

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.

Dellepiane, Andrea Verónica¹; Griselda Estela Sánchez Vallduví; Lía Nora Tamagno

Curso de Oleaginosas y Cultivos Regionales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Calle 60 y 118 S/N; ¹andellep@agro.unlp.edu.ar

Dellepiane, Andrea Verónica; Griselda Estela Sánchez Vallduví; Lía Nora 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. Rev. Fac. Agron. Vol 114 (Núm. Esp.1): 85-94

El cultivo de girasol en la región pampeana argentina se realiza según un enfoque productivista, modelo que ha causado impactos negativos en la sustentabilidad de los agroecosistemas. Se construyeron indicadores y se aplicaron para evaluar la sustentabilidad ecológica en girasol sembrado en monocultivo e intercultivo con trébol rojo (*Trifolium pratense* L.), trébol blanco (*Trifolium repens* L.) o lotus (*Lotus corniculatus*). Los indicadores fueron: 1- manejo del cultivo integrado por los subindicadores: conservación de la biodiversidad, manejo de la biomasa y competencia con malezas y 2- manejo del suelo cuyos subindicadores fueron: manejo de la cobertura, manejo de la materia orgánica y balance de nitrógeno. El análisis mediante indicadores señaló diferencias en la sustentabilidad ecológica y permitió detectar puntos críticos en los sistemas de manejo de girasol evaluados. Del análisis de los indicadores se concluyó que si el monocultivo de girasol continúa siendo el modelo predominante, estará en riesgo la biodiversidad de los ecosistemas y se pondrá en peligro la conservación del recurso suelo poniendo en riesgo la capacidad ecológica de los agroecosistemas en los que se incluya el cultivo. El intercultivo favoreció más a la conservación de la biodiversidad y arrojó mejores resultados en el balance de nitrógeno que el monocultivo independientemente de la especie de leguminosa y la densidad usada. Las leguminosas aportaron un rastrojo de alta calidad para su incorporación al suelo y/o para ser usado como forraje. La consociación girasol-lotus a densidad normal, fue una estrategia de manejo más sustentable que los otros intercultivos analizados.

Palabras Clave: consociación, leguminosas, biodiversidad, balance de N, conservación.

Dellepiane, Andrea Verónica; Griselda Estela Sánchez Vallduví; Lía Nora Tamagno (2015) Sustainability of monoculture and intercropping *Helianthus annuus* L. (sunflower) with *Trifolium pratense*, *Trifolium repens* or *Lotus corniculatus* in La Plata, Argentina. Evaluation using indicators. Rev. Fac. Agron. Vol 114 (Núm. Esp.1): 85-94

The cultivation of sunflower in Argentina Pampas region is performed according to a productivist approach model has caused negative impacts on the sustainability of the agroecosystem. Indicators were constructed and applied to assess ecological sustainability in sunflower sown in monoculture and intercropping with red clover (*Trifolium pratense* L.), white clover (*Trifolium repens* L.) or lotus (*Lotus corniculatus*). The indicators were: 1- integrated crop management by the sub-indicators: biodiversity conservation, management of biomass and competition with weeds and soil management 2- whose sub-indicators were coverage management, management of organic matter and balance nitrogen. Analysis by indicators noted differences in ecological sustainability and allowed detection hotspots in management systems evaluated sunflower. An analysis of the indicators concluded that if monoculture sunflower remains the predominant model, will risk the biodiversity of ecosystems and jeopardize the conservation of soil resources threatening the ecological capacity of agro-ecosystems in which include cultivation. He intercropping favored over the conservation of biodiversity and yielded better results in nitrogen balance monoculture regardless of species of leguminous and density used. Leguminous provided a high quality stubble incorporation into the soil and / or used as fodder. Sunflower-lotus consociation at normal density was more sustainable strategy than the other analyzed managing intercropping.

Key Words: consociation, leguminous, biodiversity, nitrogen balance, conservation

Recibido: 08/05/2015

Aceptado: 29/08/2015

Disponible on line: 01/10/2015

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUCCION

Durante los últimos años en la región pampeana argentina se ha profundizado el proceso de agriculturización, sojización y simplificación productiva de los sistemas productivos (Viglizzo et al., 2011). Esto condujo al predominio de sistemas agrícolas altamente simplificados en detrimento de los que eran típicos de la región los que se caracterizaban por una diversificación productiva de cultivos y actividades (agricultura y ganadería pastoril) (Stupino et al., 2014).

Este modelo productivo ha generado varios impactos negativos en los agroecosistemas. Entre ellos se encuentran la pérdida de biodiversidad y de materia orgánica, la disminución de la eficiencia energética y el ineficiente aprovechamiento de los recursos (Sarandón & Flores, 2014). En ese contexto se pone en riesgo la capacidad de resiliencia (UNEP, 1996; Oesterheld, 2008) y la productividad a largo plazo de los agroecosistemas atentando contra su sustentabilidad (Viglizzo & Frank, 2006).

Por ello, es necesario buscar alternativas productivas que generen menor impacto negativo sobre el agroecosistema y modos de evaluarlas que demuestren una mejora en la sustentabilidad.

El girasol es una oleaginosa tradicional de esta región, que a pesar del avance indiscriminado de la soja continúa siendo una alternativa de diversificación para sistemas agrícolas-ganaderos. Su producción se realiza con un enfoque productivista, el cual se caracteriza por el uso de híbridos con alto potencial y estabilidad de rendimiento, el empleo de técnicas de manejo como la siembra directa y una alta dependencia en el uso de insumos (Belmonte et al., 2008).

En sistemas simplificados como son los de la Región Pampeana Argentina, la incorporación de una especie más a un sistema extensivo de cultivo, puede significar un importante aporte a la biodiversidad, máxime si se trata de una leguminosa. De este modo, la siembra de girasol consociado con leguminosas forrajeras puede ser una alternativa que contribuya a la conservación de los recursos productivos y minimice el impacto ambiental externo (Flores & Sarandón, 2003).

Existen referencias de los aportes a la sustentabilidad del girasol consociado con leguminosas forrajeras, que señalan las ventajas de incorporar el intercultivo en planteos mixtos de producción (Eirin et al., 2013; Sánchez Vallduví et al., 2013; Tamagno et al., 2014). Sin embargo, su adopción como práctica habitual en los agroecosistemas de la región pampeana argentina podría depender, entre otros factores, de demostrar que el intercultivo es más sustentable que el monocultivo de girasol.

Para el logro de este objetivo es necesario superar la visión de análisis estrictamente económica, evaluar al rendimiento y la rentabilidad del cultivo como una variable más a tener en cuenta, realizar un análisis a nivel de ecosistema (Buhler, 2006) y considerar las consecuencias que el manejo realizado tenga en el largo plazo (Flores & Sarandón, 2004; Gontier et al., 2006)

Esto no es una tarea sencilla debido a la complejidad implícita en el concepto de sustentabilidad que abarca numerosas dimensiones (Sarandón, 2002).

Una herramienta que puede utilizarse para facilitar este análisis es el uso de indicadores (Viglizzo, et al., 2003). Su uso constituye una herramienta práctica para simplificar la complejidad de los agroecosistemas en valores simples y objetivos que permiten monitorear la sustentabilidad (Castoldi & Bechini, 2010). Además, permiten detectar la tendencia del sistema productivo hacia una condición más o menos sustentable (Sarandón & Flores, 2009) y alcanzar elementos de juicio para responder lo que puede ocurrir si se sigue con un determinado manejo durante varios años (Parris, 1999; Viglizzo et al., 2006; Gough et al., 2008) En los últimos años se han hecho esfuerzos en este sentido y el uso de indicadores ha demostrado ser una herramienta apropiada para evaluar la sustentabilidad a nivel de finca (Abbona et al., 2007; Bockstaller et al., 1997; Lefroy et al., 2000; Sarandón et al., 2006; Dellepiane & Sarandón 2011).

La aplicación de esta metodología podría evaluar si el intercultivo de girasol con leguminosas forrajeras posee características que lo hacen más sustentable que el monocultivo. Asimismo, se podrían detectar variaciones en el comportamiento de las diferentes leguminosas consociadas con el girasol, en la dimensión ecológica de la sustentabilidad.

De acuerdo a todo lo mencionado anteriormente, los objetivos planteados son:

- Construir indicadores que permitan evaluar la sustentabilidad ecológica en diferentes modelos productivos de girasol: monocultivo e intercultivo con leguminosas forrajeras (trébol rojo, trébol blanco y lotus) a dos densidades de siembra.

- Comparar modelos productivos de girasol: monocultivo e intercultivo con leguminosas forrajeras (trébol rojo, trébol blanco y lotus) a dos densidades de siembra a través de los indicadores elaborados.

METODOLOGÍA

Lugar de estudio

Se analizó un ensayo a campo en la Estación Experimental Julio J. Hirschhorn perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP) situado en la localidad de Los Hornos (34° 52' S, 57° 45' W, altura snm 15 m).

Los suelos predominantes corresponden a Argiudoles típicos, desarrollados sobre sedimentos loésicos bajo un clima húmedo-mesotermal. El clima es templado cálido y húmedo, con una temperatura media anual de 15,9 °C siendo enero el mes más cálido y julio el más frío. El régimen pluviométrico es isohigro, con una distribución homogénea de las precipitaciones a lo largo del año que poseen como valor promedio 1045,4 mm.

Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones.

Se utilizó un híbrido simple de girasol (DK 4050) en monocultivo con y sin herbicida (GH y G) y consociado con trébol rojo (*Trifolium pratense* L.), trébol blanco (*Trifolium repens* L.) o lotus (*Lotus corniculatus*) sembrados a dos densidades (normal y alta) (GR1, GR2, GB1, GB2, GL1 y GL2).

La siembra se realizó el 12 de octubre de 2010. El girasol con una sembradora experimental Agrometal y las leguminosas manualmente al voleo luego de la siembra del girasol.

Las parcelas fueron de cinco surcos de girasol de 8 metros de longitud y espaciados a 0,7 metros entre sí. La densidad del girasol fue de 52000 plantas.ha⁻¹ en todos los tratamientos. Para las leguminosas las densidades normales fueron 10 kg.ha⁻¹ para trébol rojo y lotus y 6,5 kg.ha⁻¹ para trébol blanco; las densidades altas fueron 16 kg.ha⁻¹ para trébol rojo y lotus y 10 kg.ha⁻¹ para trébol blanco.

En el momento de madurez comercial del girasol, se cosechó el cultivo, las leguminosas y la vegetación espontánea (malezas). Todo el material se procesó y secó en estufa a 60°C hasta peso constante. Se registró el rendimiento en grano del girasol, la biomasa vegetativa y total del girasol, la biomasa de malezas y la biomasa de leguminosas. Se calculó la biomasa del sistema (suma de biomásas del girasol, malezas y leguminosas), la biomasa del rastrojo (suma de biomásas de residuos de cosecha del girasol, malezas y leguminosas). Se determinó la cobertura vegetal del suelo. Se determinó el N en grano de girasol y en biomasa de leguminosas. El contenido de nitrógeno en tejidos vegetales se determinó por el método de Micro Kjeldahl (AACC, 1983). Se calculó la cobertura relativa del suelo con biomasa vegetal cuando el girasol se encontraba en R1 (botón floral visible). Se empleó una técnica fotográfica (Berti & Sattin, 1996), usando 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 la superficie relativa de suelo con cobertura vegetal (CRT) como:

$$\% \text{ CRT: } 100 \times (n \text{ vegetación}/300)$$

Siendo n: el número de puntos de intersección con vegetación.

Se realizó un análisis estadístico mediante el test de Tukey de los datos Biomasa de rastrojo y Biomasa de Leguminosas en el Rastrojo para todos los tratamientos.

Marco conceptual

Se partió de la definición de desarrollo sostenible como: "aquel que busca satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para alcanzar sus propias necesidades" (WCED, 1987). Se estableció como condición necesaria para lograrlo, el cumplimiento simultáneo de dos objetivos: la satisfacción de las necesidades actuales del productor (incluida su familia) y la conservación de los recursos naturales del agroecosistema.

Se adoptó el criterio de sustentabilidad fuerte (Harte, 1995), que considera que el capital natural no puede ser sustituido por capital manufacturado, excepto en algunos casos muy puntuales. Por lo tanto, los recursos naturales no pueden ser degradados a expensas de que el productor satisfaga sus necesidades y viceversa, de manera que un proceso productivo, para ser sustentable debe cumplir al mismo tiempo con ambos objetivos.

Se optó por indicadores que fueran sencillos y fáciles de obtener, de acuerdo a la metodología y el marco conceptual propuesto por Sarandón et al., (2006) y Sarandón & Flores (2009), siguiendo los lineamientos de Smyth & Dumansky (1995) y Astier & Maserá (1996).

Construcción, estandarización y ponderación de los indicadores

Los indicadores se construyeron mediante subindicadores y en algunos casos, estos últimos estuvieron constituidos por distintos componentes. A partir de los indicadores obtenidos se construyó el índice de sustentabilidad.

Los subindicadores y los componentes de los mismos fueron estandarizados y transformados en una escala de 0 (menos sustentable) a 2 (más sustentable), según la metodología utilizada por Sarandón et al., 2006; Sarandón & Flores, 2009. Todos los valores se transformaron o adecuaron a esta escala, independientemente de su unidad original, para posibilitar la integración de varios indicadores de distinta naturaleza, en otros más sintéticos o robustos. Esta estandarización se realizó teniendo en cuenta el carácter local de los indicadores que, si bien contemplan el criterio universal de la sustentabilidad, deben ser formulados específicamente para una zona y actividad determinada. Por lo tanto, los valores de cada categoría (0, 1 y 2), fueron establecidos sobre la base de los datos máximos y mínimos de los tratamientos analizados en el presente ensayo.

Posteriormente, los subindicadores y componentes fueron ponderados multiplicando el valor de la escala por un coeficiente de acuerdo a la importancia relativa de cada variable respecto a la sustentabilidad. También se definió mediante esta ponderación, el peso relativo de cada indicador en el índice de sustentabilidad. Se consideró que un mayor índice de sustentabilidad del tratamiento indicaría una mayor sustentabilidad.

Por último se realizó un análisis comparativo entre los tratamientos de intercultivo de girasol con leguminosas. Se calculó el índice de sustentabilidad para cada uno de estos tratamientos y se obtuvo el promedio y el coeficiente de variación para las dos densidades utilizadas de cada una de las especies leguminosas.

RESULTADOS

Descripción de los indicadores construidos:

La aplicación del marco conceptual y la metodología mencionada anteriormente, permitieron obtener una serie de indicadores estandarizados y ponderados para la dimensión ecológica de la sustentabilidad.

Se establecieron dos indicadores, uno referido a las características de manejo del cultivo y otro al manejo del suelo.

Indicador Manejo Cultivo (IMC): se construyó con tres subindicadores: **Conservación de la Biodiversidad (CB), Manejo de la Biomasa (MB) y Competencia con malezas (CM).**

Conservación de la Biodiversidad (CB):

La biodiversidad es importante para la regulación del sistema ya que, entre otras funciones, proporciona hábitat y nichos ecológicos para los enemigos naturales. La diversidad vegetal es la base de la diversidad heterotrófica (Swift et al., 2004) y provee una mayor estabilidad a los agroecosistemas ante adversidades climáticas y ambientales, lo que les otorga una mayor capacidad de resiliencia.

Este subindicador se construyó teniendo en cuenta el efecto de los distintos sistemas de manejo sobre la diversidad vegetal espacial, para lo cual se tuvo en cuenta la diversidad de especies cultivadas y espontáneas en el espacio.

Como se observaron especies espontáneas en todos los tratamientos, se consideró su abundancia, que fue definida de acuerdo a la proporción de estas especies en el rastrojo (% de biomasa de malezas en la materia seca del rastrojo).

Hipótesis: cuanto mayor diversidad espacial exista, los agroecosistemas serán más sustentables.

Escala:

0: Monocultivo de girasol con escasa presencia de especies espontáneas (menos de 10%)

1: Monocultivo de girasol con abundante presencia de especies espontáneas (más de 10%)

2: Policultivo (girasol con leguminosa) con presencia escasa o abundante de especies espontáneas

Manejo de la biomasa vegetal (MB):

La cantidad de materia seca acumulada por un sistema tiene relación directa con la capacidad del mismo para capturar recursos. Aquellos sistemas con mayor producción de biomasa capturan más carbono y por lo tanto contribuyen a disminuir el contenido de dióxido de carbono del aire y otros gases con efecto invernadero (Park & Cousins, 1995; De Rouw et al., 2010). Además, pueden restituir mayor cantidad de residuos orgánicos al suelo lo que favorece la formación de materia orgánica y por consiguiente, mejora las propiedades físicas y biológicas del mismo (Dick, 1992).

Este indicador se construyó en función de la biomasa vegetal aérea del sistema constituida por la suma de las biomásas aportadas por el girasol, las leguminosas y las malezas.

Hipótesis: un agroecosistema será más sustentable cuanto mayor cantidad de biomasa vegetal produzca.

Escala:

0: menos de 1400 g.m⁻²

1: 1400-1600 g.m⁻²

2: más de 1600 g.m⁻²

Competencia con malezas (CM):

La interferencia de las malezas en el cultivo de girasol disminuye los rendimientos de forma variable dependiendo de la interacción entre los factores del cultivo, las malezas y el ambiente donde se desarrollan (Gries, 2008).

Este subindicador tuvo dos componentes: la biomasa de malezas (BM) en el momento de cosecha y el rendimiento del cultivo de girasol (RG) que se consideró como el aspecto más importante para la sustentabilidad y se ponderó entonces con el doble de peso respecto a la biomasa.

$$CM = (BM + 2 RG)/3$$

Hipótesis: cuanto menor sea la biomasa de las malezas y mayor el rendimiento del cultivo, la sustentabilidad será mayor.

Biomasa de malezas

Escala:

0: más de 100 g.m⁻²

1: 80-100 g.m⁻²

2: menos de 80 g.m⁻²

Rendimiento de girasol

Escala:

0: menor a 4500 Kg.ha⁻¹

1: entre 4500 y 5000 Kg.ha⁻¹

2: mayor a 5000 Kg.ha⁻¹

Los tres subindicadores (CB, MB y CM) se ponderaron con igual importancia relativa.

$$\text{Indicador Manejo Cultivo (IMC)} = (CB + MB + CM)/3$$

Indicador Manejo Suelo (IMS): se construyó con tres subindicadores: **Manejo de la cobertura (MC)**, **manejo de la materia orgánica (MO)** y **Balance de nitrógeno (BN)**.

Manejo de la cobertura (MC):

La cantidad y permanencia de las coberturas contribuyen a mejorar las propiedades del suelo al conservar la humedad, disminuir el impacto de la lluvia, regular la temperatura, ser refugio de organismos, reciclar nutrientes, proteger del viento y la escorrentía superficial. El indicador se construyó midiendo la cobertura total producida por el girasol, las leguminosas y las especies espontáneas en el estado de R1 (botón floral visible).

Hipótesis: a mayor cobertura, mayor sustentabilidad.

Escala:

0: menos de 70%

1: entre 70 y 80%

2: más de 80%

Manejo de la materia orgánica (MO):

Existe una correlación positiva entre el contenido de carbono en el suelo y la biomasa microbiana, es esperable entonces que al incorporar mayor cantidad de materia orgánica al suelo aumente la actividad de los microorganismos y consecuentemente, la salud biológica del suelo (Park & Cousins, 1995) como así también el grado de estabilidad y agregación del mismo (Lefroy & Craswell, 1997).

Las leguminosas tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y al formar parte de la biomasa del rastrojo en los sistemas de intercultivo pueden incorporar ese nitrógeno al suelo contribuyendo a la reposición de este nutriente (Swift et al, 2004).

Para la construcción de este subindicador se tuvieron en cuenta dos componentes: la biomasa del rastrojo (BR) constituida por la suma de biomásas de residuos de cosecha del girasol, malezas y leguminosas y la biomasa de leguminosas que componen ese rastrojo (LR).

Biomasa del rastrojo (BR):

Hipótesis: cuanto mayor cantidad de biomasa quede luego de la cosecha del girasol más sustentable será el sistema.

Escala:

0: hasta 1000 g.m^{-2}

1: entre 1000 y 1200 g.m^{-2}

2: más de 1200 g.m^{-2}

Biomasa de leguminosas en el rastrojo (LR):

Hipótesis: cuanto mayor sea la biomasa de leguminosas en el rastrojo, el sistema será más sustentable.

Escala

0: menos de 50 g.m^{-2}

1: entre 50 y 100 g.m^{-2}

2: más de 100 g.m^{-2}

Se consideraron igualmente importantes ambos componentes, quedando definido el subindicador de la siguiente manera.

$$MO = (BR + LR)/2$$

Balance de nitrógeno (BN):

La fertilidad química del suelo es uno de los factores determinantes del rendimiento de los cultivos. El nitrógeno es uno de los tres macronutrientes necesarios para un adecuado crecimiento de los mismos. Es fundamental entonces conocer el balance de nutrientes debido a que se considera relevante por la implicancia que tiene para lograr que un agroecosistema sea sustentable (Smaling & Fresco, 1993; Koning et al., 1997; Magdoff et al., 1997; Parris, 1999).

Para construir este subindicador se realizó un balance de nitrógeno simplificado resultante de las entradas menos las salidas de este nutriente al sistema.

Se consideró como única vía de entrada la fijación biológica realizada por las leguminosas. El nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de estas especies retorna al suelo a través de la incorporación del rastrojo luego de la cosecha del girasol.

Aunque los valores de fijación en distintas leguminosas son variables por diversos factores (especie, estadio fenológico, año de implantación, factores climáticos, fertilización química, etc.) para el presente trabajo se consideró que el contenido de nitrógeno proveniente de fijación simbiótica en trébol rojo, trébol blanco y lotus representó el 80% del nitrógeno total contenido en la biomasa de las mismas (Scheneiter, 2001).

Para calcular las salidas de nitrógeno del sistema se consideró la extracción que realiza el cultivo de este nutriente a través del producto de cosecha (granos).

De acuerdo a esto el balance arrojó diferentes resultados: positivo, neutro o negativo.

Hipótesis: cuanto menor sea el déficit de nitrógeno en el suelo mayor será la sustentabilidad del sistema.

Escala:

0: Balance negativo, no fija nitrógeno, sólo extrae, déficit 100%

1: Balance negativo, extrae más de lo que fija, déficit menor de 100%

2: Balance positivo

Se ponderaron los tres subindicadores (MC, MO y BN) con el mismo peso relativo.

Indicador Manejo Suelo (IMS) = (MC + MO + BN)/3

El Índice de Sustentabilidad (ISU) se calculó como:

$$ISU = (IMC + IMS)/2$$

Evaluación de la sustentabilidad

Se observaron diferencias en el Índice de Sustentabilidad (ISU) de los tratamientos analizados. Los valores de ISU variaron entre 0,78 (monocultivo de girasol) y 1,73 (intercultivo con lotus a densidad normal). Los subindicadores que evaluaron los aspectos referidos al manejo del cultivo presentaron mayor promedio y menor variabilidad (IMC 1,22, CV 26%) que los usados para construir el indicador manejo del suelo (IMS 0,98, CV 41%).

Dentro del IMC, el subindicador conservación de la biodiversidad tuvo mayor valor que el manejo de la biomasa y la competencia con malezas. En este subindicador los tratamientos de intercultivo alcanzaron el máximo valor de la escala (2). Entre los subindicadores del IMS, el balance de nitrógeno fue el que señaló la situación de mayor sustentabilidad presentando los valores más altos de la escala en los intercultivos con trébol rojo y lotus a ambas densidades (Tabla 1).

El análisis más detallado de los tratamientos que presentaron los valores extremos (G y GL1) permitieron observar importantes diferencias entre los subindicadores (Figura 1). En los tratamientos de monocultivo de girasol con o sin aplicación de herbicida el único subindicador que tuvo el mayor valor de la escala de sustentabilidad fue el manejo de la biomasa. En el resto de los subindicadores se observaron importantes diferencias respecto al mayor valor de la escala.

En el intercultivo de girasol con lotus a densidad normal (GL1), el manejo de la materia orgánica y la competencia con malezas fueron los únicos subindicadores que no alcanzaron el mayor valor de la escala.

Al analizar los componentes del subindicador Manejo de la Materia Orgánica, la biomasa del rastrojo (suma de biomasa de residuos de cosecha del girasol, malezas y leguminosas) no presentó diferencias significativas entre los tratamientos y el valor promedio de la misma fue 1156 g.m^{-2} . Del análisis de los intercultivos surgió que la biomasa de leguminosas en el rastrojo del girasol con trébol rojo a alta densidad fue significativamente mayor que los intercultivos con trébol blanco a ambas densidades y con lotus a densidad normal (Figura 2).

El análisis comparativo de los tratamientos con leguminosas señaló que el girasol con lotus fue el intercultivo con mayor promedio y mayor variabilidad entre densidades (ISU 1,36 y CV 37%). La consociación con trébol rojo tuvo el menor promedio y menor variabilidad entre densidades (ISU 0,94 y CV 8%) (Tabla 2).

DISCUSIÓN

El modelo agrícola actual, en el cual se basa la producción de girasol y de todos los cultivos de la región pampeana, ha ocasionado impactos negativos en el agroecosistema (Sarandón & Flores, 2014).

Tabla 1: Indicadores de sustentabilidad en distintos tratamientos (monocultivo e intercultivo de girasol con leguminosas forrajeras) de un ensayo experimental en la zona de La Plata, Argentina. Referencias: CB (conservación de la biodiversidad); MB (manejo de la biomasa); CM (competencia con malezas); IMC (indicador manejo cultivo); MC (manejo de la cobertura); MO (manejo de la materia orgánica); BN (balance de nitrógeno); IMS (indicador manejo suelo). ISU (Índice de sustentabilidad). CV %: coeficiente de variación.

Tratamientos	Indicador Manejo Cultivo (IMC)				Indicador Manejo Suelo (IMS)				Indice Sustentabilidad ISU
	CB	MB	CM	IMC	MC	MO	BN	IMS	
G	1	2	0,67	1,22	0	1	0	0,33	0,78
GR1	2	1	0	1	0	1	2	1	1
GR2	2	0	0,33	0,78	0	1	2	1	0,89
GB1	2	1	0,67	1,22	1	0,50	1	0,83	1,03
GB2	2	2	0,67	1,56	2	1	1	1,33	1,45
GL1	2	2	1,33	1,78	2	1	2	1,67	1,73
GL2	2	1	0	1	1	0	2	1	1
GH	0	2	1,67	1,22	1	1	0	0,67	0,95
Media	1,62	1,38	0,67	1,22	0,88	0,81	1,25	0,98	1,10
CV %	46	54	89	26	95	46	71	41	29

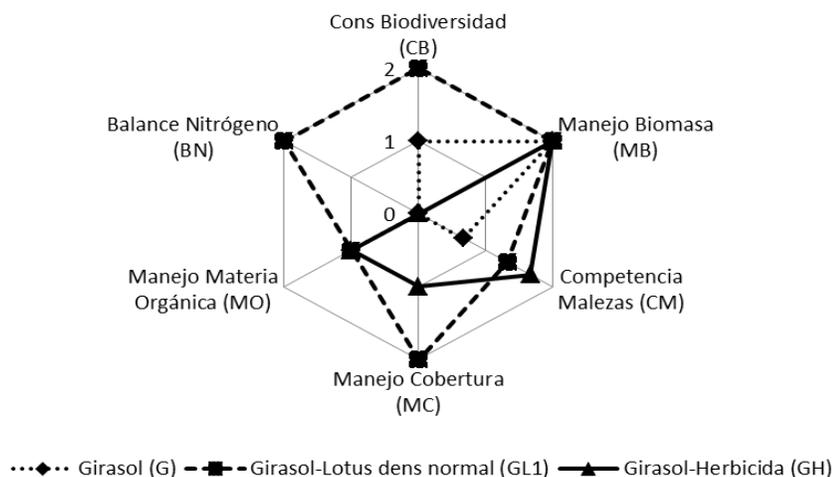


Figura 1: Representación gráfica en un diseño en tela de araña, de los indicadores de sustentabilidad en monocultivo de girasol con y sin herbicida (GH y G) e intercultivo con lotus a densidad normal (GL1) en la Plata, Argentina. Los límites exteriores representan el valor de mayor sustentabilidad.

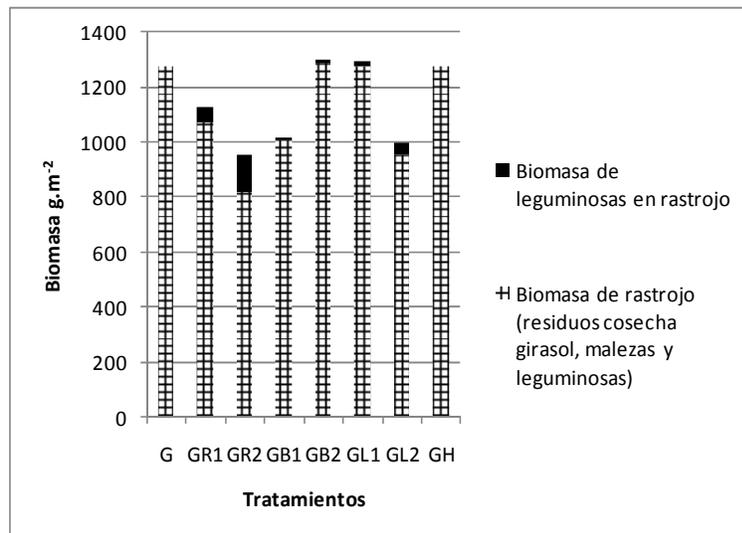


Figura 2: Representación gráfica de la Biomasa del rastrojo y Biomasa de Leguminosas en el rastrojo en los tratamientos de monocultivo de girasol con y sin herbicida (GH y G) e intercultivo girasol con trébol rojo, trébol blanco y lotus a densidad de siembra normal y alta (GR1, GR2, GB1, GB2, GL1 y GL2).

Tabla 2. Índice de sustentabilidad (ISU), Media y Coeficiente de variación (CV) en intercultivos de girasol con trébol rojo, trébol blanco y lotus a densidad de siembra normal y alta (GR1, GR2, GB1, GB2, GL1 y GL2) de un ensayo experimental en la zona de La Plata, Argentina.

Tratamientos	ISU	Media	CV
GR1	1	0,94	8%
GR2	0,89		
GB1	1,03	1,24	24%
GB2	1,45		
GL1	1,72	1,36	37%
GL2	1		

Es necesario entonces analizar esta problemática con un enfoque ecosistémico (Buhler, 2006) para lograr el diseño y manejo de sistemas productivos sustentables que favorezcan la preservación del ambiente y los recursos naturales (Ikerd, 1990) y permitan satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras (WCED, 1987).

La evaluación de la sustentabilidad mediante los indicadores seleccionados permitió identificar el efecto de los diferentes modelos productivos de girasol sobre los recursos del agroecosistema (Gough et al., 2008). Esto indica que la selección de los indicadores fue adecuada a los sistemas en estudio, un requisito señalado por Yli-Viikari et al., (2007) para considerar a los mismos como una herramienta apropiada para la evaluación de la sustentabilidad del sistema.

También permitió reconocer los efectos sobre la capacidad productiva de los agroecosistemas en el largo plazo, si se continúa con el modelo productivo actual.

Del análisis se desprende que la sustentabilidad fue variable entre los tratamientos analizados.

En todos los tratamientos evaluados, el manejo del cultivo fue más sustentable que el manejo del suelo.

El intercultivo favoreció más a la conservación de la biodiversidad y arrojó mejores resultados en el balance de nitrógeno que el monocultivo.

En este sentido, los intercultivos analizados podrían constituir una alternativa más sustentable debido a que contribuyen al aumento de la diversidad específica, vertical, estructural y funcional de los agroecosistemas (Gliessman, 2001).

Por otro lado, el menor índice de sustentabilidad encontrado en ambos tratamientos de monocultivo (con y sin herbicidas), con bajos valores de conservación de la biodiversidad, concuerdan con Altieri & Nicholls (1994), que afirman que el monocultivo conduce a una pérdida de biodiversidad por la utilización de un número reducido de especies que conducen a la pérdida de especies silvestres beneficiosas por su rol ecológico en los ecosistemas naturales y modificados. Una mayor diversidad vegetal permitiría albergar enemigos naturales (Paleologos et al., 2008; Marasas et al., 2010) y conferiría estabilidad y resiliencia ante el estrés (Prober & Smith, 2009).

Esta pérdida de biodiversidad es más crítica en el modelo productivo actual donde el girasol se siembra en monocultivo con utilización de herbicidas. Si este modelo continúa siendo el predominante, habrá un efecto negativo sobre la biodiversidad de los ecosistemas (UNEP, 1999) y se pondrá en peligro la conservación de las propiedades del suelo y, consecuentemente, afectará los servicios que el mismo pueda brindar (Gontier et al., 2006).

El mejor balance de N luego de la incorporación del rastrojo en los intercultivos, sugiere que el sistema girasol-leguminosas, mejoraría los procesos de reciclado dentro del agroecosistema. Estos sistemas serán más equilibrados en relación al N (Smaling & Fresco, 1993; Koning et al., 1997; Magdoff et al., 1997; Parris, 1999) e incrementarán la disponibilidad de N para el cultivo siguiente (Lefroy & Craswell, 1997), componente fundamental de la fertilidad química del suelo.

La mayor y mejor calidad de residuos que se incorporan al suelo y el mejor balance de N de los sistemas consociados, se traduce en una menor necesidad de fertilizantes para mantener el nivel del N en el tiempo, lo que significa una disminución en la dependencia de insumos externos (Swift et al., 2004; de la Fuente & Suárez, 2008; Oesterheld, 2008) objetivo primordial para cualquier sistema de producción sustentable.

Los monocultivos analizados, que no reponen nitrógeno al suelo, conducirán tarde o temprano al agotamiento de este nutriente; el tiempo que tarde dependerá de la cantidad que se extraiga y del nivel de N inicial del mismo (Stoorvogel, 2001).

La conservación de la biodiversidad y un adecuado manejo del nitrógeno del suelo, son requisitos fundamentales para que una agricultura sea considerada sustentable (Harte, 1995) ya que estos recursos son aprovechados por el hombre para obtener bienes y servicios.

Las leguminosas aportaron un residuo de alta calidad para su incorporación al suelo y/o para ser utilizado como forraje en sistemas mixtos de producción, contribuyendo esto al logro de mejorar la sustentabilidad del agroecosistema (Eirin et al., 2013; Sánchez Vallduví et al., 2013; Tamagno et al., 2014).

Los indicadores también permitieron comparar la sustentabilidad entre intercultivos de girasol con las distintas especies de leguminosas forrajeras, sembradas a diferentes densidades.

Los mayores valores en el índice de sustentabilidad de los intercultivos con trébol rojo y lotus a densidades normales, sugieren que estos sistemas son alternativas que realizan un uso más eficiente de insumos al utilizar menor cantidad de semilla para la siembra de la leguminosa. Este aspecto es de fundamental importancia ya que la mayor exigencia de productividad en los cultivos representa un mayor costo en energía fósil, lo que genera un impacto ambiental debido al uso masivo de insumos. Por esto, los intercultivos constituyen prácticas agrícolas sostenibles que aportan a conservar la energía fósil, la que, en la actualidad, se está transformando en un recurso escaso tal como señalaron Pimentel & Pimentel, (2005) y Martin et al., (2006).

CONCLUSIONES

El intercultivo de girasol con leguminosas forrajeras presentó más aspectos favorables a la sustentabilidad que su monocultivo. Estos aspectos estuvieron relacionados a las características de manejo del cultivo y del suelo.

Los beneficios del intercultivo se apreciaron sobre todo, en la conservación de la biodiversidad y el balance de

nitrógeno independientemente de la especie de leguminosa y la densidad utilizada de las mismas. Aspectos críticos para los sistemas en monocultura de girasol.

El cultivo consociado de girasol con lotus a densidad normal constituye una estrategia de manejo más sustentable que el resto de los intercultivos analizados.

BIBLIOGRAFIA

- Abbona, E.A., S.J. Sarandón, M.E. Marasas & M. Adtier.** 2007. Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 335-345.
- Altieri, M. & C.I. Nicholls.** 1994. Biodiversity and pest management in agroecosystems. Haworth Press, New York. 185 pp.
- American Association of Cereal Chemists (AACC).** 1983. Approved methods 46-3 of the AACC 8th ed. Aacc; St. Paul, Minesota, USA.
- Astier, M. & O. Maser.** 1996. Metodología para la evaluación de sistemas de manejo incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS). Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada. Gira. Documento de trabajo 17, pp. 1-30.
- Belmonte, A.M.L., M. D. Fernández, Y. Bellini Saibene, H. O. Lorda, L. R. Schaab & J.C. Fernández.** 2008. Caracterización tecnológica y productiva del cultivo de girasol para la provincia de La Pampa. En: El cultivo de girasol en la región semiárida pampeana, Ed. Alberto Quiroga y Jesús Pérez Fernández, EEA INTA Anguil, pp. 13-26.
- Berti, A., & M. Sattin.** 1996. Effect of weed position on yield loss in soybean and a comparison between relative weed cover and other regression models. *Weed Research*, 36(3), 249-258.
- Bockstaller, C., P. Girardin, H. M. G. van der Werf.** 1997. Use of agroecological indicators for the evaluation of farming systems. *European Journal of Agronomy* 7: 261-270.
- Buhler, D.D.** 2006. Approaches to Integrated Weed Management. Capítulo 24 en Handbook of Sustainable Weed management. Singh, H.P., D.R. Batish & R.K. Kohli (Eds) Food Products Press. Pp: 813-824.
- Castoldi, N. & L. Bechini.** 2010. Integrated sustainability assessment of cropping systems with agro-ecological and economic indicators in northern Italy. *European Journal of Agronomy* 32: 59-72.
- de la Fuente, E. & S.A., Suárez.** 2008. Problemas ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura. *Ecología Austral* 18: 239-252.
- Dellepiane, A. & S.J. Sarandón.** 2011. Evaluación de la sustentabilidad en establecimientos hortícolas convencionales y orgánicos en la zona de La Plata. Resúmenes do VII Congresso Brasileiro de Agroecologia – Fortaleza/CE – 12 a 16/12/2011, Cadernos de Agroecologia 6 (2). Resumen Expandido N° 10637: 5pp.
- De Rouw, A., S. Huon, B. Souleuth, P. Jouquet, A. Pierret, O. Ribolzi, C. Valentin, E. Bourdon & B. Chantharath.** 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.

- Dick, R.** 1992. A review: long-term effects of agricultural systems in soil biochemical and microbial parameters. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 40: 25-36.
- Eirin, M.A., G.E. Sánchez Vallduví, L.N. Tamagno, R.D. Signorio.** 2013. Intercultivo de girasol con trébol rojo, trébol blanco o lotus: rendimiento en grano, producción y calidad forrajera del rastrojo XIV Jornada FCV-UNR De Divulgación Técnico Científica. Agosto de 2013. Rosario, Santa Fé. Argentina.
- Flores, C.C. & S.J. Sarandón.** 2003. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de Agriculturización en la Región Pampeana Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Plata.* 105 (1): 53-68.
- Flores, C.C. & S.J. Sarandón.** 2004. Limitations of Neoclassical Economics for Evaluating Sustainability or Agricultural Systems: comparing organic and conventional systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 24 (2): 77-91.
- Gliessman, S.** 2001. Agroecología. Processos ecológicos em agricultura sustentável. Segunda Edição. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade. 18: 509-538.
- Gough, A.D., J.L. Innes & S.D. Allen.** 2008. Development of common indicators of sustainable forest management. *Ecological Indicators* 8: 425-430.
- Gontier, M., B. Balfors & U. Mörtberg.** 2006. Biodiversity in environmental assessment-current practice and tools for prediction. *Environmental Impact Assessment Review* 26: 268-286.
- Gries, M.** 2008. Conclusiones Taller ASAGIR sobre Malezas en el Cultivo de Girasol. Disponible en: <http://www.asagir.org.ar/asagir2008/pdf/1-Malezas.pdf>. Último acceso: mayo de 2015.
- Harte, M.J.** 1995. Ecology, sustainability, and environment as capital. *Ecological Economics* 15: 157-164.
- Ikerd, J.E.** 1990. Agricultura Sostenible. Series AS N° 10. Publicación interna, INTA.
- Koning, G.H.J., P.J. van de Kop & L.O. Fresco.** 1997. Estimates of sub-national nutrient balances as sustainability indicators for agroecosystems in Ecuador. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 65: 127-139.
- Lefroy, R.D.B. & E.T. Craswell.** 1997. Soil as a filter for nutrients and chemicals: sustainability aspects. ASPAC Food & Fertilizer Technology Center.
- Lefroy, R.D.B., B. Hans-Dieter & R. Mohammad.** 2000. Indicators for sustainable land management based on farmer surveys in Vietnam, Indonesia, and Thailand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 81: 137-146.
- Magdoff, F., L. Lanyon & B. Lieberhardt.** 1997. Nutrient cycling, transformations and flows: implications for a more sustainable agriculture. *Advances in Agronomy* 60: 1-73.
- Marasas, M.E., S.J. Sarandón & A. Cichino.** 2010. Semi-natural habitat and field margins in a typical agroecosystems of the Argentinean Pampas as a reservoir of Carabid beetles. *Journal of Sustainable Agriculture* 34: 153-168.
- Martin, J.F., Diemont S.A.W., E. Powell, M. Stanton & S. Levy-Tacher.** 2006. Emery evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115: 128-140.
- Oesterheld, M.** 2008. Impacto de la agricultura sobre los agroecosistemas. *Fundamentos ecológicos y problemas más relevantes. Ecología Austral* 18: 337-346.
- Paleologos, M.F., C.C. Flores, S.J. Sarandón, S.A. Stupino & M.M. Bonicatto.** 2008. Abundancia y diversidad de la entomofauna asociada a ambientes semi-naturales em fincas hortícolas de La Plata, buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología* 3 (1): 28-40.
- Park, J. & S.H. Cousins.** 1995. Soil biological health and agro-ecological change. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 56: 137-148.
- Parris, K.** 1999. Environmental indicators for agriculture: overview in OECD countries. En: Browse, F.M. & J.R. Crabtree, (Ed), *Environmental Indicators and Agricultural policy.* CAB International 25-44 pp.
- Pimentel, D. & M. Pimentel.** 2005. El uso de la energía en la agricultura. *LEISA Revista de Agroecología* 21 (1): 5-7.
- Prober, S.M. & F.P. Smith.** 2009. Enhancing biodiversity persistence in intensively used agricultural landscapes: A synthesis of 30 years of research in the Western Australian wheatbelt. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 132: 173-191.
- Sánchez Vallduví, G.E., L.N. Tamagno, M.A. Eirin, R.D. Signorio, A.V. Dellepiane & S.J. Sarandón.** 2013. Girasol en intercultivo con leguminosas. Una alternativa productiva en el marco de una agricultura sustentable para sistemas extensivos de la Región Pampeana argentina. Publicado en el IV Congreso Latinoamericano de Agroecología. Lima. Perú.
- Sarandón, S.J., M.S. Zuluaga, R.I. Cieza, C. Gómez, L. Janjetic & E. Negrete.** 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. & C.C. Flores.** 2009. Evaluación de la sustentabilidad en Agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Revista Agroecología* 4: 19-28.
- Sarandón, S.J. & C.C. Flores.** 2014. La insustentabilidad del modelo de agricultura actual. Capítulo 1 en: *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables.* Ed. Sarandón SJ y Flores CC. Pp: 13-41. Colección libros de Cátedra de la UNLP. 467 p. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280>.
- Sarandón, S.J.** 2002. El desarrollo de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. Cap. 20: 393-414. En *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable.* Ediciones Científicas Americanas.
- Scheneiter, O.** 2001. Trébol rojo. Cap. 19: 317-338. En *Forrajeras y Pasturas del ecosistema templado húmedo de la Argentina.* INTA. Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Facultad de Ciencias Agrarias.
- Smaling, E.M.A. & L.O. Fresco.** 1993. A decision-support model for monitoring nutrient balances under agricultural land use (NUTMON). *Geoderma* 60: 235-256.

- Smyth, A.J. & J. Dumansky.** 1995. A framework for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science.* 75:401-406.
- Stoorvogel, J.J.** 2001. Land Quality Indicators for Sustainable Land Management: Nutrient Balance. <http://eiesin.org/lw-kn/nbguidl2.htm>.
- Stupino, S.A., M.J. Iermanó, N.G. Gargoloff & M.M. Bonicatto.** 2014. La biodiversidad en los agroecosistemas. Capítulo 8 en: *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables.* Ed. Sarandón SJ y Flores CC. pp: 131-158. Colección libros de Cátedra de la UNLP. 467 p. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280>.
- Swift, M.J., A.M.N. Izac & M. van Noordwijk.** 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes-are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104: 113-134.
- Tamagno, L.N., G.E. Sánchez Vallduví, M.A. Eirin, R.D. Signorio, A.V. Dellepiane, V.P. Colman, G.H. Jalil & C. Pascual.** 2014. Intercultivo de girasol con *Trifolium pratense* L., *Lotus corniculatus* o *Vicia sativa*. Una alternativa productiva para sistemas mixtos de la Región Pampeana Argentina. 6^{to} Congreso Argentino de Girasol. ASAGIR.
- UNEP.** 1996. Convention on biological diversity. Disponible en <http://www.biodiv.org/doc/meetings/sbstta/sbstta-02/official/sbstta-02-10-en.Pdf> 29 pp.
- Viglizzo, E.F. & F.C. Frank.** 2006. Land-use option for Del Plata Basin in South America: Tradeoffs analysis based on ecosystem service provision. *Ecological Economics* 57: 140-151.
- Viglizzo, E.F., A.J. Pordomingo, M.G. Castro & F.A. Lértora.** 2003. Environmental assessment of agriculture at a regional scale in the pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 87: 169-195.
- Viglizzo, E.F., F.C. Frank, L.V. Carreño, E.G. Gobbágy, H. Pereyra, J. Clatt, D. Pincén & M.F. Ricard.** 2011. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology* 17: 959-973.
- Viglizzo, E.F., A. F.C. Frank, J. Bernardos, D.E. Buschiazzi & S. Cabo.** 2006. A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the Pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 117: 109-134.
- World Commission on Environmental & Development (WCED).** 1987. *Our common future.* Oxford Univ. Press, Oxford.
- Yli-Viikari, A., R. Hietala-Koivu, E. Huusela-Veistola, T. Hyvönen, P. Perälä & E. Turtola.** 2007. Evaluating agri-environmental indicators (AEI s) - Use and limitations of international indicators at national level. *Ecological Indicators* 7: 150-16.