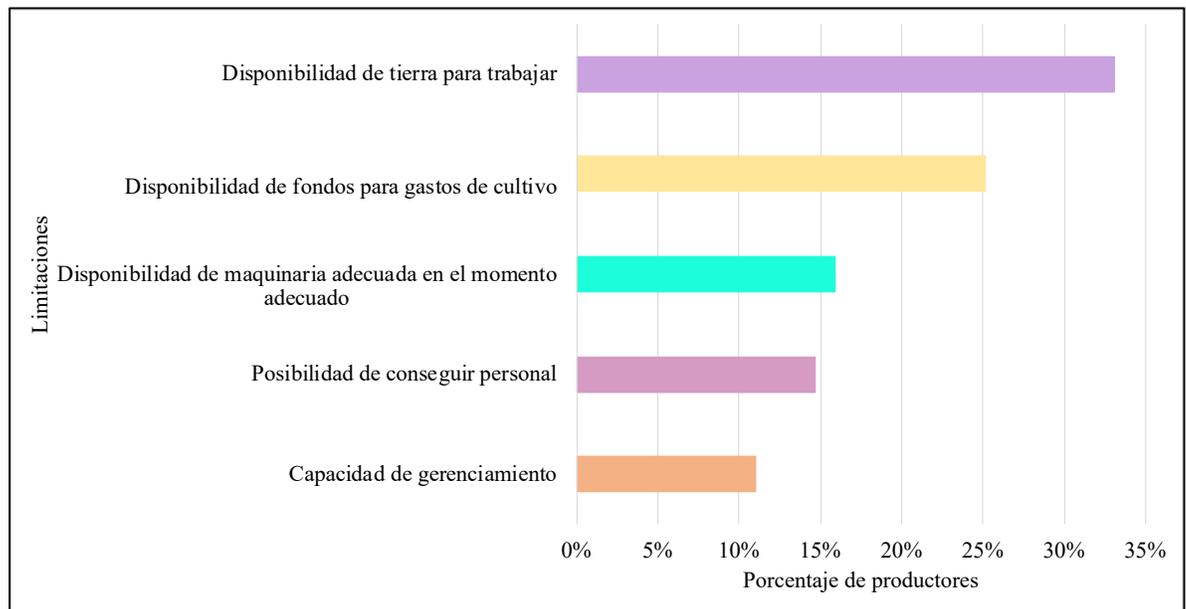


Figura 17. Porcentaje de productores que eligió cada limitación como la principal a la hora de decidir el uso de la tierra agrícola.

Cuadro 14. Odds ratios y prueba de χ^2 para la independencia entre limitaciones y diversificación.

Limitaciones	Odds Ratio	Pearson chi 2	Valor P
Disponibilidad de tierra para trabajar	2.20	5.45	0.02**
Disponibilidad de fondos para los gastos de los cultivos	1.07	0.02	0.89
Capacidad de gerenciamiento	0.81	0.20	0.65
Posibilidad de conseguir personal	0.57	1.46	0.23
Disponibilidad de maquinaria adecuada y en el momento correcto	0.62	1.55	0.21

Nota: * $p < 0.1$ ** $p < 0.05$ *** $p < 0.01$ **** $p = 0$

Número de observaciones = 163 (HH > 2500 102 (0); HH ≤ 2500 61(1))

La relación entre diversificación y las características de la unidad productiva y del decisor se plantea en el siguiente modelo.

$$P(\text{Diversificación}_i = 1|X) = \beta_0 + \beta_1 \text{Tam}_i + \beta_2 \text{Ten}_i + \beta_3 \text{Mprop}_i + \beta_4 \text{Iprop}_i + \beta_5 \text{Edad}_i + \beta_6 \text{Hs}_i + \beta_7 \text{HsR}_i + \beta_8 \text{HsNR}_i + \beta_9 \text{Exp}_i + \beta_{10} \text{Ing}_i + \beta_{11} \text{Pec}_i + \beta_{12} \text{DecA}_i + \beta_{13} \text{DecF}_i + \beta_{14} \text{DecO}_i + u_i \quad (\text{Eq. 12})$$

Donde Diversificación_i es 1 si el índice HH es igual o inferior a 2500 y 0 si el índice HH es superior a 2500. Tam es tamaño; Ten es tenencia; Mprop es Grupo con mayor proporción de suelo de capacidad de uso I; Iprop es Grupo con proporción intermedia de suelo de capacidad de uso I; Hs es Educación primario o secundaria, HsR es Educación superior relacionada con ciencias agrícolas; HsNR es Educación superior no relacionada con la actividad agrícola; Exp es Experiencia; Ing es la actividad agrícola como principal fuente de ingresos, Pec es actividad pecuaria; DecA es Toma de decisiones con asesor, DecF es Toma de decisiones con la familia, DecO Toma de decisiones (otros), U es el error.

Cuadro 15. Coeficientes estimados del modelo Probit para la posibilidad de elegir un mayor nivel de diversificación como variable respuesta.

	VARIABLES	COEFICIENTES	Error Estándar Robusto
Características de la unidad productiva	Tamaño	0.0006***	0.0001
	Tenencia	0.60**	0.30
	Grupo A (zona norte de la cuenca)	0.25	0.26
	Grupo C (zona este de la cuenca)	0.53**	0.28
Características del decisor	Edad	0.02	0.17
	Educación primaria o secundaria	0.35	0.39
	Educación superior relacionada con las ciencias agropecuarias	0,10	0.33
	Experiencia en la actividad agrícola	-0.03**	0.15
	Actividad agrícola como principal fuente de ingresos	-0.20	0.30
	Actividad pecuaria	0.61**	0.22
	Toma de decisión con un asesor	0.44	0.33
	Toma de decisión con la familia	-0.14	0.35
	Toma de decisión (otra)	-0.11	0.33
	Constante	-1.66	0.68
Nota: *p<0.1 **p<0.05 ***p<0.01 Número de observaciones=163 Wald Chi ² (13) = 31.92 Prob>Chi ² = 0.0025 Pseudo R ² = 0.14 Log pseudolikelihood= -93.25 Error Estándar ajustado para 120 decisores de clusters con tierra propia y alquilada			

Nota: En el modelo se incluyó una corrección del error estándar agrupando a los agricultores que trabajan tanto en propiedad como en alquiler. El error del modelo presenta heteroscedasticidad ya que existen conglomerados de productores que trabajan tanto tierra propia y como alquilada (120 conglomerados de productores).

Entre las características de la unidad productiva, el tamaño de la empresa, la tenencia de la tierra y la pertenencia a la zona este de la cuenca (grupo C) tuvieron efectos significativos sobre la diversificación (Cuadro 15). En cuanto a las características del decisor, la experiencia y la actividad pecuaria fueron estadísticamente significativa en el modelo (Cuadro 15).

Cuadro 16. Efecto marginal para las características de la unidad productiva y del decisor.

	Variables	Efecto marginal	Método Delta Error Estándar
Características de la unidad productiva	Tamaño	0.0002***	0.000
	Tenencia	0.19**	0.09
	Grupo A (zona norte de la cuenca)	0.80	0.08
	Grupo C (zona este de la cuenca)	0.17**	0.09
Características del decisor	Edad	0.01	0.00
	Educación primaria o secundaria	0.11	0.13
	Educación superior relacionada con las ciencias agropecuarias	0,03	0.11
	Experiencia en la actividad agrícola	-0.01**	0.00
	Actividad agrícola como principal fuente de ingresos	-0.06	0.10
	Actividad pecuaria	0.20**	0.07
	Toma de decisión con un asesor	-0.14	0.11
	Toma de decisión con la familia	-0.0459	0.11
Toma de decisión (otros)	-0.0366	0.11	
Nota: *p<0.1 **p<0.05 ***p<0.01			

Los efectos marginales de la tenencia de la unidad productiva y la realización de la actividad pecuaria por parte del decisor fueron los de mayor magnitud 0,19 y 020 respectivamente (Cuadro 16). La ubicación en la unidad productiva al este de la cuenca, en comparación con las localizadas al sur tuvo un efecto marginal de 0,17 (Cuadro 16).

Finalmente, los años de experiencia del decisor y el tamaño de la unidad productiva, tuvieron los menores efectos marginales, $-0,01$ y $0,002$, respectivamente (Cuadro 16).

4.4. Discusión

Existe relación entre la decisión de diversificar las secuencias y las características de la empresa agrícola y su responsable en la región pampeana argentina. Por un lado, las características de la empresa agrícola que influyen en la decisión de diversificar las secuencias de cultivos son el tamaño de la empresa, la tenencia de la tierra y la localización dentro de la cuenca del río Arrecifes. Por otro lado, la realización de actividad pecuaria y la experiencia fueron las características más destacadas que describen el perfil del decisor que influyen en la disposición a diversificar las secuencias del cultivo (Cuadro 15). Estos resultados respaldan nuestra hipótesis de trabajo, las empresas agrícolas con mayor superficie trabajada, con tierra propia y que combinan actividades agrícolas y pecuarias, son más diversificadas en comparación con empresas agrícolas con menor superficie trabajada, con tierras alquiladas y se dedican exclusivamente a la agricultura.

La probabilidad de diversificación y la selección de los objetivos "reducir el nivel de riesgo económico de la empresa" y "mantener un nivel elevado de materia orgánica" fue significativamente negativa y positivamente, respectivamente (Cuadro 13). Además, la probabilidad de diversificación se correlacionó significativamente con la limitación de disponibilidad de tierra para trabajar (Cuadro 14).

4.4.1. Tamaño de la unidad productiva

La diversificación estuvo positivamente correlacionada con el tamaño de la unidad productiva. El tamaño de la unidad productiva se consideró como las hectáreas sembradas durante las campañas 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020. Por cada hectárea adicional en la unidad productiva, el decisor tiene 0,02% más de probabilidad de optar por usos de la tierra que tiendan a una mayor diversificación de las secuencias de cultivo (Cuadro 16). Otros estudios también encontraron que la diversificación de cultivos es más factible en unidades productivas más grandes (Pope y Prescott 1980; Weiss y Briglauer 2002; Culas 2006; Ashfaq et al. 2008). Pope y Prescott (1980) llevaron a cabo su estudio en sistemas agrícolas en California, que incluían cultivos de invierno, fresas y tomates. Weiss y Briglauer (2002) evaluaron la diversificación en la actividad ganadera en Austria. Ashfaq (2008) examinó sistemas de cultivo en Pakistán que involucraban arroz, caña de azúcar y trigo. Por último, Culas (2006) estudió sistemas de cultivo en Noruega que incluían no solo cereales, sino también vegetales, frutas y diversas actividades ganaderas.

Los diferentes autores explican de diversas maneras la relación positiva entre la diversificación y el tamaño de la unidad de producción. Pope y Prescott (1980) sugieren que una mayor diversificación en unidades de producción más grandes es coherente con la teoría del riesgo, ya que las empresas diversifican para dispersar el riesgo. Culas (2006) explica la relación positiva entre la diversificación y el tamaño de la unidad de producción debido a la falta de economías de escala en la agricultura noruega. Ashfaq et al. (2008) lo explican por el hecho de que los agricultores más grandes tienen más recursos de tierra para asignar a diferentes cultivos y pueden dedicar más atención a la actividad agrícola en comparación con otras actividades fuera de la unidad de producción. En la región de las Pampas

argentinas, la relación positiva entre la diversificación y el tamaño de la unidad de producción se puede explicar de manera similar a lo que Ashfaq et al. propusieron en 2008. Esta relación se basa en la utilización más eficiente de los recursos de tierra y tiempo por una mayor superficie de tierra para el cultivo, lo que estimula la diversificación.

4.4.2. Tenencia de la tierra

La diversificación estuvo positivamente correlacionada la tenencia de la tierra. Por un lado, el decisor tiene un 19% más de probabilidades de optar por un uso de la tierra más diversificado cuando es propietario de la tierra. Por otro lado, decisor tiene un 88% más de probabilidades de optar por un uso de la tierra menos diversificados cuando es tierra alquilada.

Arora et al. (2015) encontraron que en la región pampeana cuando la tierra se gestiona bajo alquiler, incluso cuando hay continuidad en la gestión de los lotes, se pone más énfasis en el resultado económico a corto plazo, motivado por el costo inicial del alquiler. En este contexto, la correlación negativa entre la proporción de tierras alquiladas y la diversificación de la secuencia de cultivos parece lógica. El responsable de la toma de decisiones tendería a elegir secuencias simplificadas con alto predominio de soja, debido a que es el cultivo con la mayor tasa de rentabilidad (Lanteri 2009; Pengue 2009).

4.4.3. Localización de la unidad productiva

La diversificación de las secuencias de cultivos estuvo asociada con la localización de la unidad productiva. Las unidades productivas ubicadas al este de la cuenca (grupo C) tuvieron una probabilidad 17% más alta de optar por diversificar las secuencias que las ubicadas al sur de la cuenca (grupo B). Los grupos A, B y C tiene en promedio 45%, 22% y

3% de suelo clase I respectivamente (INTA, 1993). El grupo C ubicado al este de la cuenca tiene la menor proporción de suelo clase I, que es la mejor clase de suelo para agricultura. Por lo cual, es probable que estos campos tengan actividad ganadera complementando a la agrícola. La realización de ganadería con lleva a la incorporación de pasturas, verdes de invierno y verano y mayor proporción de maíz con lo cual las secuencias van a ser más diversificadas.

Los hallazgos de nuestro estudio respaldan los resultados encontrados por Culas (2006) en Noruega y Mishra et al. (2004) en los Estados Unidos, en lo que respecta a una relación positiva entre la ubicación geográfica y la diversificación. Sin embargo, a diferencia de nuestros resultados, estos estudios encontraron una mayor diversificación asociada a la presencia de suelos de mayor calidad.

4.4.4. Actividad pecuaria

Cuando el decisor realiza una actividad pecuaria, además de la agrícola, tiene un 19% más de probabilidad de optar por secuencias más diversificadas. “La rotación agrícola está pensada en función de la ganadería” dijo un productor agrícola-ganadero (Jornada a Campo del IPCVA, junio 2022). El hecho de que la secuencia de cultivos se piense en base a la ganadería, con lleva a la incorporación de pasturas, verdes de invierno y verano y mayor proporción de maíz con lo cual las secuencias van a ser más diversificadas.

4.4.5. Experiencia en la actividad agrícola

Nuestros resultados muestran una relación negativa entre la diversificación y la experiencia del tomador de decisiones. Por cada año adicional de experiencia en la actividad agrícola que tiene el tomador de decisiones, la probabilidad de diversificación disminuye en

un 1%. Es probable que el agricultor experimentado esté menos dispuesto a probar diferentes cultivos, ya que han encontrado un sistema estable y más simple para la toma de decisiones. Sin embargo, un estudio realizado por Ashfaq en 2008 en Pakistán encontró una relación no significativa y positiva entre la diversificación y la experiencia del tomador de decisiones. Es importante destacar que los sistemas analizados en ese estudio difieren de los examinados en este trabajo, ya que involucraban cultivos como arroz, caña de azúcar y trigo. Además, en un estudio realizado por Culas en 2006 en Noruega, también se encontró una relación positiva entre la diversificación y la experiencia de los tomadores de decisiones. Sin embargo, los sistemas estudiados en ese caso difieren de los analizados en este trabajo, ya que incluyen no solo cultivos de cereales, sino también vegetales, frutas y diversas actividades ganaderas. Además, las unidades de producción analizadas son más pequeñas, con un tamaño promedio de 25 hectáreas.

4.4.6. Objetivos del productor al decidir el uso de la tierra agrícola.

Por un lado, la probabilidad de diversificación está relacionada de manera positiva con la elección del objetivo "mantener un nivel elevado de materia orgánica". Esto se debe a que las secuencias simplificadas con una alta proporción de soja suelen tener una menor contribución y calidad de residuos en comparación con secuencias más diversificadas. Como resultado, el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo se ve afectado negativamente (Franzluebbbers et al., 1998; Studdert y Echeverría, 2000; Wright y Hons, 2004). Por otro lado, la probabilidad de diversificar las secuencias de cultivo está relacionada de manera negativa con la elección del objetivo de "reducir el nivel de riesgo económico de la empresa". Esta relación negativa se puede atribuir a que los tomadores de decisiones tienden a elegir

secuencias simplificadas con una alta predominancia de la soja, ya que es el cultivo con mayor tasa de retorno (Lanteri, 2009; Pengue, 2009).

4.4.7. Limitaciones del productor a la hora de decidir el uso de la tierra agrícola.

La probabilidad de diversificar tuvo una relación positiva con la limitación disponibilidad de tierra para trabajar. Los productores que consideran que la tierra es su recurso limitante, van a optar por usos del suelo que generen mayores resultados por unidad de superficie en lugar de por capital invertido. Las secuencias más diversificadas son elecciones razonables en esta situación (Andrade et al. 2022)

4.5. Conclusiones

Este capítulo analiza cómo influyen las diferentes características de la unidad productiva y de sus responsables en la decisión de diversificar las secuencias de cultivos. Los resultados indican que la diversificación está relacionada positivamente con el tamaño de la explotación, la tenencia de la tierra y la actividad pecuaria. A su vez, el hecho de que la unidad productiva se ubique al este de la cuenca tuvo una probabilidad más alta de optar por diversificar las secuencias que las ubicadas al sur de la cuenca. Por el contrario, encontramos una relación negativa entre diversificación y años de experiencia del decisor.

Por otro lado, se analizaron los objetivos que persigue el productor a la hora de decidir el uso de la tierra y las limitaciones a la que se enfrentan, luego se relacionaron con el nivel de diversificación. Se encontró una relación significativa entre el nivel de diversificación y la selección del objetivo "mantener un nivel elevado de materia orgánica" y "reducir el nivel de riesgo económico de la empresa", positiva y negativa respectivamente. Con respecto a las

limitaciones, se encontraron diferencias significativas positiva entre el nivel de diversificación y la limitación "Disponibilidad de tierra para trabajar".

Esta información es útil para comprender la heterogeneidad en el uso de la tierra y para las políticas públicas que promueven la intensificación sustentable.

-CAPÍTULO 5-

5. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES FINALES

5.1. Contexto del análisis abordado

Los sistemas agrícolas actuales tienen altos niveles de simplificación como resultado de la especialización en pocos cultivos y la estandarización de las prácticas de manejo. Si bien la productividad agrícola aumentó notablemente desde la segunda mitad del siglo XX, los sistemas agrícolas son cuestionados por la sociedad a nivel mundial debido a sus impactos ambientales (Rockström et al. 2017; Pretty et al. 2018). Por esta razón, la transformación de los sistemas agrícolas hacia trayectorias de intensificación sostenible es ineludible. Ante este escenario, la intensificación sostenible de los sistemas agrícolas se propone para explorar las sinergias entre producción y sostenibilidad (Pretty et al. 2018).

El concepto de intensificación sostenible es claro en el planteo de sus objetivos, pero es difuso en la definición de los lineamientos que permiten determinar el grado de alineamiento de sistemas productivos con las concepciones propuestas (Garnett y Godfray 2012; Pretty et al. 2018). Además, debido a las diferencias que surgen de la variabilidad de los ambientes naturales y las condiciones socioeconómicas, la trayectoria hacia la intensificación sostenible debe evaluarse a nivel regional (Weltin et al 2018). Por este motivo, considero que esta tesis aborda las escalas espaciales apropiadas para el estudio efectivo de intensificación sostenible de los sistemas agrícolas extensivos especializados en la producción de cultivos de grano. En el contexto provisto por la escala de cuenca, como una porción representativa de la zona núcleo pampeana, abordé el estudio de la toma de decisiones en los niveles establecimiento productivo y de lote agrícola, la unidad mínima de manejo en la que se hace efectiva la implementación de las decisiones agronómicas y económicas de la empresa agropecuaria.

Uno de los aspectos originales de mi investigación reside en haber estudiado los sistemas agrícolas predominantes en la región pampeana argentina mediante un enfoque integral basado en criterios múltiples. Además de seleccionar las secuencias de cultivos que más se alinean con las trayectorias de intensificación sostenible, para difundirlas es necesario conocer las secuencias de cultivos presentes y los factores que influyen en la elección de cada una. En la cuenca del río Arrecifes, se desconocen las secuencias de cultivos presentes, así como su relación con factores biofísicos, de la unidad productiva o del tomador de decisión.

5.2. Objetivos de la tesis

En el segundo capítulo de esta tesis, correspondiente a la ejecución del **primer objetivo**, comparé los sistemas agrícolas con un enfoque integral basado en múltiples criterios, evaluando conjuntamente las dimensiones económicas y ambientales.

En el tercer capítulo, relacionado con el **segundo objetivo**, identifiqué las secuencias de cultivos presentes en el área de estudio, sus proporciones y las relaciones con las variables físicas del suelo. En el cuarto capítulo, concerniente al **tercer objetivo** de la tesis, analicé las diferentes características de las unidades productivas y de los decisores que influyen sobre optar por secuencias agrícolas más alineadas con trayectorias de intensificación sostenible.

5.3. Hipótesis y principales resultados

La contribución más importante de esta tesis reside en la conceptualización de las nociones que definen la intensificación sostenible y su aplicación a situaciones productivas reales. Esto permitió jerarquizar un conjunto de secuencias de cultivos, que diferían en la diversidad de cultivos y el nivel de intensificación, según sea el grado de alineamiento con

trayectorias de intensificación sostenible. Otro aporte significativo de esta tesis es haber aumentado la comprensión sobre cómo se toman decisiones acerca de la implementación de las secuencias de cultivos. Aquí se aporta evidencia de sobre la influencia que tienen en la toma de decisiones las características biofísicas, del decisor y de la empresa agropecuaria.

La hipótesis 1 plantea que los sistemas agrícolas con un mayor grado de diversificación son las mejores opciones que sistemas con menor grado de diversificación desde un punto de vista integral considerando criterios económicos y ambientales y la relevancia percibida por las partes interesadas en estas dimensiones. Los niveles de diversificación de las secuencias de cultivos fueron caracterizados desde una perspectiva integral que incorpora dimensiones económicas y ambientales, así como información sobre la relevancia percibida por las partes interesadas de estas dimensiones están más alineadas a la trayectoria de intensificación sostenible. Esta hipótesis fue puesta a prueba en el capítulo 2. Las secuencias de cultivos más diversas tuvieron un mejor desempeño. La rotación de tercios (Tr/Sj-Mz-Sj) fue el sistema agrícola que ocupó el primer lugar en el conjunto de secuencias evaluados en la región de estudio. La secuencia Tr/Sj-Mz-Sj fue superior en indicadores económicos y ambientales, por lo que se posicionó en los primeros cuatro lugares desde el perfil de decisión ambiental y el orientado a la producción.

La hipótesis 2 plantea que las empresas agrícolas con mayor superficie trabajada, con tierra propia y que combinan actividades agrícolas y pecuarias, son más diversificadas en comparación con empresas agrícolas con menor superficie trabajada, con tierras alquiladas y se dedican exclusivamente a la agricultura. La hipótesis fue puesta a prueba en el capítulo 4. Se observó que la diversificación está relacionada positivamente con el tamaño de la unidad agrícola, la tenencia de la tierra y la actividad pecuaria.

5.4. Aportes de la tesis en relación con trabajos previos

En la región pampeana argentina se han estudiado algunas alternativas de intensificación sostenible en experimentos de mediano y largo plazo. Los análisis ex-post de estos ensayos generalmente consideran algunos aspectos del sistema de cultivo como el uso de recursos, la eficiencia, el drenaje profundo, la lixiviación de nitrógeno, el carbono y el nitrógeno orgánico del suelo, y la estructura del suelo (Andrade et al. 2015; Portela et al. 2016; Andrade et al. 2017; Restovich et al. 2019; Martínez et al. 2020; Crespo et al. 2021). Sin embargo, en la resolución de esta tesis propongo un análisis integral a partir de un análisis multicriterio PROMETHEE. El uso de esta herramienta permitió concretar la aplicación del concepto de intensificación sostenible, ya que permite combinar fuentes de información de objetivas y subjetivas. Este enfoque metodológico permitió la participación de diferentes actores sociales involucrados en el proceso en cuestión. Además, puede ser útil para la aplicación de políticas públicas y discusiones entre partes interesadas, ya que permite no sólo ordenar las alternativas sino también analizar como impacta cada indicador incluido en cada una, visualizando sinergias y compensaciones entre los mismos. El resultado obtenido fue que las secuencias de cultivos más diversas e intensificadas desde una perspectiva integral incorporando dimensiones económicas y ambientales, así como información sobre la relevancia percibida por las partes interesadas de estas dimensiones están más alineadas a la trayectoria de intensificación sostenible. Estos resultados, por un lado, son novedosos por la integridad del análisis. Por otro lado, los resultados coinciden con trabajos previos, realizados desde un enfoque ecofisiológico, los que aportaron evidencia firme de que las secuencias más diversificadas son las mejores alternativas para la región de estudio, especialmente las

que incluyen cultivos dobles de especies de ciclo invernal y estival (Caviglia et al. 2004; Caviglia y Andrade 2010; Andrade et al. al. 2015, 2017).

En Argentina se conocen mapas de cultivos de donde se puede extraer la proporción de cada cultivo en una determinada campaña (Ministerio de Agricultura de la Nación Argentina; de Abelleira et al. et al. et al. 2019, 2020, 2021). de Abelleira y Verón (2020), determinaron las secuencias de cultivos en un área de aproximadamente 60.000 ha dentro de la región pampeana. Esta tesis amplía el alcance de estudios previos porque evaluó las secuencias de cultivos en áreas más extensas, como la cuenca del río Arrecifes (1.145.288 ha). Además, esta tesis aporta información sobre las proporciones de las secuencias identificadas en la cuenca del río Arrecifes y su relación con variables biofísicas.

Finalmente, se evaluó la toma de decisión sobre el uso de la tierra de los productores. Si bien en la revisión de la bibliografía había evidencia de la relación entre diversificación y características de la unidad productiva y del decisor en sistemas agrícolas de diferentes países del mundo (e.g Pope y Prescott 1980 en EE. UU.; Weiss y Briglauer 2002 en Austria; Culas 2006 en Noruega; Ashfaq et al. 2008 en India), no había estudios previos para la región de estudio.

5.5. Debilidades de la tesis

Una debilidad de la tesis en el capítulo 2 es que, si bien se evaluaron los sistemas agrícolas más frecuentes en el área de estudio, se podrían evaluar nuevas secuencias para incorporar al análisis y evaluar cómo se comportan. Otra debilidad es que el ensayo solo se realizó en la localidad de Pergamino, que, si bien es una zona representativa de la Pampa Ondulada, el cinturón maicero de Argentina, no se capta la variabilidad espacial en la

respuesta de cada secuencia. En trabajos futuros se podría repetir el análisis en más sistemas agrícolas y en diferentes localidades.

En el capítulo 3, la debilidad del trabajo es que se utilizaron mapas de cultivos elaborados previamente, por falta de disponibilidad de verdades de campo y se analizaron sólo tres campañas. Para mejorar este capítulo, se podrían hacer clasificaciones de uso de suelo para el área de estudio, y extender el análisis a más campañas agrícolas para corroborar si se mantiene el porcentaje de cada secuencia. Por último, hay que considerar que el resultado es una estimación a partir de una muestra por lo que hay un margen de error en el resultado.

Finalmente, en el capítulo 4, la debilidad es el número de productores encuestado. En trabajos futuros se podrían entrevistar a más productores para reducir posibles errores. Además, en base a los resultados obtenidos se podrían reformular algunas preguntas para comprender mejor estos resultados.

5.6. Relación entre los objetivos de la tesis

En la escala de lote agrícola, se analizaron diferentes secuencias en el partido de Pergamino. El perfil de decisión orientado a la producción posiciona las secuencias de cultivo Tr/Sj-Mz-Sj en los primeros lugares del ordenamiento. Los sistemas con barbecho se posicionaron por encima de los de cultivos de cobertura, a pesar de la poca diferencia entre los dos manejos. El diagrama de flujo de los sistemas agrícolas para el perfil de decisión orientado al ambiente posiciona al sistema agrícola Tr/Sj-Mz-Sj-CC en el primer y segundo lugar (Capítulo 2).

A nivel cuenca, se evaluaron las secuencias de cultivos y su representatividad proporcional. La secuencia de cultivos posicionada en el primer lugar desde el perfil de

decisión orientado a la producción Tr/Sj-Mz-Sj sin cultivo de cobertura (rotación de tercios), es la que se encuentra en mayor proporción en la cuenca, representando un 35%. Luego, la secuencia de cultivos posicionada en el segundo lugar desde el perfil de decisión orientado a la producción y desde el primer lugar desde el perfil de decisión orientado al ambiente Tr/Sj-Mz-Sj con cultivo de cobertura, sólo se encontró en un 4%. Esta práctica es poco frecuente porque encontramos un conflicto entre indicadores ambientales y económicos en la incorporación de cultivos de cobertura. El resto de las secuencias que se evaluaron en el ensayo representan un 51,5% de la cuenca. Esto indica que un poco más de la mitad de las secuencias que se realizan en la cuenca no se alinean a la trayectoria de intensificación sostenible porque hay otras secuencias que mejoran en conjunto los indicadores económicos y ambientales (Capítulo 3).

A nivel cuenca se evaluó la toma de decisión en el establecimiento agropecuario. Diferentes factores influyen en la decisión de diversificar la secuencia de cultivo, como mayor tamaño de la unidad productiva, tierra propia, la realización de actividad pecuaria, que el tomador de decisión tenga menor experiencia y que tenga como objetivo conservar la materia orgánica (Capítulo 4) (Figura 19).

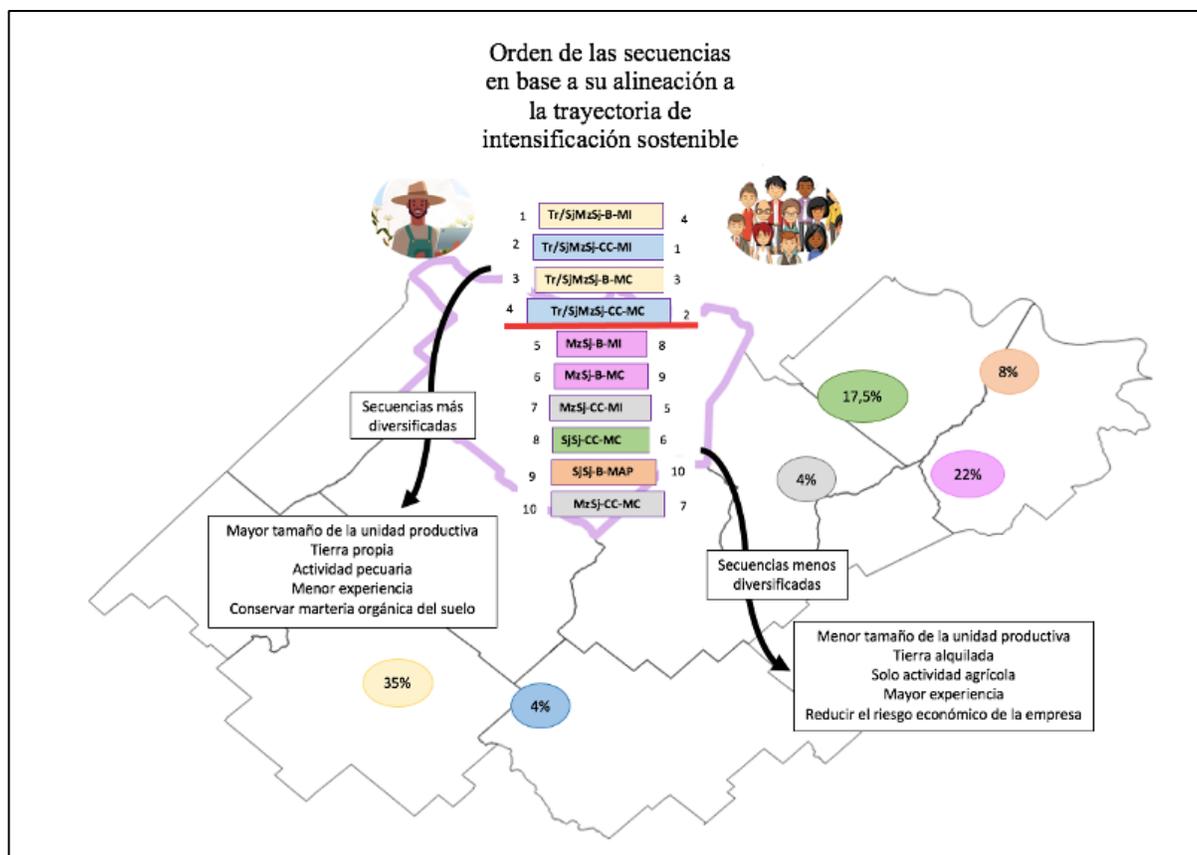


Figura 18. Orden de las secuencias en base a su alineación a la trayectoria de intensificación sostenible, su proporción en la cuenca del río Arrecifes (en relación con los colores) y características de la unidad productiva y del decisor que se asociadas.

5.7. Conclusiones finales

En esta tesis se conceptualizó y aplicó un conjunto de ideas que definen el concepto de intensificación sostenible. Un grupo de secuencias de cultivos, diferenciadas por sus niveles de diversificación y de intensificación, fueron ordenadas en una trayectoria de intensificación sostenible. Se determinaron las secuencias se están eligiendo en la región y se evaluó con características biofísicas, del decisor y de la empresa agropecuaria.

Se concluyó que en la cuenca del río Arrecifes, hay oportunidad para diversificar e intensificar las secuencias de cultivos en más de la mitad de la superficie. Un 35% realiza la

secuencia alineada al perfil de decisión con enfoque productivo (Tr/Sj-Mz-Sj). Sin embargo, sólo un 5% de la secuencia alineada al perfil de decisión con enfoque ambiental (Tr/Sj-Mz-Sj-CC). Esta secuencia incluye cultivos de cobertura y los costos económicos de incorporar esta práctica a pesar de los beneficios ambientales, desalentaría su difusión.

Los factores biofísicos, como la clase de capacidad de uso de suelo o el índice de productividad de la tierra, tendrían una contribución prácticamente nula en la elección de las secuencias de cultivos. En cambio, las características de la empresa y su responsable tienen, comparativamente, mayor incidencia en la decisión de diversificar las secuencias. Las limitantes para diversificar relacionadas con las características de la empresa son el tamaño reducido de la unidad productiva, que se encuentre en tierra alquilada y que sólo se realice actividad agrícola, sin que esta se combine con actividad pecuaria. Por otro lado, con respecto a su responsable, las limitantes son que el productor tenga mayor experiencia (i.e. más años en la actividad), y que su objetivo sea reducir el nivel de riesgo económico de la empresa. Esta información es útil para comprender los factores que definen la heterogeneidad en el uso de la tierra en la escala regional, y como base de información para que políticas públicas promuevan la intensificación sustentable. El alcance de los resultados de esta tesis es a nivel cuenca del río Arrecifes. Sin embargo, la metodología aplicada en los tres capítulos puede ser aplicada en diferentes regiones del mundo para analizar la trayectoria de intensificación sostenible.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abdalla, M., Hastings, A., Cheng, K., Yue, Q., Chadwick, D., Espenberg, M., Espenberg, M., Truu, J., Rees, R.M., y Smith, P. (2019). A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Global Change Biology*.
- Álvarez, C., Costantini, A., Alvarez, C. R., Alves, B. J. R., Jantalia, C. P., Martellotto, E. E., y Urquiaga, S. (2012). Soil nitrous oxide emissions under different management practices in the semiarid region of the Argentinian Pampas. *Nutrient Cycling in AgroecoSystems*, 94(2–3).
- Álvarez, R., Steinbach, H. S., y De Paepe, L.J. (2014). A regional audit of nitrogen fluxes in pampean agroecoSystems. *Agriculture, EcoSystems and Environment*, 184.
- Andrade, J. F., Poggio, S. L., Ermácora, M., y Satorre, E. H. (2015). Productivity and resource use in intensified cropping Systems in the rolling pampa, Argentina. *European Journal of Agronomy*, 67.
- Andrade, J. F., Poggio, S. L., Ermácora, M., y Satorre, E. H. (2017). Land use intensification in the Rolling Pampa, Argentina: Diversifying crop sequences to increase yields and resource use. *European Journal of Agronomy*, 82.
- Andrade, J. F., Ermacora, M., y Satorre, E. H. (2022). Assessing benefits of land use intensification on extensive grain cropping systems of the Pampas. *European Journal of Agronomy*, 135, 126484.
- Andriulo, A., Mary, B., y Guerif, J. (1999). Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie*, 19(5).
- Arora, P., Bert, F., Podesta, G., y Krantz, D. H. (2015). Ownership effect in the wild: Influence of land ownership on agribusiness goals and decisions in the Argentine Pampas. *Journal of Behavioral and Experimental Economics*, 58, 162-170.
- Ashfaq M, Hassan S, Naseer ZM, Baig A, y Asma J (2008) Factors affecting farm diversification in rice–wheat. *Pak J Agric Sci* 45:45–47
- Austin, A. T., Piñeiro, G., y Gonzalez-Polo, M. (2006). More is less: Agricultural impacts on the N cycle in Argentina. In *Biogeochemistry* (Vol. 79).
- Bacigaluppo, S., Enrico, J. M., Estancich, E. P., Garcia, A. V., Kehoe, E., Lago, M. E., ... y Salvagiotti, F. (2020). La intensificación sustentable de la producción, los servicios ecosistémicos y los cultivos de cobertura. EEA Oliveros, INTA.
- Baigorria, T., Cazorla, C., Santos Sbuscio, D., Aimetta, B., y Belluccini, P. (2012). Efecto de

triticale (\times Triticosecale Wittman) rolado como cultivo de cobertura en la supresión de malezas, rendimiento y margen bruto de soja. *Informe de Actualización Técnica. EEA Marcos Juárez.*, 25.

- Baigorria, T., Alvarez, C., Cazorla, C., Belluccini, P., Aimetta, B., Pegoraro, V., Boccolini, M., Conde, B., Faggioli, V., Ortiz, J. y Tuesca, D. (2019). Environmental impact and cover crop roller crimper in no-till soybean production | Impacto ambiental y rolado de cultivos de cobertura en producción de soja bajo siembra directa. *Ciencia Del Suelo*, 37(2).
- Barnes, A. P., y Thomson, S. G. (2014). Measuring progress towards sustainable intensification: How far can secondary data go? *Ecological Indicators*, 36.
- Baulcombe, D., Crute, I., Davies, B., Dunwell, J., Gale, M., Jones, J., ... y Toulmin, C. (2009). Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. The Royal Society.
- Beck, L; J Römbke; AM Breure y C Mulder. (2005). Considerations for the use of soil ecological classification and assessment concepts in soil protection. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 62: 189-200.
- Berhongaray, G., Alvarez, R., De Paepe, J., Caride, C., y Cantet, R. (2013). Land use effects on soil carbon in the argentine pampas. *Geoderma*, 192(1).
- Berkhout, E. D., Schipper, R. A., Keulen, H. Van, y Coulibaly, O. (2011). Heterogeneity in farmer's production decisions and its impact on soil nutrient use: Results and implications from northern Nigeria. *Agricultural Systems*, 104(1), 63–74.
- Bernardos, J., y Zaccagnini, M. E. (2011). El uso de insecticidas en cultivos agrícolas y su riesgo potencial para las aves en la Región Pampeana. *El Hornero*, 26(1).
- Bojanich, M., Baigorria, T., Lardone, A., y Cazorla, C. (2010). Análisis económico del cultivo de maíz sobre vicia utilizada como cultivo de cobertura. Informe técnico, EEA INTA Marcos Juárez.
- Bolinder, M. A., Janzen, H. H., Gregorich, E. G., Angers, D. A., y VandenBygaart, A. J. (2007). An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.
- Bolsa de Comercio de Rosario (2022). <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/mercado-de-granos/cotizaciones/cotizaciones-locales-0>. Consultado en 2015-2016-2017-2018-2019-2020.
- Bolsa de Comercio de Rosario (junio 2021) Las gramíneas cada vez más cerca del 1 a 1 con la soja. <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/gea/seguimiento-de-cultivos/informe-semanal-zona-nucleo/las-gramineas-cada-vez-mas-cerca>

- Bommarco, R., Kleijn, D., y Potts, S. G. (2013). Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution*, 28(4), 230-238.
- Brans, J. P., y Vincke, P. (1985). Note—A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Management Science*, 31(6), 647-656.
- Brans, J.-P., Vincke, P. y Mareschal, B. (1986), “How to select and how to rank projects: the PROMETHEE method”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 24 No. 2, pp. 228-38.
- Buckwell, A., Nordang Uhre, A., Williams, A., Polakova, J., Blum, W., Schiefer, J., ... & Haber, W. (2014). Sustainable intensification of European agriculture.
- Bullock, D. G. (1992). Crop rotation. *Critical reviews in plant sciences*, 11(4), 309-326.
- 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.
- Cabrini, S. M., Cristeche, E. R., Engler, P. L., Esposito, M. E., Manchado, J. C., Mathey, M. D., ... y Dupleich, J. A. (2018). Percepción sobre el impacto ambiental de la producción agropecuaria de la región pampeana argentina. *Universidad Nacional de General Sarmiento*.
- Cabrini, S. M., Portela, S. I., Cano, P. B., y López, D. A. (2019). Heterogeneity in agricultural land use decisions in Argentine Rolling Pampas: The effects on environmental and economic indicators. *Cogent Environmental Science*, 5(1), 1667709.
- Carciochi, W., Divito, G., Reussi, N., y Echeverría, H. (2015). Las mejores prácticas de manejo de la fertilización azufrada en cultivos extensivos. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 20, 2-6.
- Cascardo, A., Pizarro, J., Peretti, M. A., y Gómez, P. (1991). Sistemas de producción predominantes. *El desarrollo agropecuario pampeano*, 95-146.
- Cassman, K.G., (1999). Ecological intensification of cereal production Systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96, 5952–5959.
- Caviglia, O. P., Sadras, V. O., y Andrade, F. H. (2004). Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas: I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat–soybean. *Field Crops Research*, 87(2-3), 117-129.

- Caviglia, O. P., y Andrade, F. H. (2010). Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean Pampas: capture and use efficiency of environmental resources. *Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*, 3, 1-8.
- Caviglia, O. P., Wingeyer, A. B., y Novelli, L. E. (2016). El rol de los suelos agrícolas frente al cambio climático. *Serie de Extensión INTA Paraná*, 78, 27-32.
- Caviglia, O. P., Rizzalli, R. H., Monzon, J. P., Garcia, F. O., Melchiori, R. J. M., Martinez, J. J., ... y Andrade, F. H. (2019). Improving resource productivity at a crop sequence level. *Field Crops Research*, 235, 129-141.
- Cerda, J., Vera, C., y Rada, G. (2013). Odds ratio: aspectos teóricos y prácticos. *Revista médica de Chile*, 141(10), 1329-1335.
- Collette, L., Hodgkin, T., Kassam, A., Kenmore, P., Lipper, L., Nolte, C., Stamoulis, K. y Steduto, P. (2011). Ahorrar para crecer. Un nuevo paradigma de la agricultura. Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola en pequeña escala (pp.11-46). Italia Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Conway, G., y Waage, J. (2010). Science and Innovation for Development Science and Innovation. *Society*, 82(3).
- Crespo, C., Wyngaard, N., Sainz Rozas, H., Studdert, G., Barraco, M., Gudelj, V., Barbagetala, P., y Barbieri, P. (2021). Effect of the intensification of cropping sequences on soil organic carbon and its stratification ratio in contrasting environments. *Catena*, 200.
- Culas, R. J. (2006). Causes of farm diversification over time: an Australian perspective on an Eastern Norway model. *Australian Farm Business Management Journal*, 3(1), 1-9.
- Dauber, J., y Miyake, S. (2016). To integrate or to segregate food crop and energy crop cultivation at the landscape scale? Perspectives on biodiversity conservation in agriculture in Europe. *Energy, Sustainability and Society*, 6(1), 1-11.
- de Abelleira D, Banchemo S, Verón S, Mosciaro J, y Volante J. (2019). Mapa Nacional de Cultivos campaña 2018/2019. Colección 1. Versión 1. Informe. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.
- de Abelleira, D., Veron, S. R., Banchemo, S., Mosciaro, M. J., Franzoni, A., Boasso, M. A., ... y Volante, J. N. (2020). Mapa Nacional de cultivos. Campaña 2019/2020. Versión 1 Publicación no. 2. INTA.
- de Abelleira, D., y Verón, S. (2020). Crop rotations in the Rolling Pampas: Characterization, spatial pattern and its potential controls. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100320.

- de Abelleira D, Verón S, Banchemo S, Iturralde Elortegui M, Valiente S, Puig O, Murray F, Martini JP, Zelaya K, Maidana D, Varlamoff N, Peiretti J, Benedetti P, Portillo J, Melilli M, Maidana E, Goytía Y, Sapino V, Regonat A, Cracogna F, Espíndola C, Parodi M, Colombo F, Scarel J, Ayala J, Martins L, Basanta M, Rausch A, Almada G, Boero L, Calcha J, Chiavassa A, Lopez de Sabando M, Kurtz D, Marini F, Sarrailhe S, Petek M, Propato T, Ferraina A, Pezzola A, Winschel C, Muñoz S, Mesa J, y Volante J. (2021). Mapa Nacional de Cultivos campaña 2020/2021. Colección 1. Versión 1.0. Informe. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina.
- Decreto 133/2015 <http://servicios.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/255000-259999/256979/norma.htm>
- Dessart, F. J., Barreiro-Hurlé, J. y van Bavel, R. (2019) 'Behavioural factors affecting the adoption of sustainable farming practices: a policy-oriented review', *European Review of Agricultural Economics*, Vol. 46(3), pp. 417–471.
- Diaz-Balteiro, L., Iglesias-Merchan, C., Romero, C., y de Jalón, S. G. (2020). The sustainable management of land and fisheries resources using multicriteria techniques: A meta-analysis. *Land*, 9(10).
- Dile, Y. T., Karlberg, L., Temesgen, M., y Rockström, J. (2013). The role of water harvesting to achieve sustainable agricultural intensification and resilience against water related shocks in sub-Saharan Africa. *Agriculture, ecosystems & environment*, 181, 69-79.
- Ding, G., Liu, X., Herbert, S., Novak, J., Amarasiriwardena, D., y Xing, B. (2006). Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*, 130(3-4), 229-239.
- Dogliotti, S., Rossing, W. A. H., y Van Ittersum, M. K. (2003). ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations. *European Journal of Agronomy*, 19(2), 239-250.
- Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchian, M., y Tittonell, P. (2011). Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*.
- Eggleston H.S., Miwa K., Srivastava N. y Tanabe K. *Iges*, (2006) IPCC 2008. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories – A primer, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- Ellis, T., Turnbull, J. F., Knowles, T. G., Lines, J. A., y Auchterlonie, N. A. (2016). Trends during development of Scottish salmon farming: An example of sustainable intensification?. *Aquaculture*, 458, 82-99.
- Evia, G., y Sarandón, S. J. (2002). Aplicación del método multicriterio para valorar la sustentabilidad de diferentes alternativas productivas en los humedales de la Laguna Merín, Uruguay. *Agroecología: El Camino Hacia Una Agricultura Sustentable*.

- FAO (2011) Save and grow—a policymaker’s guide to the sustainable intensification of smallholder crop production. United Nations, Rome.
- FAO, UNDP y UNEP (2021). A multi-billion-dollar opportunity – Repurposing agricultural support to transform food Systems. Rome, FAO.
- FAOSTAT (2023). Mayores exportadores de productos https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/commodities_by_country. Consultado febrero 2023
- Ferraro, D. O., Ghersa, C. M., y Sznajder, G. A. (2003). Evaluation of environmental impact indicators using fuzzy logic to assess the mixed cropping Systems of the Inland Pampa, Argentina. *Agriculture, EcoSystems and Environment*, 96(1–3).
- Firbank, L. G., Elliott, J., Drake, B., Cao, Y., y Gooday, R. (2013). Evidence of sustainable intensification among British farms. *Agriculture, EcoSystems and Environment*, 173.
- Fischer, T., Byerlee, D., y Edmeades, G. (2014). Crop yields and global food security. Will yield increase continue to feed the world? ACIAR Monograph Series, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., y Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369).
- Franzluebbers, A. J., Hons, F. M., y Zuberer, D. A. (1998). In situ and potential CO₂ evolution from a Fluventic Ustochrept in southcentral Texas as affected by tillage and cropping intensity. *Soil and Tillage Research*, 47(3-4), 303-308.
- Gadanakis, Y., Bennett, R., Park, J., y Areal, F. J. (2015). Evaluating the Sustainable Intensification of arable farms. *Journal of Environmental Management*, 150.
- Gaitán, J. J., Navarro, M. F., Tenti Vuegen, L. M., Pizarro, M. J., y Carfagno, P. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Ediciones INTA.
- García, F., y González Sanjuan, M. F. (2010). Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 48(6)
- Garnett, T., y Godfray, C. (2012). Sustainable intensification in agriculture. Navigating a course through competing food Ssystem priorities. *Food Climate Research Network and the Oxford Martin Programme on the Future of Food*, (July).

- Gaspari, F., Vázquez, M., y Lanfranco, J. (2006). Relación entre la erosión hídrica superficial y la distribución de la pérdida de calcio, magnesio y potasio del suelo. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 106(1), 47-56.
- Ghida Daza, C. (2009). *Indicadores económicos para la gestión de empresas agropecuarias*". Ediciones INTA ISSN 1851-6955 N°11.
- Giller, K. E., Andersson, J. A., Corbeels, M., Kirkegaard, J., Mortensen, D., Erenstein, O., y Vanlauwe, B. (2015). Beyond conservation agriculture. *Frontiers in plant science*, 6, 870.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., y Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*.
- Gómez-Limón, J. A., Arriaza, M., y Riesgo, L. (2003). An MCDM analysis of agricultural risk aversion. *European Journal of Operational Research*, 151(3), 569-585.
- Gordon, C., Manson, R., Sundberg, J., y Cruz-Angón, A. (2007). Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosystem. *Agriculture, ecosystems y environment*, 118(1-4), 256-266.
- Grau, R., T. Kuemmerle, y L. Macchi. (2013). Beyond "land sparing versus land sharing": environmental heterogeneity, globalization and the balance between agricultural production and nature conservation. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 5: 1–7.
- Gregorich, E. G., Rochette, P., St-Georges, P., McKim, U. F., y Chan, C. (2008). Tillage effects on N₂O emission from soils under corn and soybeans in Eastern Canada. *Canadian Journal of Soil Science*, 88(2).
- Gumma, M. K., Thenkabail, P. S., Teluguntla, P., Rao, M. N., Mohammed, I. A., y Whitbread, A. M. (2016). Mapping rice-fallow cropland areas for short-season grain legumes intensification in South Asia using MODIS 250 m time-series data. *International Journal of Digital Earth*, 9(10), 981-1003.
- Hall, A. J., Rebella, C. M., Ghersa, C. M., y Culot, J. P. (1992). Field-crop Systems of the Pampas. *EcoSsystems of the World*, 18, 413-450.
- Hellin, J., Erenstein, O., Beuchelt, T., Camacho, C., y Flores, D. (2013). Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop–livestock systems in Mexico. *Field Crops Research*, 153, 12-21.
- Hisse, I. R., Biganzoli, F., Peper, A. M., y Poggio, S. L. (2022). Annual productivity of cropping sequences: Responses to increased intensification levels. *European Journal of Agronomy*, 137, 126506.
- INDEC (2022). *Complejos exportadores. Comercio exterior. Volumen 6, N°4.* https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/complejos_03_22BE7DF71128.p

df consultado el 20 de abril de 2022.

- INTA (1993) Carta de Suelos de la República Argentina a una escala de 1:50000.
- Jägermeyr, J., Gerten, D., Schaphoff, S., Heinke, J., Lucht, W., y Rockström, J. (2016). Integrated crop water management might sustainably halve the global food gap. *Environmental Research Letters*, 11(2), 025002.
- Jansen, S. J. T. (2011). *The Measurement and Analysis of Housing Preference and Choice*. The Measurement and Analysis of Housing Preference and Choice.
- Jobbágy, E. G., Aguiar, S., Piñeiro, G., y Garibaldi, L. A. (2021). Impronta ambiental de la agricultura de granos en Argentina: revisando desafíos propios y ajenos.
- Jornada a Campo del IPCVA (junio 2022). La clave está en la diversificación productiva: ganadería rentable y eficiente en zonas agrícolas
- Karlen, D. L., Hurley, E. G., Andrews, S. S., Cambardella, C. A., Meek, D. W., Duffy, M. D., y Mallarino, A. P. (2006). Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt locations. *Agronomy journal*, 98(3), 484-495.
- Kenmore, P. E., Stannard, C., y Thompson, P. B. (2004). *The ethics of sustainable agricultural intensification* (Vol. 3). Food & Agriculture Org.
- Knowler, D., y Bradshaw, B. (2007). Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and Synthesis of recent research. *Food policy*, 32(1), 25-48.
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., y Tette, J. (1992). A Method to Measure The Environmental Impact of Pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin*, 139(139).
- Krupnik, T. J., Valle, S. S., Islam, S., Hossain, A., Gathala, M. K., y Qureshi, A. S. (2015). Energetic, hydraulic and economic efficiency of axial flow and centrifugal pumps for surface water irrigation in Bangladesh. *Irrigation and Drainage*, 64(5), 683-693.
- Kumar, P y Kumar, S. (2018) Agricultural diversification – An opportunity for smallholders (A case study of Sonipat District of Haryana). *IOSR Journal of Humanities and Social Science*. Vol. 23 (1). India.
- Król, A., Księżak, J., Kubińska, E., y Rozakis, S. (2018). Evaluation of sustainability of maize cultivation in Poland. A prospect theory-PROMETHEE approach. *Sustainability* (Switzerland), 10(11).
- Kylili, A., Christoforou, E., Fokaides, P. A., y Polycarpou, P. (2016). Multicriteria analysis for the selection of the most appropriate energy crops: the case of Cyprus. *International Journal of Sustainable Energy*, 35(1).

- Lanteri, L. (2009). Respuesta a precios del área sembrada de soja en la Argentina (No. 2009/44). Working Paper.
- Lemaire, G.; A. Franzluebbers; P. De Faccio Carvalho y B. Dedieu. (2014). Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 190: 4-8.
- León RJC, Rusch GM, Oesterheld M (1984) Pastizales pampeanos, impacto agropecuario. *Phytocoenol* 12: 201-218.
- Leteinturier, B., Herman, J. L., De Longueville, F., Quintin, L., y Oger, R. (2006). Adaptation of a crop sequence indicator based on a land parcel management system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(4), 324-334.
- Levavasseur, F., Martin, P., Bouty, C., Barbottin, A., Bretagnolle, V., Théron, O., ... y Piskiewicz, N. (2016). RPG Explorer: A new tool to ease the analysis of agricultural landscape dynamics with the Land Parcel Identification System. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 541-552.
- Lewczuk, N. A. (2017). Estudio de las emisiones de óxido nitroso en sistemas agrícolas de la región pampeana. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Liebman, M., y Dyck, E. (1993). Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological applications*, 3(1), 92-122.
- Linguist, B., Van Groenigen, K. J., Adviento-Borbe, M. A., Pittelkow, C., y Van Kessel, C. (2012). An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. *Global Change Biology*, 18(1), 194-209.
- Liu, L., Xiao, X., Qin, Y., Wang, J., Xu, X., Hu, Y., y Qiao, Z. (2020). Mapping cropping intensity in China using time series Landsat and Sentinel-2 images and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 239, 111624.
- Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K., y Verbeke, A. (2004). PROMETHEE y AHP: El diseño de sinergias operativas en el análisis multicriterio: Fortalecimiento de PROMETHEE con ideas de AHP. *European journal of operational research*, 153(2), 307-317.
- Maggi, A. E., Behrends Kraemer, F., Introcaso, R. M., y Thompson, D. (2016). Caracterización física y química de un Argiudol vértico de la Pampa Ondulada con erosión hídrica en el surco y entresurco. *Ciencia del suelo*, 34(1), 113-126.
- Mahon, N., Crute, I., Di Bonito, M., Simmons, E. A., y Islam, M. M. (2018). Towards a broad-based and holistic framework of Sustainable Intensification indicators. *Land Use Policy*, 77. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.009>

- Mamani, R. P. P. (2016). Especialización y diversificación de cultivos transitorios en la región de Puno. *Semestre Económico*, 5(1), 127-145.
- Mandryk, M., Reidsma, P., Kanellopoulos, A., Groot, J. C., y van Ittersum, M. K. (2014). The role of farmers' objectives in current farm practices and adaptation preferences: a case study in Flevoland, the Netherlands. *Regional Environmental Change*, 14(4), 1463-1478.
- Mao, L. L., Zhang, L. Z., Zhang, S. P., Evers, J. B., van der Werf, W., WANG, J. J., ... y Spiertz, H. (2015). Resource use efficiency, ecological intensification and sustainability of intercropping systems. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(8), 1542-1550.
- Mareschal, B., y De Smet, Y. (2009). Visual PROMETHEE: Developments of the PROMETHEE & GAIA multicriteria decision aid methods. In 2009 IEEE International conference on industrial engineering and engineering management (pp. 1646-1649). IEEE.
- Maroto Borrego, J. V. (2014). *Historia de la Agronomía*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Martínez, JP, Crespo, C., Sainz Rozas, H., Echeverría, H., Studdert, G., Martínez, F., ... y Barbieri, P. (2020). Carbono orgánico del suelo en secuencias de cultivo con predominio de soja en la Pampa húmeda argentina. *Manejo y uso del suelo*, 36 (1), 173-183.
- Mary, B. y Wylleman, R. (2001). "Characterization and Modelling of Organic C and N in Soil in Different Cropping Systems," in *Proceedings of the 11th Nitrogen Workshop*, pp. 251–252, Reims, France.
- Mastrangelo, M. y M. Gavin. (2012). Trade Offs between Cattle Production and Bird Conservation in an Agricultural Frontier of the Gran Chaco of Argentina. *Conservation Biology* 26: 1040-1051.
- McFadden, D. (1973). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior.
- McNamara, K. T., y Weiss, C. (2005). Farm household income and on-and off-farm diversification. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 37(1), 37-48.
- Milesi Delaye, L. A., Irizar, A. B., Andriulo, A. E., y Mary, B. (2013). Effect of continuous agriculture of grassland soils of the Argentine Rolling Pampa on soil organic carbon and nitrogen. *Applied and Environmental Soil Science*, 2013.
- Ministerio de Agricultura de la Nación Argentina (2021) *Estimaciones Agrícolas*. (<https://www.magyp.gob.ar/datosabiertos/>)
- Mishra, A. K., El-Osta, H. S., y Sandretto, C. L. (2004). Factors affecting farm enterprise diversification. *Agricultural finance review*.

- Monzon, J. P., Mercau, J. L., Andrade, J. F., Caviglia, O. P., Cerrudo, A. G., Cirilo, A. G., Vega, C.R.C, Andrade, F.H. y Calviño, P. A. (2014). Maize-soybean intensification alternatives for the Pampas. *Field Crops Research*, 162.
- Mouratiadou, I., Latka, C., van der Hilst, F., Müller, C., Berges, R., Bodirsky, B. L., Ewert, F., Faye, B., Heckelei, T., Hoffman, M., Lehtonen, H., Lorite, I. J., Nende, C., Palosuo, T., Rodríguez, A., Rotter, R.P., Ruiz-Ramos M., Stella, T., Webber, H., y Wicke, B. (2021). Quantifying sustainable intensification of agriculture: The contribution of metrics and modelling. *Ecological Indicators*, 129.
- Novelli, L. E., Caviglia, O. P., y Melchiori, R. J. M. (2011). Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma*, 167, 254-260.
- Nyagumbo, I., Mkuhlani, S., Pisa, C., Kamalongo, D., Dias, D., y Mekuria, M. (2016). Maize yield effects of conservation agriculture based maize-legume cropping systems in contrasting agro-ecologies of Malawi and Mozambique. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 105, 275-290.
- Oenema, O., Kros, H., y De Vries, W. (2003). Approaches and uncertainties in nutrient budgets: Implications for nutrient management and environmental policies. In *European Journal of Agronomy* (Vol. 20).
- Pacín, F., y Oesterheld, M. (2014). In-farm diversity stabilizes return on capital in Argentine agro-ecosystems. *Agricultural Systems*, 124, 51-59.
- Parkin, T. B., y Kaspar, T. C. (2006). Nitrous Oxide Emissions from Corn-Soybean Systems in the Midwest. *Journal of Environmental Quality*, 35(4).
- Parkin, M., y Loría, E. (2010). *Microeconomía de Parkin*. Pearson.
- Parkin, M., y Loría, E. (2015). *Microeconomía, un enfoque para América Latina*. México, DF: Pearson Educación.
- Pecar, M. (2008) *Teoría de Portafolio: Utilización para Evaluar los Riesgos Agropecuarios*. Oficina de Riesgo Agropecuario de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos
- Pengue, W. A. (2009). Cuestiones económico-ambientales de las transformaciones agrícolas en las Pampas. *Problemas del desarrollo*, 40(157), 137-161.
- Piccinetti, C. F., Bacigaluppo, S., Di Ciocco, C. A., De Tellería, J. M., y Salvaggiotti, F. (2021). Soybean in rotation with cereals attenuates nitrous oxide emissions as compared with soybean monoculture in the Pampas region. *Geoderma*, 402, 115192. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115192>
- Pierce, F. J., y Rice, C. W. (1988). Crop rotation and its impact on efficiency of water and

- nitrogen use. Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen, 51, 21-42.
- Plourde, J.D., Pijanowski, B.C., y Pekin, B.K., (2013). Evidence for increased monoculture cropping in the Central United States. *Agric. Ecosyst. Environ.* 165, 50–59.
- Ponce, C. Arnillas, C. y Escobal, J. (2015) Cambio climático, uso de riego y estrategias de diversificación de cultivos en la sierra peruana. En *Agricultura Peruana: Nuevas miradas desde el Censo Agropecuario*. Grade, Perú.
- Poeplau, C., y Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agriculture, EcoSjstems and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
- Pope, R. D., y R. Prescott (1980). Diversification in relation to farm size and other socio-economic characteristics. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 62 No.3 pp: 554-559.
- Portela, S. I., Restovich, S. B., González, H. M., y Torti, M. J. (2016). Deep drainage and nitrogen leaching reduction in crop rotations with cover crops. *Ecologia Austral*, 26(3).
- Porter, P. M., Crookston, R. K., Ford, J. H., Huggins, D. R., y Lueschen, W. E. (1997). Interrupting yield depression in monoculture corn: Comparative effectiveness of grasses and dicots. *Agronomy Journal*, 89(2), 247-250.
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*.
- Pretty, J., Toulmin, C., y Williams, S. (2011). Sustainable intensification in African agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9(1).
- Pretty, J., y Bharucha, Z. P. (2014). Sustainable intensification in agricultural Systems. *Annals of Botany*.
- Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., Goulson, D., Hartley, S., Lampkin, N., Morris, C., Pierzynski, G., Prasad, V. V., Reganold, J., Rockström, J., Smith, P., Thorne P., y Wratten, S. (2018). Global assessment of agricultural Sjstem redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8).
- Principiano M. y Acciaresi H. A. (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 / Vol 10 / N°33: 37-4*
- Principiano, M. A., y Acciaresi, H. A. (2018). Estado de situación del uso de herbicidas en cultivos extensivos agrícolas de la región noroeste de la provincia de Buenos Aires y el impacto ambiental asociado. Ediciones INTA.

- PROMETHEE, Visual. (2013) Visual PROMETHEE 1.4 manual.
- Rahman, S. (2008). Determinants of crop choices by Bangladeshi farmers: A bivariate probit analysis. *Asian Journal of Agriculture and Development*, 5(1362-2016-107694), 29-41.
- Restovich, S. B., Andriulo, A. E., Armas-Herrera, C. M., Beribe, M. J., y Portela, S. I. (2019). Combining cover crops and low nitrogen fertilization improves soil supporting functions. *Plant and Soil*, 442(1-2).
- Riquier, J.; Bramao, D.L. y Cornet, I.L. (1970). A new system of soil appraisal in terms of actual potential productivity. *FAO, AGLTERS*, 70/6.
- Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., y Gordon, L. (2017). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46(1).
- Rodríguez, M. P., Domínguez, A., Moreira Ferroni, M., Wall, L. G., y Bedano, J. C. (2020). The diversification and intensification of crop rotations under no-till promote earthworm abundance and biomass. *Agronomy*, 10(7), 919.
- Rodríguez y Mirensky (2015) Metodología estadística para la estimación de las superficies sembradas con cultivos extensivos - método de segmentos aleatorios. *Revista Argentina de Estadística Aplicada*. https://untref.edu.ar/raesta/n2_art6.php#
- Rzezak, H. F. (2008). El conflicto entre el Gobierno y el campo en Argentina. Lineamientos políticos, estrategias discursivas y discusiones teóricas a partir de un abordaje multidisciplinar. *Iberóforum. Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana*, 3(6), 82-106.
- Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J. É., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., Reau, R. y Doré, T. (2008). Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping Systems: Implications for using multi-criteria decision-aid methods. A review. *Agronomy for Sustainable Development*.
- Sasal, M.C. (2012). Factores condicionantes de la evolución estructural de suelos limosos bajo siembra directa. Efecto sobre el balance de agua. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires Argentina. 126 pp.
- Satorre, E. H. (2005). Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia hoy*, 15(87), 24-31.
- Satorre, E. H., y Andrade, F. H. (2021). Cambios productivos y tecnológicos de la agricultura extensiva argentina en los últimos quince años. *Cienc. Hoy*, 29(173), 19-27.
- Sattari, S. Z., Bouwman, A. F., Martínez Rodríguez, R., Beusen, A. H. W., y Van Ittersum, M. K. (2016). Negative global phosphorus budgets challenge sustainable intensification of grasslands. *Nature communications*, 7(1), 10696.

- Sattler, C., y Nagel, U. J. (2010). Factors affecting farmers' acceptance of conservation measures. A case study from north-eastern Germany. *Land Use Policy*, 27(1), 70-77.
- Scherer, L. A., Verburg, P. H., y Schulp, C. J. E. (2018). Opportunities for sustainable intensification in European agriculture. *Global Environmental Change*, 48, 43-55.
- Shackelford, G. E., Steward, P. R., German, R. N., Sait, S. M., y Benton, T. G. (2015). Conservation planning in agricultural landscapes: hotspots of conflict between agriculture and nature. *Diversity and Distributions*, 21(3), 357-367.
- Shukla, P., Skea, J., y Buendia, E. C. (2019). IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food. IPCC.
- Smith, A., Snapp, S., Chikowo, R., Thorne, P., Bekunda, M., y Glover, J. (2017). Measuring sustainable intensification in smallholder agroeco Systems: A review. *Global Food Security*.
- Sok, J., Borges, J. R., Schmidt, P., y Ajzen, I. (2021). Farmer behaviour as reasoned action: a critical review of research with the theory of planned behaviour. *Journal of Agricultural Economics*, 72(2), 388-412.
- Solbrig, O. T. (1997). Towards a sustainable Pampa agriculture: past performance and prospective analysis.
- Speir, S. L., Tank, J. L., Trentman, M. T., Mahl, U. H., Sethna, L. R., Hanrahan, B. R., y Royer, T. V. (2022). Cover crops control nitrogen and phosphorus transport from two agricultural watersheds at multiple measurement scales. *Agriculture, EcoSjstems and Environment*, 326.
- Streletskaya, N. A., Bell, S. D., Kecinski, M., Li, T., Banerjee, S., Palm-Forster, L. H. and Pannell, D., (2020) 'Agricultural adoption and behavioral economics: Bridging the gap', *Applied Economic Perspectives and Policy*, Vol. 42(1), pp. 54–66.
- Struik, P. C., y Kuyper, T. W. (2017). Sustainable intensification in agriculture: the richer shade of green. A review. *Agronomy for sustainable development*, 37, 1-15.
- Studdert, G. A., y Echeverria, H. E. (2000). Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 64(4), 1496-1503.
- Subsecretaría de agricultura, Argentina (2022). <https://public.tableau.com/app/profile/fhorn/viz/Cutivosdecoberturav2/Dashboard>. Accessed in 12 February 2022.

- Suter, M., Connolly, J., Finn, J. A., Loges, R., Kirwan, L., Sebastià, M. T., y Lüscher, A. (2015). Nitrogen yield advantage from grass–legume mixtures is robust over a wide range of legume proportions and environmental conditions. *Global change biology*, 21(6), 2424-2438.
- Szumilas, M. (2010). Explaining odds ratios. *Journal of the Canadian academy of child and adolescent psychiatry*, 19(3), 227.
- Talukder, B. (2016). Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) for Agricultural Sustainability Assessment.
- Talukder, B., y Hipel, K. W. (2018). The PROMETHEE framework for comparing the sustainability of agricultural Sjstems. *Resources*, 7(4).
- Thenail, C., Joannon, A., Capitaine, M., Souchère, V., Mignolet, C., Schermann, N., ... y Baudry, J. (2009). The contribution of crop-rotation organization in farms to crop-mosaic patterning at local landscape scales. *Agriculture, ecosystems & environment*, 131(3-4), 207-219.
- Thomas, F., Midler, E., Lefebvre, M. y Engel, S. (2019) ‘Greening the common agricultural policy: A behavioural perspective and lab-in-the-field experiment in Germany’, *European Review of Agricultural Economics*, Vol. 46(3), pp. 367–392.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., y Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
- Tittonell, P. (2014). Ecological intensification of agriculture-sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*.
- Townsend, T. J., Ramsden, S. J., y Wilson, P. (2016). How do we cultivate in England? Tillage practices in crop production systems. *Soil use and management*, 32(1), 106-117.
- Vanclay, F. (2009). Multifunctional Agriculture: A Transition Theory Perspective - By Geoff A. Wilson. *Geographical Research*, 47(2).
- Vicente, G., y Engler, P. (2008). Valoración económica del balance de nitrógeno y fósforo de los principales rubros agrícolas y pecuarios en la provincia de Entre Ríos. *Agricultura Sustentable. Serie Extensión*, (51).
- Viglizzo, E. F., Frank, F. C., Carreño, L. V., Jobbagy, E. G., Pereyra, H., Clatt, J., ... y Ricard, M. F. (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global change biology*, 17(2), 959-973.
- Wander, M. M., y Traina, S. J. (1996). Organic matter fractions from organically and conventionally managed soils: I. Carbon and nitrogen distribution. *Soil Science Society of America Journal*, 60(4), 1081-1087.

- Wani, S. P., Chander, G., Sahrawat, K. L., y Pardhasaradhi, G. (2015). Soil-test-based balanced nutrient management for sustainable intensification and food security: case from Indian semi-arid tropics. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(sup1), 20-33.
- Weiss, C. R., y Briglauer, W. (2002). Determinants and dynamics of farm diversification (No. 723-2016-48972).
- Weltin, M., Zasada, I., Piorr, A., Debolini, M., Geniaux, G., Moreno, O., ... y Schulp, C. J. E. (2018). Conceptualising fields of action for sustainable intensification – A systematic literature review and application to regional case studies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 257, 68–80.
- Wezel, A., Soboksa, G., McClelland, S., Delespesse, F., y Boissau, A. (2015). The blurred boundaries of ecological, sustainable, and agroecological intensification: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1283-1295.
- White, T., y Irwin, G., (1972), Farm Size and Spezialization, in: Ball, G., und Heady, E., (Eds.) *Size, Structure and Future of Farms*, Ames: Iowa State University Press.
- Wingeyer, A. B., Amado, T. J. C., Pérez-Bidegain, M., Studdert, G. A., Perdomo Varela, C. H., Garcia, F. O., y Karlen, D. L. (2015). Soil quality impacts of current South American agricultural practices. *Sustainability (Switzerland)*.
- Willock, J., Deary, I. J., Edwards-Jones, G., Gibson, G. J., McGregor, M. J., Sutherland, A., ... y Grieve, R. (1999). The role of attitudes and objectives in farmer decision making: business and environmentally-oriented behaviour in Scotland. *Journal of agricultural economics*, 50(2), 286-303.
- Wright, A. L., y Hons, F. M. (2004). Soil aggregation and carbon and nitrogen storage under soybean cropping sequences. *Soil science society of America journal*, 68(2), 507-513.
- Zhou, M., y Butterbach-Bahl, K. (2014). Assessment of nitrate leaching loss on a yield-scaled basis from maize and wheat cropping systems. *Plant and soil*, 374, 977-991.

7. Anexos

7.1. Anexo 1. Detalle de los parámetros utilizados en el cálculo de los criterios

7.1.1. Margen bruto

Para el cálculo de la renta por cosecha se utilizó el precio disponible cada año en el momento de la cosecha en la Bolsa de Comercio de Rosario, 2022. Los insumos y la mano de obra se valoraron en el momento en que se utilizaron. Para los costos de comercialización se utilizaron las tarifas de Agricultores Federados Argentinos (AFA) y para los costos de fletes se utilizaron las tarifas de la Confederación Argentina de Transporte Automotor de Cargas (CATAC: Confederación Argentina de Transporte Automotor de Cargas). Los precios están expresados en dólares estadounidenses. El costo de la renta de la tierra no está incluido en los cálculos de costos directos.

7.1.2. Aporte económico por derecho a la exportación

Tasa del impuesto a la exportación específica para cada producto y variada a lo largo del período considerado

Cultivo	Campaña				
	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020
			--%--		
Soja	30	30	28	28	33
Maíz	0	0	0	10	12
Trigo	23	0	0	10	7

Con base en la proporción de la producción exportada de cada producto, se considera que los ingresos del gobierno por estos impuestos son para el 100% de la producción de soja y el 60% para la producción de maíz y trigo. Esto se debe a que el trigo y el maíz no se exportan en su totalidad porque se utilizan internamente en industrias y alimentación animal.

7.1.3. Balance de carbono del suelo

Parámetros utilizados en el modelo AMG (Andriulo et al., 1999; Milesi Delaye et al., 2013).

Variable	Valor	Referencia
Carbono de biomasa vegetal	0,4	Medido en el ensayo
Relación entre biomasa de raíces y biomasa aérea	0,3	Bolinder, et al. 2007
Coefficiente de humificación del maíz	0,13	Mary and Wylleman, 2001
Coefficiente de humificación trigo	0,13	Milesi, et al. 2013
Coefficiente de humificación soja	0,17	Milesi, et al. 2013
Cobertura del coeficiente de humificación	0,25	Milesi, et al. 2013
Coefficiente de mineralización siembra directa	0,078	Milesi, et al. 2013

7.1.4. Impacto ambiental por uso de plaguicidas

Basado en los agroquímicos utilizados (ver detalles en Hisse, et.al. 2022). EIQ consultado en: <https://cals.cornell.edu/new-york-state-integrated-pest-management/risk-assessment/eiq/calculadora-de-eiq>.

$$\text{EIQ} = \text{Trabajador agrícola} \{C * ((DT * 5) + (DT * P))\} + \text{Consumidor} \{(C * ((S+P)/2) * SY) + L\} + \text{Ecológico} \{(F * R) + (D * ((S+P)/2) * 3) + (Z * P * 3) + (B * P * 5)\} / 3$$

DT = toxicidad dérmica, C = toxicidad crónica, SY = sistematicidad, F = toxicidad para peces, L = potencial de lixiviación, R = potencial de pérdida superficial, D = toxicidad para aves, S = vida media en el suelo, Z = toxicidad para las abejas, B = toxicidad para artrópodos benéficos, y P = vida media de la superficie de la planta.

7.2. Anexo 2. Análisis de sensibilidad

Tal como se propone en el manual PROMETHEE, se utilizaron Intervalos de Estabilidad para realizar el análisis de sensibilidad. Los Intervalos de Estabilidad permiten comprobar el impacto en el análisis del cambio de los pesos (PROMETHEE, 2013). Los Cuadros muestran el peso asignado a cada criterio, y el rango en el que se puede modificar sin cambiar el orden de los sistemas agrícolas. Por ejemplo, el margen bruto en el perfil de decisión con un perfil de decisión orientado a la producción tiene asignado un peso del 25%, el sistema agrícola que está en la primera posición se mantendrá si ese peso varía de 23 a

100. Esto muestra que pequeños cambios en el peso de cada criterio no cambia el orden de los sistemas agrícolas.

7.2.1. Intervalo de estabilidad de peso para el perfil de decisión orientado a la producción.

Criterio	Peso asignado	Rango de cambio de peso en el que la clasificación de las siguientes posiciones no cambia										
		1 ^{ra}	1 ^{ra} y 2 ^{da}	1 ^{ra} a 3 ^{ra}	1 ^{ra} a 4 ^{ta}	1 ^{ra} a 5 ^{ta}	1 ^{ra} a 6 ^{ta}	1 ^{ra} a 7 ^{ma}	1 ^{ra} a 8 ^{va}	1 ^{ra} a 9 ^{na}	1 ^{ra} a 10 ^{ma}	
		--%--										
Margen bruto	25	23 - 100	23 - 32	23 - 32	23 - 32	23 - 32	23 - 32	23 - 32	23 - 32	23 - 29	24 - 29	24 - 29
Riesgo económico	12	11 - 78	11 - 19	11 - 19	11 - 19	11 - 19	11 - 19	11 - 19	11 - 19	11 - 19	12 - 19	12 - 19
Tasa de retorno	5	3 - 14	3 - 9	3 - 9	3 - 9	3 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 8	5 - 8	5 - 8
Aporte económico por derecho de exportación	3	0 - 29	0 - 29	0 - 29	0 - 27	0 - 20	0 - 15	0 - 13	0 - 10	3 - 10	3 - 10	3 - 10
Balance de carbono del suelo	8	0 - 9	3 - 9	3 - 9	3 - 9	3 - 9	3 - 9	3 - 9	4 - 9	4 - 8	4 - 8	4 - 8
Emisiones netas de gases de efecto invernadero	4	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 4	0 - 4	0 - 4
Balance de fósforo	8	3 - 24	4 - 24	4 - 24	4 - 15	4 - 15	4 - 9	4 - 9	4 - 9	8 - 9	8 - 9	8 - 9
Exceso de azúfre en el suelo	4	2 - 33	2 - 8	2 - 8	2 - 8	2 - 8	2 - 8	2 - 8	2 - 8	3 - 8	3 - 8	3 - 8
Exceso del azúfre en el suelo	3	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	2 - 6	2 - 6	2 - 6	2 - 6	1 - 5	1 - 5
Impacto Ambiental por el uso de agroquímicos - Consumidor	4	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 5	0 - 5
Impacto Ambiental por el uso de agroquímicos - Ecológico	4	0 - 7	0 - 7	0 - 7	0 - 7	0 - 7	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 5	0 - 5
Impacto Ambiental por el uso de agroquímicos - Trabajador	4	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 6	0 - 4	0 - 4
Diversificación de rotaciones	8	0 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	4 - 9	5 - 9	5 - 9	5 - 8
Intensificación de rotaciones	8	0 - 22	0 - 22	0 - 22	0 - 22	0 - 22	0 - 15	0 - 15	3 - 15	3 - 8	3 - 8	3 - 8

7.2.3. Anexo 3. Encuesta

Encuesta sobre la toma de decisión en la empresa agrícola

Estimado productor,

Los datos obtenidos en esta encuesta serán utilizados para estudiar como los productores toman decisiones sobre el uso de la tierra, como parte de una tesis doctoral.

La encuesta abarca los partidos de Arrecifes, Baradero, Capitán Sarmiento, Chacabuco, Colón, General Arenales, Junín, Pergamino, Rojas, Salto y San Pedro.

Estimamos que le llevará unos 15 minutos completar la encuesta y las respuestas son anónimas.

Queremos agradecerle desde ya por su esfuerzo en responder este cuestionario.

¿Cuál es su edad?

¿Cuál es su grado de educación alcanzado?

Primario

Secundario

Terciario no relacionado con las ciencias agropecuarias

Terciario relacionado con las ciencias agropecuarias

Universitario no relacionado con las ciencias agropecuarias

Universitario relacionado con las ciencias agropecuarias

Posgrado no relacionado con las ciencias agropecuarias

Posgrado relacionado con las ciencias agropecuarias

¿Cuántos años de experiencia tiene en la actividad agrícola?

¿Qué actividades realiza?

Ninguna

Agrícola

Ganadera

Otro (especifique)

¿Es la actividad agropecuaria su principal fuente de ingresos?

Sí

No

¿Posee tierra propia?

Sí

No

Si desea déjenos su contacto para recibir los resultados de esta encuesta (opcional)

Parte A: Tierra propia

Encuesta sobre la toma de decisión en la empresa agrícola

Toma de decisión en **tierra propia**

¿Qué secuencia de cultivos tuvo su tierra propia en las últimas 3 campañas?

Ej: Maíz - Soja 1° - Trigo/Soja 2°

¿En qué localidad se encuentran la mayor cantidad de hectáreas propias trabajadas?

En caso de tener hectáreas propias en otra localidad además de la mencionada, ¿podría indicar la/s localidad/es?

¿Cuántas hectáreas tiene en propiedad?

¿Cuántas hectáreas de su propiedad dedica a la agricultura?

¿Cede la tierra propia en alquiler?

No
 Sí (sin restricciones en el contrato)
 Sí (con restricciones en el contrato) ¿Cuáles?

¿Cómo decide el uso de la tierra propia?

Individualmente
 Junto con un asesor
 Junto con uno o más familiares
 Otro (especifique)

Si recuerda ¿Podría indicar para la campaña 2019/2020 la cantidad de hectáreas o el porcentaje que sembró en tierra propia para cada uno de los siguientes cultivos?

Soja
 Maíz
 Maíz tardío
 Trigo/Soja 2^{da}
 Cebada/Soja 2^{da}
 Arveja/Maíz 2^{da}
 Cultivo de cobertura
 Verdeo de invierno
 Pastura
 Otro (especifique)

Si recuerda ¿Podría indicar para la campaña 2018/2019 la cantidad de hectáreas o el porcentaje que sembró en tierra propia para cada uno de los siguientes cultivos?

Soja
 Maíz
 Maíz tardío
 Trigo/Soja 2^{da}
 Cebada/Soja 2^{da}
 Arveja/Maíz 2^{da}
 Cultivo de cobertura
 Verdeo de invierno
 Pastura
 Otro (especifique)

Si recuerda ¿Podría indicar para la campaña 2017/2018 la cantidad de hectáreas o el porcentaje que sembró en tierra propia para cada uno de los siguientes cultivos?

Soja

Maíz
 Maíz tardío
 Trigo/Soja 2^{da}
 Cebada/Soja 2^{da}
 Arveja/Maíz 2^{da}
 Cultivo de cobertura
 Verdeo de invierno
 Pastura
 Otro (especifique)

¿Podría indicar los 3 objetivos MÁS RELEVANTES a la hora de tomar decisiones en tierra propia?

Aumentar el resultado económico en la empresa
 Reducir el nivel de riesgo económico de la empresa
 Prevenir la erosión hídrica
 Generar puestos de trabajo para los miembros de su familia
 Conservar la biodiversidad
 Reducir el impacto ambiental por el uso de agroquímicos
 Mantener un alto nivel de materia orgánica en el suelo
 Reducir las pérdidas de nutrientes del sistema
 Mantener los niveles de nutrientes del suelo
 Generar puestos de trabajo

¿Si tiene objetivos que no fueron mencionados en la pregunta anterior, ¿Podría indicar cuales son?

¿Podría indicar los 3 objetivos MENOS RELEVANTES a la hora de tomar decisiones en tierra propia?

Aumentar el resultado económico en la empresa
 Reducir el nivel de riesgo económico de la empresa
 Prevenir la erosión hídrica
 Generar puestos de trabajo para los miembros de su familia
 Conservar la biodiversidad
 Reducir el impacto ambiental por el uso de agroquímicos
 Mantener un alto nivel de materia orgánica en el suelo
 Reducir las pérdidas de nutrientes del sistema
 Mantener los niveles de nutrientes del suelo
 Generar puestos de trabajo

¿Podría ordenar los siguientes factores que representan las restricciones más importantes en el uso de la tierra propia? (1 es más importante y 5 menos importante)

Disponibilidad de tierra para trabajar

Capacidad de gerenciamiento

Posibilidad de conseguir personal

Disponibilidad de maquinaria adecuada y en el momento correcto

Disponibilidad de fondos para los gastos de los cultivos

Si tiene restricciones que no fueron mencionados en la pregunta anterior, ¿Podría indicar cuales son?

¿Cuáles considera que son las principales limitantes para incluir una mayor diversidad de cultivos en su rotación en tierra propia?

Además de la tierra propia, ¿trabaja tierra en alquiler?

Sí

No

Parte B:

Encuesta sobre la toma de decisión en la empresa agrícola

Toma de decisión en **tierra alquilada**

¿Qué secuencia de cultivos tuvo en la tierra alquilada en las últimas 3 campañas?

Ej: Maíz - Soja 1° - Trigo/Soja 2°

¿En qué localidad se encuentran la mayor cantidad de hectáreas alquiladas?



En caso de alquilar en otra localidad además de la mencionada, ¿podría indicarla/s localidad/es?

¿Cuántas hectáreas alquila?

¿Cuántas hectáreas de alquiler dedica a la agricultura?

¿Cuál es la modalidad más frecuente de alquiler para agricultura?

- Contrato por una campaña, quintales fijos
- Contrato por una campaña, a porcentaje
- Contrato por más de una campaña, quintales fijos
- Contrato por más de una campaña, a porcentaje

En la modalidad más frecuente de alquiler ¿Le alquila la tierra a un miembro de su familia?

- Sí
- No
- Sólo un porcentaje

En la modalidad más frecuente de alquiler ¿Existen restricciones en el contrato sobre el uso de la tierra?

- No
- Sí (¿Cuáles?)

¿Hace cuánto tiempo trabaja los lotes bajo la modalidad más frecuente de alquiler?

- Menos de 3 años
- De 3 a 5 años
- De 6 a 10 años
- Más de 10 años

Si recuerda ¿Podría indicar para la campaña 2019/2020 la cantidad de hectáreas o el porcentaje que sembró en tierra alquilada para cada uno de los siguientes cultivos?

- Soja
- Maíz
- Maíz tardío
- Trigo/Soja 2^{da}

Cebada/Soja 2^{da}
 Arveja/Maíz 2^{da}
 Cultivo de cobertura
 Verdeo de invierno
 Pastura
 Otro (especifique)

Si recuerda ¿Podría indicar para la campaña 2018/2019 la cantidad de hectáreas o el porcentaje que sembró en tierra alquilada para cada uno de los siguientes cultivos?

Soja
 Maíz
 Maíz tardío
 Trigo/Soja 2^{da}
 Cebada/Soja 2^{da}
 Arveja/Maíz 2^{da}
 Cultivo de cobertura
 Verdeo de invierno
 Pastura
 Otro (especifique)

Si recuerda ¿Podría indicar para la campaña 2017/2018 la cantidad de hectáreas o el porcentaje que sembró en tierra alquilada para cada uno de los siguientes cultivos?

Soja
 Maíz
 Maíz tardío
 Trigo/Soja 2^{da}
 Cebada/Soja 2^{da}
 Arveja/Maíz 2^{da}
 Cultivo de cobertura
 Verdeo de invierno
 Pastura
 Otro (especifique)

¿Podría indicar los 3 objetivos MÁS RELEVANTES a la hora de tomar decisiones en tierra alquilada?

Aumentar el resultado económico en la empresa
 Reducir el nivel de riesgo económico de la empresa
 Prevenir la erosión hídrica
 Generar puestos de trabajo para los miembros de su familia
 Conservar la biodiversidad
 Reducir el impacto ambiental por el uso de agroquímicos
 Mantener un alto nivel de materia orgánica en el suelo
 Reducir las pérdidas de nutrientes del sistema
 Mantener los niveles de nutrientes del suelo
 Generar puestos de trabajo

Si tiene objetivos que no fueron mencionados en la pregunta anterior, ¿Podría indicar cuales son?

¿Podría indicar los 3 objetivos MENOS RELEVANTES a la hora de tomar decisiones en tierra alquilada?

Aumentar el resultado económico en la empresa
 Reducir el nivel de riesgo económico de la empresa
 Prevenir la erosión hídrica
 Generar puestos de trabajo para los miembros de su familia
 Conservar la biodiversidad
 Reducir el impacto ambiental por el uso de agroquímicos
 Mantener un alto nivel de materia orgánica en el suelo
 Reducir las pérdidas de nutrientes del sistema
 Mantener los niveles de nutrientes del suelo
 Generar puestos de trabajo

¿Podría ordenar los siguientes factores que representan las restricciones más importantes en el uso de la tierra alquilada? (1 es más importante y 5 menos importante)

Disponibilidad de tierra para trabajar
 Capacidad de gerenciamiento
 Posibilidad de conseguir personal
 Disponibilidad de maquinaria adecuada y en el momento correcto
 Disponibilidad de fondos para los gastos de los cultivos

Si tiene restricciones que no fueron mencionados en la pregunta anterior, ¿Podría indicar cuales son?

¿Cómo decide el uso de la tierra de la modalidad más frecuente de alquiler?

Individualmente
Junto con el propietario/los propietarios del campo
Otro (especifique)



¿Cuáles considera que son las principales limitantes para incluir una mayor diversidad de cultivos en su rotación en tierra alquilada?