

Rol del intercultivo de lino con leguminosas forrajeras en la sustentabilidad ecológica. Evaluación mediante indicadores

Role of flax intercropping with forage legumes in ecological sustainability. Evaluation through indicators

Griselda E. Sánchez Vallduví*

Curso Oleaginosas y Cultivos Regionales, Laboratorio de Investigación y Reflexión en Agroecología (LIRA). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina

Verónica P. Colman

Curso Oleaginosas y Cultivos Regionales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina

Nora L Tamagno.

Curso Oleaginosas y Cultivos Regionales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina

Revista de la Facultad de Agronomía

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Periodicidad: Continua

vol. 122, 2023

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepción: 1 de agosto 2022

Aprobación: 14 de diciembre 2022

Publicación: febrero 2024

URL: <http://portal.amelica>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e130>

Autor de correspondencia: sanchezandreoli@gmail.com

Resumen

En Argentina, el lino se produce bajo un modelo reduccionista, sistemas con baja biodiversidad y estabilidad. Los intercultivos permiten mejorar la diversificación de los sistemas extensivos. Se evaluó mediante indicadores, la sustentabilidad ecológica del lino en intercultivo con distintas leguminosas forrajeras, en diferentes arreglos espaciales, en comparación con el monocultivo. Los indicadores fueron: biomasa vegetal del sistema, biomasa de residuo, calidad de residuo, % de cobertura del suelo, balance de N, competencia con malezas, conservación de la biodiversidad, rendimiento relativo total, eficiencia energética y biomasa de la vegetación espontánea a los 3 meses de la cosecha del lino. Se promediaron para construir el índice de sustentabilidad. Los intercultivos con leguminosas al voleo fueron los más sustentables desde una perspectiva ecológica. El lino con trébol rojo fue el que presentó menos puntos críticos. El monocultivo tuvo buena capacidad competitiva, pero lo hizo a expensas de usar herbicida lo que implica mayor demanda de insumos externos y riesgo ambiental. La continuidad en el tiempo con ese sistema llevará a la pérdida de biodiversidad y de la conservación de las propiedades del suelo viéndose comprometida la sustentabilidad ecológica a largo plazo. Los intercultivos, especialmente con trébol rojo al voleo, son estrategias de manejo valiosas para ser consideradas en los sistemas extensivos de la Región Pampeana Argentina bajo un modelo de producción de bajos insumos que aportan a la conservación de los recursos productivos y dan lugar a sistemas más estables y resilientes.

Palabras clave: *Linum usitatissimum* L., biomasa, biodiversidad, cobertura del suelo, balance de nitrógeno

Abstract

In Argentina, flax is produced under a reductionist model, systems with low biodiversity and stability. Intercropping allows to improve the diversification of extensive systems. The ecological sustainability of oilseed flax in intercropping with different forage leguminous was evaluated through indicators, in different spatial arrangements, compared to monoculture. The indicators used were: plant biomass of the system, residue biomass, residue quality, % soil cover, N balance, competition with weeds, conservation of biodiversity, total relative yield, energy efficiency and biomass of spontaneous vegetation 3 months after the flax harvest. With its average, the sustainability index was constructed. Intercrops with broadcast legumes were the most sustainable from an ecological perspective. Flax with red clover was the one that presented the fewest critical points. The monoculture had a good competitive capacity, but it did so at the expense of using herbicide, which implies a greater demand for external inputs and environmental risk. Continuity over time with this system will lead to the loss of biodiversity and the conservation of soil properties, compromising long-term ecological sustainability. Intercropping, especially with broadcast red clover, are valuable management strategies to be considered in the extensive systems of the Argentine Pampean Region under a low-input production model that contribute to the conservation of productive resources and give rise to more stable systems and resilient.

Keywords: *Linum usitatissimum* L., biomass, biodiversity, soil coverage, nitrogen balance

INTRODUCCIÓN

La producción agropecuaria de la Argentina se caracteriza por un proceso de agriculturización y simplificación, lo que viene ocurriendo bajo un modelo basado en la realización de pocos cultivos, de altos rendimientos y con un elevado uso de insumos externos, principalmente derivados del petróleo (Malezieux et al., 2009). Como respuesta se han generado numerosos problemas ecológicos dando lugar a sistemas con menor biodiversidad y estabilidad (Viglizzo et al., 2011) y consecuentemente más frágiles, menos resilientes y con una alta dependencia de insumos (de la Fuente y Suarez, 2008). De acuerdo a la FAO (2021) *para ser sostenible, la agricultura debe satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras de sus productos y servicios, garantizando al mismo tiempo la rentabilidad, la salud del medio ambiente y la equidad social y económica*. Por otra parte, se considera que el capital natural sólo en limitadas oportunidades puede ser sustituido por el manufacturado por el hombre, lo que se denomina sustentabilidad fuerte (Harte, 1995).

La biodiversidad es fundamental para el desarrollo de las actividades agropecuarias bajo un manejo sustentable dado que aporta recursos genéticos y servicios ecológicos. El modelo de producción actual impacta directamente en la biodiversidad, lo que significa un problema para su conservación (Sarandón, 2020). Por esto que es necesario incorporar estrategias de manejo que favorezcan la biodiversidad de los agroecosistemas.

Los intercultivos y la planificación de las rotaciones permiten mejorar la baja diversificación de los sistemas de producción extensivos (Weisberger et al., 2019). El cultivo de lino, especie invernal, puede ser considerado para los sistemas de producción de la Región Pampeana Argentina. El mismo, se adapta a zonas marginales, tiene bajo costo de producción y se adecúa a planteos ganaderos a través de su siembra con pasturas, aportando así, recurso forrajero para los animales. Su adaptación a la siembra consociada (Sánchez Vallduví, 2012) lo hace un cultivo a considerar para incluir en planteos productivos en siembra en intercultivo y constituir una estrategia para mejorar la sustentabilidad a través de un aumento de la biodiversidad, disminuir el uso de insumos externos, y mejorar las propiedades del suelo (Sarandón y Labrador Moreno, 2002). Hay referencias de la adaptación del lino a la siembra en intercultivo con leguminosas que produjeron rendimientos del lino aceptables y constituyen alternativas más sustentables que el monocultivo (Tamagno et al., 2011; 2013; Sánchez Vallduví et al., 2017; Sánchez Vallduví y Sarandón, 2021). Pero, aún es necesario avanzar en un análisis integral que permita ver el aporte a la sustentabilidad con una visión que supere la evaluación estrictamente económica y considerar las consecuencias el manejo en el largo plazo (Flores y Sarandón, 2004).

El logro de este objetivo es difícil dada la complejidad que abarca la sustentabilidad de los agroecosistemas (Sarandón et al., 2014). Una herramienta que puede facilitar este análisis es el uso de indicadores (Fernandez et al., 2019) ya que a partir de su aplicación se pueden detectar puntos críticos para alcanzar la sustentabilidad (Sarandón y Flores, 2009). A partir del análisis de dichos indicadores es posible considerar las consecuencias si se continúa con un determinado manejo durante varios años y contar con herramientas que permitan tomar decisiones criteriosas del manejo en el largo plazo (Viglizzo et al., 2006). Se han realizado numerosos trabajos en los cuales se aplicó esta metodología evidenciando que es adecuada para evaluar la sustentabilidad y aspectos complejos (Sarandón et al., 2006; Tasser et al., 2008; Iermanó y Sarandón, 2009; Castoldi y Bechini, 2010; Sarandón et al., 2014; Dellepiane et al., 2015; Fernandez et al., 2019; Blandi et al., 2020; Sánchez Vallduví y Sarandón, 2021). Con esta herramienta se puede evaluar si el intercultivo de lino con distintas leguminosas forrajeras es más sustentable en la dimensión ecológica que su monocultivo. El objetivo de este trabajo fue evaluar mediante indicadores la sustentabilidad ecológica del lino oleaginoso sembrado en intercultivo con distintas leguminosas forrajeras, en diferentes arreglos espaciales, en comparación con el monocultivo.

METODOLOGÍA

ENSAYOS EXPERIMENTALES

El estudio se realizó en ensayos experimentales que se llevaron a cabo en el campo de la Estación Experimental Julio J. Hirschhorn dependiente de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAYF) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) (34° 52' S, 57° 45' W, altura snm 15 m). Se evaluó el lino sembrado en monocultivo con uso de herbicida y sus intercultivos con trébol rojo (*Trifolium pratense* L.), trébol blanco (*Trifolium repens* L.) o lotus (*Lotus corniculatus* L.), combinaciones probadas con dos arreglos espaciales de la leguminosa (al voleo o en la misma línea que el lino). Se analizaron dos ciclos productivos durante los años 2010 y 2011.

La densidad de siembra del lino fue de 800 semillas por m^2 y en los intercultivos las leguminosas se sembraron inmediatamente después, a razón de 5 $kg \cdot ha^{-1}$ para el trébol rojo y lotus y 3 $kg \cdot ha^{-1}$ para el trébol blanco en la siembra en surco. En la siembra al voleo de la leguminosa se duplicó su densidad. En el monocultivo se aplicó el herbicida Metsulfurón metil 60% a razón de 7 $g \cdot ha^{-1}$. En los intercultivos no se desmalezó y no se fertilizó ningún tratamiento.

EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD ECOLÓGICA

Para la evaluación de la sustentabilidad ecológica de los distintos intercultivos ensayados se siguió la metodología propuesta por Sarandón y Flores (2009), utilizando indicadores de presión, sencillos, fáciles de obtener y que permitan comparar los tratamientos en estudio.

Se construyeron indicadores que permitan evaluar la dimensión ecológica de la sustentabilidad, para lo cual se utilizaron datos obtenidos de la bibliografía y de los ensayos de campo. Los indicadores se estandarizaron mediante su transformación en escalas sencillas de 0 a 3 y fueron directos, es decir, a mayor valor mayor aporte a la sustentabilidad (Tabla 1). Los valores de cada categoría fueron establecidos sobre la base de los datos máximos y mínimos de las variables analizadas, metodología ya utilizada por Dellepiane et al. (2015). Todos los indicadores y subindicadores se ponderaron de igual manera. Luego se calculó el índice de sustentabilidad ecológica (IS) a partir del promedio de los indicadores.

LOS INDICADORES CONSTRUIDOS FUERON LOS SIGUIENTES:

Biomasa vegetal del sistema: corresponde a la biomasa vegetal aérea total, calculada como la suma de las biomásas ($kg \cdot ha^{-1}$) de los distintos componentes del sistema (lino+vegetación espontánea+leguminosa) según el tratamiento evaluado. Se consideró que aquellas prácticas de manejo que determinen una mayor acumulación de biomasa aérea harán un mayor aporte a la sustentabilidad ecológica del agroecosistema.

Biomasa de residuo: corresponde a la biomasa de residuo presente luego de la cosecha de lino. El residuo se calculó como la suma de las biomásas ($kg \cdot ka^{-1}$) restituidas al suelo en post cosecha del lino (biomasa de tallos, hojas y restos de cosecha del lino + biomasa de vegetación espontánea + biomasa de leguminosa). Se consideró que aquellas prácticas de manejo que tiendan a incorporar mayor cantidad de residuo al sistema, expresado como peso de la biomasa aérea no extraída del mismo, realizan un mayor aporte a la sustentabilidad ecológica.

Calidad del residuo: Para construir este indicador se usaron dos subindicadores: *biomasa del residuo* (BR) y *biomasa de leguminosas* (BL), ambas expresadas en $kg \cdot ka^{-1}$. El indicador fue el promedio de los dos $(BR+BL)/2$, ya que se considera que tienen la misma importancia para la sustentabilidad ecológica. Es esperable que ante una mayor cantidad de materia seca (biomasa) incorporada al suelo, se incremente la materia orgánica, se favorezcan sus propiedades y consecuentemente la salud de los mismos. Por otra parte, las leguminosas son especies que mejoran la calidad del residuo por su contenido de nitrógeno. La obtención de un residuo de mejor calidad, asociado a su mayor volumen y contenido de leguminosas, es importante tanto para la conservación de las propiedades del suelo como para el uso forrajero del mismo. Se consideró que aquellas prácticas de manejo que dejen un residuo de cosecha de mejor calidad, realizan un mayor aporte a la sustentabilidad ecológica del sistema.

% de cobertura del suelo: corresponde a la proporción del suelo con cobertura vegetal (lino, vegetación espontánea y leguminosa). Los componentes que definieron la cobertura dependieron de la composición de cada tratamiento. Se consideró que los sistemas con mayor cobertura del suelo realizan un aporte mayor a la sustentabilidad del mismo que aquellos con menor cobertura.

Balance de N: Se calculó como la diferencia entre el ingreso y egreso de N al sistema. No hubo ingreso de N por fertilización por lo cual se consideró como ingreso de N, al fijado simbióticamente por la leguminosa (sólo en los intercultivos), y como egreso, al contenido de nitrógeno en la semilla de lino cosechada. Para el cálculo se utilizó el dato de rendimiento de semilla de lino y biomasa aérea de cada componente registrado en el ensayo y el contenido de N en base a datos bibliográficos (Ciampitti y Garcia, 2007; Sánchez Vallduví et al., 2022). Se asumió que el 80 % del N contenido en la biomasa aérea de la leguminosa se fijó simbióticamente (Scheineiter, 2001) y se supuso que dicho valor es repuesto al suelo a través de la incorporación del residuo luego de la cosecha del lino. Se consideró que un sistema será más sustentable cuanto menos negativo sea el balance de N.

TABLA 1
Escala de indicadores utilizados para la evaluación del lino sembrado en monocultivo o en intercultivo con leguminosas forrajeras. La Plata. Argentina.

Indicador	Subindicador	Escala de estandarización
Biomasa vegetal del sistema		3: $\geq$ a 5500 kg ha ⁻¹ 2: entre 5001- 5499 kg ha ⁻¹ 1: entre 4501-5000 kg ha ⁻¹ 0: $\leq$ 4500 kg ha ⁻¹
Biomasa de residuo		3: $\geq$ a 4500 kg ha ⁻¹ 2: entre 4001-4499 kg ha ⁻¹ 1: entre 3501-4000 kg ha ⁻¹ 0: $\leq$ 3500 kg ha ⁻¹
Calidad del residuo: (BR+BL)/2	Biomasa de residuo (BR)	3: $\geq$ a 4500 kg ha ⁻¹ 2: entre 4001-4499 kg ha ⁻¹ 1: entre 3501-4000 kg ha ⁻¹ 0: $\leq$ 3500 kg ha ⁻¹
	Biomasa de leguminosas (BL)	3: $\geq$ a 1500 kg ha ⁻¹ 2: entre 1000-1499 kg ha ⁻¹ 1: entre 501-999 kg ha ⁻¹ 0: $\leq$ 500 kg ha ⁻¹
% de cobertura de suelo		3: $\geq$ a 70 % 2: entre 67-69 % 1: entre 63-66 % 0: $\leq$ 62%
Balance de N		3: Positivo o igual al balance de N 2: déficit entre 1-30 % del N extraído 1: Déficit entre 31-60 % del N extraído 0: Déficit entre 61-100 % del N extraído
Competencia con malezas: (BM+RG)/2	Biomasa de malezas (BM)	3: $\leq$ 499 kg ha ⁻¹ 2: entre 750-500 kg ha ⁻¹ 1: entre 749-999 kg ha ⁻¹ 0: $\geq$ a 1000 kg ha ⁻¹
	Rendimiento en grano (RG)	3: $\geq$ a 1600 kg ha ⁻¹ 2: entre 1300-1599 kg ha ⁻¹ 1: entre 1001-1299 kg ha ⁻¹ 0: $\leq$ 1000 kg ha ⁻¹
Conservación de la biodiversidad: (E+L)/2	% Vegetación espontánea (E)	3: Policultivo de lino con 15 % o más biomasa de espontáneas en el residuo 2: Policultivo de lino con menos de 15 % de biomasa de espontáneas en el residuo 1: Monocultivo de lino con más 15 % de biomasa de espontáneas en el residuo 0: Monocultivo de lino con menos de 15 % de biomasa de espontáneas en el residuo
	% Leguminosas (L)	3: Policultivo de lino con 15 % o más de biomasa de leguminosas en el residuo 2: Policultivo de lino con menos de 15 % de biomasa de leguminosas en el residuo 1: Monocultivo de lino con más 15 % de biomasa de leguminosas en el residuo 0: Monocultivo de lino con menos de 15 % de biomasa de leguminosas en el residuo
% de cobertura de suelo		3: $\geq$ a 70 % 2: entre 67-69 % 1: entre 63-66 % 0: $\leq$ 62%
RYT		3: $\geq$ a 1,45 2: entre 1,23-1,44 1: entre 1,01-1,22 0: $\leq$ 1
Eficiencia energética		3: Eficiencia energética $\geq$ 8 2: Eficiencia energética entre 5,6-7,9 1: Eficiencia energética entre 3,1-5,5 0: Eficiencia energética $\leq$ 3
Biomasa de malezas a los 3 meses de la cosecha		3: $\leq$ 200 kg ha ⁻¹ 2: entre 201-750 kg ha ⁻¹ 1: entre 751-1299 kg ha ⁻¹ 0: $\geq$ a 1300 kg ha ⁻¹

Competencia con malezas: Este indicador se construyó con dos subindicadores: la *biomasa de la vegetación espontánea (malezas)* en el momento de la cosecha del lino (BM) y el *rendimiento del lino* (RL), por lo que el indicador se construyó como (BM+RL)/2. Se realizó el promedio entre los subindicadores dado que se considera que tienen la misma importancia para la sustentabilidad ecológica. La biomasa de malezas es una variable que da idea de la capacidad competitiva que tiene un determinado sistema cultivado, una menor biomasa de malezas sugiere una mayor habilidad competitiva y mayor capacidad supresiva de malezas. Por otra parte, sistemas con más rendimiento sugieren una mayor capacidad del cultivo para aprovechar los recursos disponibles y transformarlos en semilla. Se consideró que cuanto menor sea la biomasa de las malezas y mayor el rendimiento del cultivo, la sustentabilidad será mayor.

Biomasa de malezas a tres meses de cosecha del cultivo: se calculó con la biomasa vegetal aérea ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de la vegetación espontánea (malezas) a los tres meses de haberse cosechado el lino. La evaluación de la biomasa de malezas luego de transcurrido un período desde la cosecha del cultivo da idea de la capacidad competitiva del sistema cultivado en el largo plazo. Una estrategia de manejo de malezas será más sustentable si modifican el balance cultivo-maleza de modo tal de disminuir el crecimiento de la maleza. Se consideró que cuanto menor sea la biomasa de las malezas a los tres meses de la cosecha del cultivo, la sustentabilidad será mayor.

Conservación de la biodiversidad: se tuvo en cuenta si el sistema era en intercultivo o monocultivo y la proporción de biomasa de especies espontáneas y de leguminosas en el residuo. Se usaron dos subindicadores: en uno de ellos se consideró la proporción de biomasa de especies espontáneas (%E) y en el otro la proporción de leguminosas (%Leg) y luego se realizó el promedio, por lo cual el indicador se construyó como $\text{CB} = \%E + \%Leg / 2$. Se realizó el promedio dado que se considera que ambos subindicadores tienen la misma importancia para la sustentabilidad ecológica. La biodiversidad aporta recursos genéticos y servicios ecológicos, recurso fundamental para el desarrollo de las actividades agropecuarias. El modo de realizar dicha actividad impacta directamente en la biodiversidad, la que en un sistema cultivado será mayor ya sea porque el cultivo esté acompañado por otra especie cultivada o por especies espontáneas. Se consideró que un sistema será más sustentable si se siembra en intercultivo que en monocultivo y a su vez, serán más sustentables si tienen mayor proporción de leguminosas y/o vegetación espontánea (malezas) en su composición.

Rendimiento relativo total: Se calculó a partir de la sumatoria de los rendimientos relativos para biomasa de cada componente, lo cual dependió del tratamiento. Siendo RYT: la suma de los rendimientos relativos del lino de las malezas y de la leguminosa ($\text{RYL} + \text{RYM} + \text{RYLeg}$). Los rendimientos relativos se calcularon como: Rendimiento relativo del lino $\text{RYL} = Y_{\text{LLeg}} / Y_L$ donde Y_{LLeg} es el rendimiento en biomasa del lino en intercultivo e Y_L es el rendimiento del lino en monocultivo. El rendimiento relativo de malezas $\text{RYM} = Y_{\text{ML}} / Y_{\text{MM}}$, donde Y_{ML} es el rendimiento en biomasa de malezas en los sistemas cultivados y Y_{MM} es el rendimiento en biomasa de la maleza cuando crece sin cultivo. El rendimiento relativo de las leguminosas $\text{RYLeg} = Y_{\text{LegL}} / Y_{\text{Leg}}$ donde Y_{LegL} es el rendimiento de las leguminosas cuando crecen con el lino y Y_{Leg} es el rendimiento en biomasa de leguminosas cuando crece sin cultivo.

Eficiencia energética: Se calcularon las unidades de energía producida (egresos o energía de salida: ES) y las unidades de energía que se invierten en el sistema productivo (ingresos o energía ingresada: EI). Para el cálculo de la energía ingresada al sistema, se tuvieron en cuenta tanto los gastos directos de energía (combustible utilizado), como la energía asociada a la fabricación de los insumos utilizados en dicho sistema (Gliessman, 2001), para lo cual se tuvieron en cuenta todas las labores e insumos necesarios desde la preparación del suelo hasta la cosecha del cultivo. Se convirtieron todas las entradas y salidas en unidades equivalentes en megajoules (MJ) de acuerdo a valores obtenidos de la bibliografía (Hernanz et al., 1992; Zetner et al., 2004; Ghazvineh y Yousefi, 2013; Tzilivakis et al., 2005).

Se consideró como preparación del suelo a la que se realizó en los ensayos a campo con labranza convencional y se tuvo en cuenta el combustible y la energía asociada a las diferentes maquinarias e insumos utilizados. Se tuvo en cuenta la energía necesaria para la siembra y la cosecha (semilla, combustible y energía asociada a la sembradora y cosechadora y acarreo dentro del campo). En el tratamiento con uso de herbicida se consideró el costo energético del mismo y de su aplicación (combustible y pulverizadora). En los intercultivos se consideró además de la energía ingresada al sistema la semilla de la leguminosa.

Como energía salida del sistema se consideró un valor energético contenido en el grano de lino de $450 \text{ kcal} / 100\text{g}$ de semilla lo que es equivalente a $18,84 \text{ MJ kg}^{-1}$ (Morris, 2007) y se afectó al rendimiento en semilla de lino obtenido en cada tratamiento de los ensayos evaluados.

La EE se calculó como: energía cosechada en semilla de lino (ES)/energía ingresada al sistema (EI). Valores superiores a uno indican que se obtiene más cantidad de energía que la que se incorpora al sistema.

Dado que una agricultura ecológicamente adecuada tiene como condición mantener los recursos naturales en el largo plazo y entre ellos se encuentran los nutrientes del suelo, se recalculó la eficiencia energética teniendo en cuenta la necesidad de reponer, mediante fertilización, el N extraído del sistema (N en semilla cosechada). En esta segunda instancia se sumó a la energía ingresada, la correspondiente a la aplicación del fertilizante, la que varió de acuerdo a la cantidad requerida en cada caso y a su aplicación (combustible, fertilizadora). Para calcular la cantidad de fertilizante nitrogenado necesario se tuvo en cuenta la cantidad de N en el fertilizante (urea 46 %) y con un 80 % de eficiencia en el aprovechamiento del mismo por parte del cultivo. Luego de recalcular la energía ingresada al sistema incluyendo la necesaria en caso de reponer el N extraído del sistema, se

recalculó la eficiencia energética como egreso de energía/ingreso de energía, en cuyo denominador la energía de salida incluyó la requerida para la reposición del N. De este modo se redefinió el indicador como *Eficiencia energética (EE) con reposición de N*.

Se consideró que serán más sustentables los sistemas que hagan un uso más eficiente de la energía fósil.

OBTENCIÓN DE DATOS PARA APLICACIÓN DE LOS INDICADORES

Se calculó la cobertura vegetal relativa del suelo cuando el lino se encontraba a 20 cm de altura. Se empleó una técnica fotográfica (Berti y Sattin, 1996), que consiste en una cuadrícula con 300 cuadrados con un punto en la mitad de cada uno de ellos. Se contó el número de cuadros en los cuales el punto intersectó vegetación y se calculó el porcentaje de cobertura del suelo con cobertura vegetal (CRS) como: $\% CRS = 100 \times (n \text{ vegetación} / 300)$. Siendo n vegetación: el número de puntos de intersección con vegetación.

En el estado de madurez del lino se cosecharon el lino, la vegetación espontánea (malezas) y las leguminosas forrajeras de cada intercultivo. Todo el material se llevó a estufa a 60 °C hasta peso constante y se pesó. Se calculó el rendimiento en semilla del lino, la biomasa vegetativa y aérea total del lino, de la vegetación espontánea (malezas) y de las leguminosas forrajeras correspondientes a cada intercultivo. Se calculó la biomasa vegetal del sistema (suma de la biomasa del lino+malezas+leguminosa) y la biomasa del residuo luego de la cosecha del lino (suma de biomasa de residuo de cosecha del lino+malezas+leguminosa). En el segundo año de ensayo, a los tres meses de la cosecha del lino, se registró la biomasa total presente y se pesó la vegetación espontánea y las leguminosas forrajeras por separado. Se calculó el contenido de nitrógeno en semilla de lino y en la biomasa de las leguminosas a partir de datos bibliográficos (Sánchez Vallduví et al., 2022) y se calculó el balance de nitrógeno.

Una vez obtenidos los datos para la aplicación de los indicadores contruídos, a partir de la estandarización y de la ponderación de los indicadores, estos se transformaron en los valores correspondientes de la escala a partir de los resultados obtenidos. Luego se calculó el índice de sustentabilidad para cada tratamiento.

RESULTADOS

ANÁLISIS DE LA SUSTENTABILIDAD ECOLÓGICA

La biomasa vegetal del sistema fue mayor en los intercultivos con la leguminosa al voleo que en el resto de los tratamientos. Lo mismo ocurrió con el volumen del residuo de cosecha y a su vez tuvieron los mayores volúmenes de leguminosas en su composición (Tabla 2).

La biomasa de leguminosa varió entre especie y arreglo espacial, fue alrededor de un 90% mayor en los intercultivos de trébol blanco y lotus al voleo respecto al mismo intercultivo con la leguminosa sembrada en el surco, y un 50% mayor en el intercultivo con trébol rojo al voleo respecto a su siembra en surco.

La nula biomasa de leguminosas en el monocultivo y el muy bajo volumen en los intercultivos con trébol blanco o con lotus en el surco, se tradujo en valores críticos en el indicador de calidad del residuo.

Si bien la cobertura del suelo fue alta en todos los tratamientos, se observó que el monocultivo y el intercultivo con lotus sembrado en el surco, tuvieron el menor porcentaje de cobertura, un 10 % menor que en los intercultivos con trébol rojo.

El balance de nitrógeno sólo fue positivo en los intercultivos con trébol rojo y trébol blanco al voleo. Los intercultivos con lotus o trébol blanco en el surco fueron los que menos déficit de nitrógeno tuvieron (1,6 y 35 % respectivamente). El déficit de los restantes tratamientos fue entre 90 y 100 %.

El monocultivo de lino, tratamiento que tuvo control químico de malezas, como era de esperar, fue el que alcanzó el mejor comportamiento respecto de la competencia. Sin embargo, y como consecuencia, fue el que menor biodiversidad tuvo, dado que además de tener poca biomasa de espontáneas, no tiene leguminosas en su composición (Figura 1).

El monocultivo tuvo el mayor rendimiento en grano, pero el rendimiento relativo fue más alto en los intercultivos, principalmente en aquellos en los que la leguminosa se sembró al voleo.

La eficiencia energética cuando no se tuvo en cuenta la reposición de nitrógeno al suelo, fue superior a 1 en todos los casos (valores entre 5-9). Mientras que cuando se calculó considerando el ingreso de energía al sistema por el fertilizante que sería necesario para mantener el nivel de dicho nutriente en el suelo, la eficiencia energética solamente se mantuvo en los intercultivos con trébol rojo y con trébol blanco en el surco. En los demás disminuyó entre 30-70 % según tratamiento, siendo el

monocultivo y el intercultivo con lotus en el surco los tratamientos en los cuales la eficiencia bajó más al considerar la reposición del N (60 y 66 % respectivamente).

TABLA 2

Rendimiento en grano del lino (RG); biomasa aérea total del sistema (BAT), del residuo remanente (RR), de la vegetación espontánea (VE) y de leguminosas (BL); cobertura relativa del suelo (CRS); balance de nitrógeno (BN) y rendimiento relativo total para biomasa (RYT); en un cultivo de lino sembrado en monocultivo o intercultivo con trébol rojo, trébol blanco o lotus sembrados a distintos arreglos espaciales. La Plata. Argentina. Datos promedio de dos años de ensayo. Referencias: monocultivo de lino (L), intercultivo de lino con trébol rojo en el surco (LRs), intercultivo de lino con trébol rojo al voleo (LRv), intercultivo de lino con trébol blanco en el surco (LBs), intercultivo de lino con trébol blanco al voleo (LBv), intercultivo de lino con lotus en el surco (Llos), intercultivo de lino con lotus al voleo (Llov).

Tratamiento	RG (kg.ha ⁻²)	BAT (kg.ha ⁻²)	RR (kg.ha ⁻²)	VE (kg.ha ⁻²)	BL (kg.ha ⁻²)	CRS %	BN (kg.ha ⁻¹)	RYT
L	1608	5394	3784	410	0	62	-38,6	1,06
LRs	993	5076	4080	685	923	70	-8,3	1,23
LRv	1102	5975	4879	725	1835	60	4,4	1,64
LBs	1140	4665	3524	998	123	63	-24,5	1,11
LBv	1116	5866	4748	1118	1225	67	2,6	1,55
Llos	1152	4292	3138	633	120	62	-25,6	1,08
Llov	1016	5327	4311	663	1465	63	-0,8	1,50

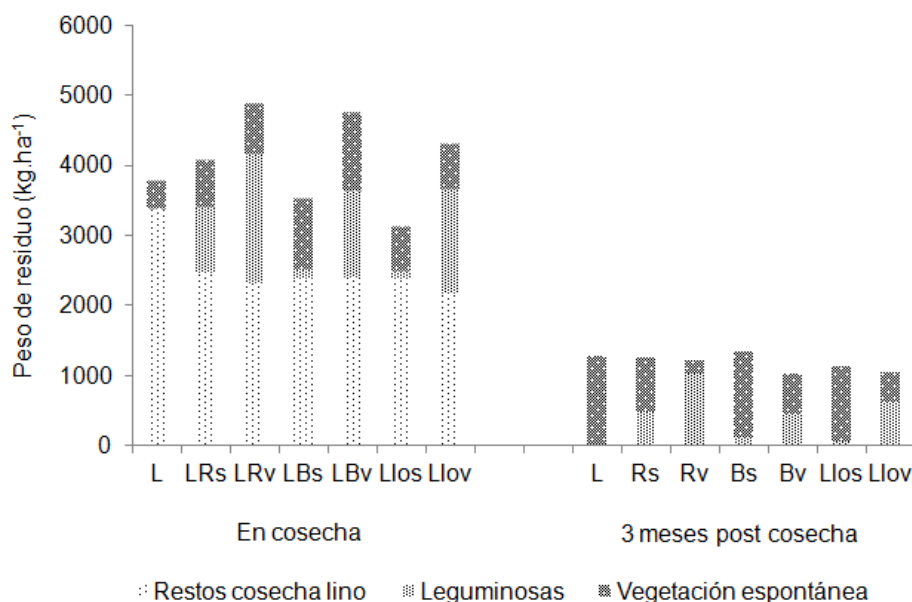


FIGURA 1

Peso de residuo y su composición para un cultivo de lino en el momento de cosecha y a los tres meses de la misma sembrado en monocultivo, o en intercultivo con trébol rojo, trébol blanco o lotus sembrados en el surco o al voleo. La Plata. Argentina. Datos promedio de los dos años de ensayo. Referencias: monocultivo de lino (L), intercultivo de lino con trébol rojo en el surco (LRs), intercultivo de lino con trébol rojo al voleo (LRv), intercultivo de lino con trébol blanco en el surco (LBs), intercultivo de lino con trébol blanco al voleo (LBv), intercultivo de lino con lotus en el surco (Llos), intercultivo de lino con lotus al voleo (Llov).

RESULTADO DE LOS INDICADORES

Los valores de los indicadores y del índice de sustentabilidad ecológica pueden verse en la Tabla 3. Se observa que la sustentabilidad ecológica varió entre tratamientos, registrándose una mejora en los intercultivos con la leguminosa sembrada al voleo respecto a su siembra en el surco.

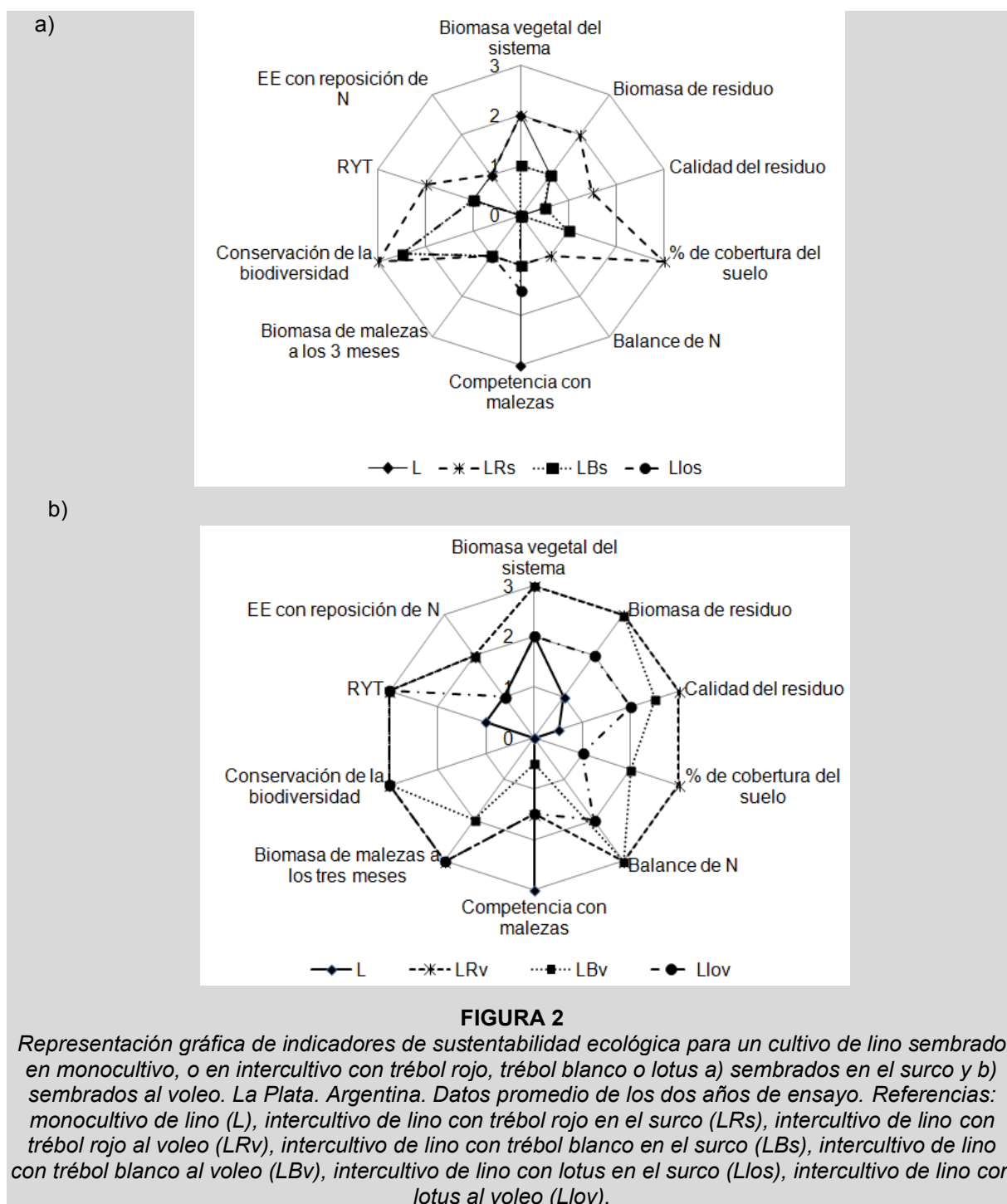
TABLA 3							
<i>Indicadores e índice de sustentabilidad ecológica para lino sembrado en monocultivo o en intercultivo con trébol rojo, trébol blanco o lotus sembrados en el surco o al voleo. La Plata. Argentina. Escala de estandarización de 0 a 3. Referencias: monocultivo de lino (L), intercultivo de lino con trébol rojo en el surco (LRs), intercultivo de lino con trébol rojo al voleo (LRv), intercultivo de lino con trébol blanco en el surco (LBs), intercultivo de lino con trébol blanco al voleo (LBv), intercultivo de lino con lotus en el surco (Llos), intercultivo de lino con lotus al voleo (Llov).</i>							
	L	LRs	LRv	LBs	LBv	Llos	Llov
Biomasa vegetal del sistema	2	2	3	1	3	0	2
Biomasa de residuo	1	2	3	1	3	0	2
Calidad del residuo (BR+BM)/2	0,5	1,5	3	0,5	2,5	0	2
% de cobertura del suelo	0	3	3	1	2	0	1
Balance de N	0	1	3	0	3	0	2
Competencia con malezas (BM+RG)/2	3	1	1,5	1	0,5	1,5	1,5
Conservación de la biodiversidad (E+L)/2	0	3	3	2,5	3	2,5	3
RYT	1	2	3	1	3	1	3
EE con reposición de N	1	1	2	0	2	0	1
Biomasa de malezas a los 3 meses de cosecha	0	1	3	1	2	1	3
IS	0,8	1,8	2,8	1	2,4	0,6	2,1

En los intercultivos con la leguminosa sembrada al voleo los indicadores tuvieron valores mayores que aquellos en los que la leguminosa se sembró en el surco. Los intercultivos con trébol rojo, en ninguna de sus dos formas de siembra, tuvieron indicadores con valor "0", destacándose aquel en el cual el trébol rojo se sembró al voleo ya que sólo tuvo bajo valor en el indicador competencia con malezas (Figura 2 a y b). El intercultivo con el lotus sembrado en el surco fue el de menor sustentabilidad, incluso más baja que el monocultivo, tratamiento que sólo tuvo un buen indicador en la conservación de la biodiversidad (Figura 2 a). El monocultivo sólo tuvo valores altos en la producción de biomasa y en la competencia de malezas, siendo el único tratamiento que tuvo valor "0" en la conservación de la biodiversidad. En el resto de los indicadores se observaron importantes diferencias respecto al mayor valor de la escala.

DISCUSIÓN

En la Argentina la superficie sembrada con lino es baja, concentrándose en la provincia de Entre Ríos, cuyo área registrada en la campaña 2021/2022 es de 11.061 ha (MAGyP, 2022). Su producción se lleva a cabo bajo la lógica del modelo dominante, a partir del cual se sabe que se han generado impactos negativos sobre los agroecosistemas (Sarandón y Flores, 2014). Una tarea difícil pero necesaria para poder identificar los efectos que comprometen la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios es evaluarla de forma integral.

Se cuenta con referencias que afirman que el lino se adapta a siembras en intercultivos (Tamagno et al., 2011; 2013; Sánchez Vallduví et al., 2017), la evaluación a partir del uso de un conjunto de indicadores sencillos (Sarandón y Flores, 2009) permitió hacer un análisis integral de dicho cultivo sembrado en distintos sistemas de siembra. Hay algunos antecedentes donde se utilizó esta metodología de análisis, pero sólo para evaluar aspectos relacionados con el manejo de malezas (Sánchez Vallduví, 2012; Sánchez Vallduví y Sarandón, 2021).



En este trabajo se avanzó hacia un análisis más amplio a partir del cual, con la evaluación del índice de sustentabilidad logrado se facilitó la comparación de la sustentabilidad ecológica del monocultivo de lino respecto a su siembra en distintos intercultivos con leguminosas forrajeras. Se pudieron comparar e identificar los puntos críticos para la sustentabilidad ecológica en un sentido más general, y considerar las consecuencias en el largo plazo si se continúa con la siembra exclusivamente en monocultivo.

El uso de indicadores permitió detectar diferencias en la sustentabilidad de los tratamientos evaluados. A partir de este análisis se observa que el monocultivo lleva a la pérdida de biodiversidad

y consecuentemente se empeora el comportamiento ante la presencia de adversidades y la eficiencia en el uso de los recursos (Sarandón y Labrador Moreno, 2002). Mientras que, los intercultivos favorecieron la conservación de la biodiversidad lo cual puede beneficiar la diversidad funcional en esos sistemas (Fernandez et al., 2019) y promover las interacciones ecológicas del agroecosistema (Nicholls et al., 2015) dando lugar a sistemas más estables y resilientes.

La mayor sustentabilidad en los intercultivos en los cuales la leguminosa se sembró al voleo, se asocia en parte con la mayor acumulación de biomasa vegetal lo cual se puede relacionar con la mayor densidad de la leguminosa utilizada en las siembras al voleo y la mejor distribución de las plantas respecto a la siembra en surco situación que favorece el aprovechamiento de los recursos. Este resultado sugiere que dichos sistemas serían capaces de capturar más carbono y así colaborar en la disminución de dióxido de carbono del aire, principal gas del efecto invernadero (De Rouw et al., 2010). Por otra parte, la mayor cantidad y calidad del residuo en dichos intercultivos, se relacionó con el mayor volumen de leguminosas en su composición, lo que genera un residuo más diverso, y de mejor calidad (Swift et al., 2004). Esto permite mejorar la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo, la diversidad microbiana y el ciclo de nutrientes, lo que determinaría una mejor condición en relación a las propiedades del suelo (Park y Cousin, 1995) y en consecuencia su conservación a lo largo del tiempo (Ghosh et al., 2009). De este modo se beneficiaría la conservación del suelo si ese residuo se incorpora propiciando su estabilidad, lo que significa un aporte a la sustentabilidad a largo plazo (Malézieux et al., 2009). Y, si ese residuo fuera destinado para consumo animal, se espera sea de mayor valor forrajero, tal como fue mencionado por Eirin et al. (2015) al estudiar el intercultivo de girasol con trébol rojo, al generar un residuo con más contenido proteico.

Teniendo en cuenta que la incorporación de leguminosas es una práctica de manejo que modifica la disponibilidad de N en el suelo, uno de los nutrientes que define la producción, el análisis del balance de N permitió comparar la relación entre la disponibilidad de dicho nutriente en cada caso y lo que egresa del sistema a través de la semilla del lino. El mejor balance de nitrógeno en los intercultivos con la leguminosa sembrada al voleo, respecto a su siembra en el surco y al monocultivo, sugiere que dichos intercultivos mejorarían los procesos de reciclado en el agroecosistema, propiciando sistemas más equilibrados en relación al nitrógeno y mejorando la disponibilidad de dicho nutriente para el cultivo siguiente. Además, esto conduce a una menor necesidad de incorporar fertilizante nitrogenado para mantener el nivel de nitrógeno en el suelo, lo que representa un ahorro en el uso de uno de los insumos que más energía demandan, traducándose en una mayor eficiencia energética. Esto significa una menor dependencia de insumos externos (de la Fuente y Suárez, 2008) y, en consecuencia, resulta en un aporte fundamental para una agricultura más sustentable (Sarandón y Flores, 2014).

No obstante, la cobertura vegetal en estados tempranos del cultivo no fue muy diferente entre tratamientos, se destacan los intercultivos con trébol rojo ya que alcanzaron valores más altos que el resto. Además, los intercultivos aportan una cobertura vegetal con una composición de especies variada lo que favorece la diversidad funcional y capacidad de resiliencia (Swift et al., 2004), lo que significa un importante aporte a sustentabilidad desde una perspectiva ecológica. Por otra parte, se espera que las estrategias de manejo que proporcionan mayor cobertura del suelo provean de mayor protección del mismo, incorporan residuos y materia orgánica mejorando aspectos de su calidad.

La interferencia con malezas es uno de los factores que preocupa a los productores por la disminución en la producción. Los intercultivos han sido citados como una estrategia que puede afectar negativamente el crecimiento y desarrollo de las especies espontáneas y consecuentemente disminuir la competencia por recursos con los cultivos de interés comercial (Sánchez Vallduví y Sarandón, 2014). En este trabajo, la mejor capacidad competitiva del monocultivo respecto a los intercultivos se vincula con la menor biomasa de malezas presentes en dicho sistema, lo que sugiere mayor disponibilidad de recursos para el lino traducándose en más rendimiento en semilla en el monocultivo que en los intercultivos. Este resultado se diferencia del observado en una experiencia por Sánchez Vallduví (2012) en la cual se encontró que un intercultivo de lino con trébol rojo fue más competitivo que el monocultivo, y se relacionó ese comportamiento con un mejor uso de recursos del sistema cultivado. Las diferencias en el grado de competencia se vinculan con el hecho que éstas son el resultado de la interacción entre diversos aspectos relacionados con el cultivo, la comunidad de malezas y el ambiente (Sánchez Vallduví y Sarandón, 2014), por lo cual son sitios dependientes. Consecuentemente, es importante considerar que el intercultivo al ser una estrategia de manejo basada en principios ecológicos, debe ser evaluado y adaptado a los distintos lugares. Por otro lado, si bien la aplicación de herbicida aumenta la capacidad competitiva del monocultivo, ello implica un mayor riesgo sobre la salud interna y externa del agroecosistema y además significa un mayor uso de insumos externos.

En este trabajo los intercultivos resultaron menos competitivos que el monocultivo, siendo este aspecto especialmente crítico en el intercultivo con trébol blanco al voleo, el cual tuvo el menor rendimiento y alto volumen de malezas. Sin embargo, la menor biomasa de vegetación espontánea de los intercultivos a los tres meses de la cosecha del lino respecto al monocultivo, indica que esta estrategia promueve sistemas cultivados más competitivos en el largo plazo (Malézieux et al., 2009). No obstante, su baja competitividad en el corto plazo, el rendimiento en semilla de los intercultivos, alcanzaron valores aceptables, cercanos al promedio nacional de los últimos 20 años. Por otra parte, al alcanzar rendimientos relativos total más altos que el monocultivo, especialmente en aquellos con la leguminosa sembrada al voleo, permitió evaluar el rendimiento del sistema como un todo y al lograr mayor valor significa que son sistemas cultivados que tienen ventaja productiva respecto al monocultivo (Sarandón y Labrador Moreno, 2002).

Los resultados de este trabajo señalan que los intercultivos de lino con la leguminosa al voleo presentan menos puntos críticos para la sustentabilidad ecológica del sistema cultivado. Se destaca el lino con trébol rojo, especialmente cuando se sembró la leguminosa al voleo, esperándose mejor conservación de los recursos productivos y menor impacto ambiental que en el monocultivo de lino.

Se desprende que los intercultivos pueden tener distintos beneficios de acuerdo a la técnica utilizada, siendo más o menos sustentables según el manejo de numerosos factores entre ellos, el sistema de siembra, las características de los componentes que intervienen, la disponibilidad de recursos (Sarandón y Labrador Moreno, 2002).

Lo registrado en este trabajo sugiere que estas consociaciones pueden ser una valiosa herramienta a ser incorporada en sistemas extensivos de la Argentina, adaptándose a un modelo de producción de bajos insumos y contribuyendo a mejorar la sustentabilidad de sistemas productivos en proceso de rediseño hacia un modelo agroecológico.

CONCLUSIONES

Los intercultivos de lino con leguminosas forrajeras, fueron estrategias de manejo ecológicamente más sustentables que el monocultivo de lino. Entre las leguminosas la que permitió más sustentabilidad fue el trébol rojo. En cuanto al método de siembra, se obtuvieron valores más elevados cuando la leguminosa fue sembrada al voleo que en surcos. El monocultivo de lino implicó una menor conservación de la biodiversidad y de las propiedades del suelo por lo que si se continúa con ese sistema se verá comprometida la sustentabilidad ecológica a largo plazo. Por esto, los intercultivos constituyen una valiosa herramienta para ser considerada en los sistemas extensivos de la Región Pampeana Argentina bajo un modelo de producción de bajos insumos que aportan a la conservación de los recursos productivos y dan lugar a sistemas más estables y resilientes.

BIBLIOGRAFÍA

- Berti, A. y Sattin, M. (1996). Effect of weed position on yield loss in soybean and a comparison between relative weed cover and other regression models. *Weed Research*, 36, 249-258.
- Blandi, M.L., Gargoloff, N.A., Iermanó, M.J., Paleologos, M.F., y Sarandón, S.J. (2020). El mapa mental una herramienta para construir indicadores. En S.J. Sarandón (Compilador), *Agrobiodiversidad, su rol en una agricultura sustentable* (pp 406-420). EDULP.
- Castoldi, N. y Bechini, L. (2010). Integrated sustainability assessment of cropping systems with agro-ecological and economic indicators in northern Italy. *European Journal of Agronomy*, 32, 59-72.
- Ciampitti, I., y Garcia, F. (2007). *Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios II. Hortalizas, frutales y forrajeras*. IPNI N°12. 1-4.
- de la Fuente, E. y Suárez, S.A. (2008). Problemas ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura. *Ecología Austral*, 18, 239-252.
- Dellepiane, A.V., G.E. Sánchez Vallduví y L.N. Tamagno. (2015). Sustentabilidad del monocultivo e intercultivo de *Helianthus annuus* L. (girasol) con *Trifolium pratense*, *Trifolium repens* o *Lotus corniculatus* en La Plata, Argentina. Evaluación mediante indicadores. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 114 (Núm. Esp. 1) *Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio*, 85-94.
- De Rouw, A., Huon, S., Souleuth, B., Jouquet, P., Pierret, A., Ribolzi, O., Valentin, C., Bourdon, E. y Chantharath, B. (2010). Possibilities of carbon and nitrogen sequestration under conventional tillage and no-till cover farming (Mekong valley, Laos). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 136, 148-161.

- Eirin, M.A., Sánchez Vallduví, G.E. y Tamagno, L.N.** (2015). Intercultivo de girasol con *Trifolium pratense* o *Trifolium repens*: productividad del cultivo y calidad forrajera del rastrojo. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 114 (Núm. Esp. 1) *Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio*, 100-105.
- FAO** (2021). Alimentación y agricultura sostenibles. Recuperado en junio 2022 de: <https://www.fao.org/sustainability/es/>
- Fernández, V., Marasas, M. y Sarandón, S.** (2019). Indicadores de Heterogeneidad vegetal. Una herramienta para evaluar el potencial de regulación biótica en agroecosistemas hortícolas del periurbano platense, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía* 118, (2), 1-17.
- Flores, C.C. y S.J. Sarandón.** (2004). Limitations of Neoclassical Economics for Evaluating Sustainability or Agricultural Systems: comparing organic and convencional systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 24 (2), 77-91.
- Ghazvineh, S. y Yousefi, M.** (2013). Evaluation of consumed energy and greenhouse gas emission from agroecosystems in Kermanshah province. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(4), 349-354.
- Ghosh, P.K., Saha, R., Gupta, J.J., Ramesh, T., Das, A., Lama, T.D., Munda, G.C., Bordoloi, J.S., Verma, M.R. y Ngachan, S.V.** (2009). Long-term effect of pastures on soil quality in acid soil of North-East India. *Australian Journal of Soil Research* ,47, 372-379.
- Gliessman, S.** (2001). *Agroecología. Processos ecológicos em agricultura sustentável. Segunda Edición*. Editora da Universidade Rio Grande do Sul Brasil.
- Harte, M.J.** (1995). Ecology, sustainability, and environment as capital. *Ecological Economics*, 15, 157-164.
- Hernanz, J.L., Giron, V.S., Cerisola, C., Navarrete, L. y Quintanilla, C.F.** (1992). Análisis de la energía consumida y de los costes de producción de tres sistemas de laboreo ensayados en tres cultivos extensivos. *Investigación Agropecuaria. Producción y Protección Vegetal*, 7 (2), 209-225.
- Iermanó, M.J. y Sarandón, S.J.** (2009). ¿Es sustentable la producción de agrocombustibles a gran escala? El caso del biodiesel en Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología* 4, (1), 4-17.
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., De Tourdonnet, S. y Valentin-Morison, M.** (2009). Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy Sustainable Development*, 29 (1), 44-62
- MAGyP.** (2021). Informes técnicos y estimaciones. Recuperado en julio 2022 de: <https://www.argentina.gob.ar/agricultura/informes-tecnicos-y-estimaciones>.
- Morris, D.H.** (2007). Linaza - Una Recopilación sobre sus Efectos en la Salud y Nutrición. Flax Council of Canada. www.flaxcouncil.ca
- Nicholls, C.I., Altieri, M.A. y Vázquez, L.L.** (2015). Agroecología: principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. *Agroecología*, 10 (1), 61-72.
- Park, J. y Cousins, S.H.** (1995). Soil biological health and agro-ecological change. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 56, 137-148.
- Sánchez Vallduví, G.E.** (2012). *Manejo de malezas en lino. Evaluación de la competencia cultivo-maleza con un enfoque agroecológico*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.
- Sánchez Vallduví, G.E. y Sarandón, S.J.** (2014). Principios de manejo agroecológico de malezas. En S.J. Sarandón y C.C. Flores. (Ed.), *Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. (pp: 42-69). Edulp.
- Sánchez Vallduví, G.E., Tamagno, L.N. y Signorio, R.D.** (2017). Intercultivo lino-trébol rojo y uso de dosis reducida de herbicida. Alternativas de manejo del cultivo en sistemas extensivo. *Revista Científica Agropecuaria (RCA) de Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER)*, 21 (1-2), 7-17.
- Sánchez Vallduví, G.E. y Sarandón, S.J.** (2021). Análisis de la sustentabilidad ecológica de distintas estrategias de manejo de malezas en el cultivo de lino oleaginoso (*Linum usitatissimum* L.) en Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 129 (2), 1-23.
- Sánchez Vallduví, G.E., Dellepiane, A.V. y Schutt, L.S.** (2022). Manejo tecnológico del cultivo de lino. En G.E. Sánchez Vallduví y A.M. Chamorro (coords), *Lino, Colza Y Cártamo. Oleaginosas que aportan a la diversificación productiva*. (pp. 25) Edulp.
- Sarandón, S.J.** (2020). Agrobiodiversidad, su rol en una agricultura sustentable. En S.J. Sarandón (Comp.), *Agrobiodiversidad, su rol en una agricultura sustentable* (pp. 13-36). EDULP.
- Sarandón, S.J., Zuluaga, M.S., Cieza, R., Gomez, C., Janjetic, L. y Negrete, E.** (2006). Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Revista Agroecología*, 1, 19-28

- Sarandón, S.J. y Flores, C.C.** (2009). Evaluación de la sustentabilidad en Agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Revista Agroecología*, (4), 19-28.
- Sarandón, S.J. y Flores, C.C.** (2014). La agroecología: el enfoque necesario para una agricultura sustentable. En S.J. Sarandón y C.C. Flores (Ed.), *Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables* (pp. 42-69). Edulp.
- Sarandón, S.J., Flores, C.C., Gargoloff, A. y Blandi, M.L.** (2014). Análisis y evaluación de agroecosistemas y aplicación de indicadores. En S.J. Sarandón y C.C. Flores (Ed.), *Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables* (pp. 375-410). Edulp.
- Sarandón, S.J. y Labrador Moreno, J.** (2002). El uso de policultivos en una agricultura sustentable. En S.J. Sarandón (Ed.), *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable* (pp.189-222). Ediciones Científicas Americanas.
- Scheineiter, O.** (2001). Trébol rojo. En J. Maddaloni (Ed.) *Forrajeras y Pasturas del ecosistema templado húmedo de la Argentina*. (pp.317-338). INTA. Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Facultad de Ciencias Agrarias.
- Swift, M.J., Izac, A.M.N. y Van Noordwijk, M.** (2004). Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes-are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104, 113-134.
- Tamagno, L.N., Sánchez Vallduví, G.E. y Colman, V.P.** (2011). Intercultivo de lino oleaginoso con leguminosas: Un aporte a la sustentabilidad en agroecosistemas extensivos. *Cadernos de Agroecología*, 6 (2) 10814, 1-5.
- Tamagno, L.N., Sánchez Vallduví, G.E. y Colman, V.P.** (2013). Consociación de lino oleaginoso con diferentes leguminosas forrajeras. Rol en la sustentabilidad de los sistemas productivos extensivos de Argentina. *Cadernos de Agroecología*, 8 (2) 13792, 1-5.
- Tasser, E., Sternbach, E. y Tappeiner, U.** (2008). Biodiversity indicators for sustainability monitoring at municipality level: An example of implementation in an alpine region. *Ecological indicators*, 8, 204-223.
- Viglizzo, E.F., Frank, A. F.C., Bernardos, J., Buschiazzi, D.E. y Cabo, S.** (2006). A rapid method for assessing the environmental performance of commercial faros in the Pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 117, 109-134.
- Viglizzo, E.F., Frank, F.C., Carreño, L.V., Gobbágy, E.G., Pereyra, H., Clatt, J., Pincén, D. y Ricard, M.F.** (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology*, 17, 959-973.
- Weisberger, D., Nichols, V. y Liebman, M.** (2019). Does diversifying crop rotations suppress weeds? A meta-analysis. *PLOS ONE* 14, (7), e0219847. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219847>
- Tziliavakis, J., Warner May, D.J.M., Lewis, K.A. y Jaggard, K.** (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems*, 85, 101-119.
- Zentner, R.P., Lafond, G.P., Derksen, D.A., Nagy, C.N., Wall, D.D. y May, W.E.** (2004). Effects of tillage method and crop rotation on non-renewable energy use efficiency for a thin Black Chernozem in the Canadian Prairies. *Soil & Tillage Research*, 77, 125-136.