

CAMBIOS DEL USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL ARROYO LUDUEÑA, SANTA FE: IMPACTO EN LA SOSTENIBILIDAD Y EN LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Sergio Montico^(*); Néstor Di Leo; Beatriz Bonel; Julio Denoia

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. Zavalla, Santa Fe, Argentina

^(*)e-mail: smontico@unr.edu.ar

RESUMEN

En la región pampeana Argentina, en las últimas décadas, los agroecosistemas han evolucionado hacia esquemas más agrícolas que ganaderos. Los pastizales naturales fueron siendo reemplazados mayoritariamente por la agricultura afectando la sostenibilidad biofísica territorial. Asimismo, hubo efectos negativos en los servicios ecosistémicos (SE) como consecuencia de esas transformaciones. El objetivo de este trabajo es valorar el impacto del cambio del uso de la tierra durante cuatro décadas en la sostenibilidad biofísica (SB) y en los servicios SE, en la cuenca del arroyo Ludueña en el sur de Santa Fe (Argentina). Para evaluar los cambios de la SB entre 1976-2015 se utilizaron tres indicadores: Índice de Vegetación Remanente (IVR), Índice de Presión Demográfica (IPD) e Índice de Criticidad Ambiental (ICA). Se identificaron tres tipos de ecosistemas y nueve coberturas de suelo y se valoraron los servicios ecosistémicos a través de la metodología elaborada por Castañeda Camacho (2013). Los resultados indican que la cuenca está en peligro, y la SB con bajas probabilidades de persistencia, siendo alto el riesgo ambiental, principalmente por el mayor cambio del IVR. Las plantaciones forestales, los montes nativos y el arroyo principal, son las coberturas más importantes para la provisión de SE y los cultivos agrícolas representan una cobertura de baja importancia ecológica. Las nueve coberturas contribuyen en diferentes proporciones con los ecosistemas para sostener el equilibrio ecológico y recibir los desechos. Es necesario producir con la mayor celeridad, cambios en el uso de la tierra que se orienten a balancear la superficie de pasturas temporarias con la agricultura, ampliar la dedicada a plantaciones forestales, y preservar todos los ecosistemas acuáticos.

Palabras clave: Uso de la tierra, sostenibilidad biofísica, servicios ecosistémicos, cuencas rurales

ABSTRACT

In the Pampa region of Argentina, in the last decades, agroecosystems have evolved towards more agricultural than livestock schemes. The natural grasslands were being replaced mainly by agriculture, affecting territorial biophysical sustainability. Likewise, there were negative effects on ecosystem services (SE) as a result of these transformations. The objective of this work is to assess the impact of land use change over four decades on biophysical sustainability (SB) and on the SE services, in the basin of Ludueña stream in southern Santa Fe (Argentina). To evaluate the SB changes between 1976-2015, three indicators were used: Remaining Vegetation Index (IVR), Demographic Pressure Index (IPD) and Environmental Criticality Index (ICA). Three types of ecosystems and nine land coverings were identified and ecosystem services were valued through the methodology developed by Castañeda Camacho (2013). The results indicate that the basin is in danger, and the SB with low probabilities of persistence, with high environmental risk, mainly due to the greater change of the IVR. Forest plantations, native forests and the main stream are the most important cover for the provision of SE and agricultural crops represent a low ecological importance coverage. The nine coverings contribute in different proportions with the ecosystems to sustain the ecological balance and receive the waste. It is necessary to produce as quickly as possible, changes in the use of land that are oriented to balance the surface of temporary pastures with agriculture, expand the dedicated to forest plantations, and preserve all aquatic ecosystems.

Keywords: Land use, biophysical sustainability, ecosystem services, rural basins

INTRODUCCIÓN

Desde aproximadamente 1960 se ha producido en la región pampeana Argentina un proceso de agriculturización, principalmente, a expensas de la disminución de la superficie dedicada a ganadería extensiva (Cruzate y Casas, 2012; Montico, 2013; Volante et al., 2015).

Este escenario instalado progresivamente en las últimas décadas, ha influido en el estado de los ecosistemas pampeanos y en los servicios ambientales que ellos proporcionan, provocando la alteración de hábitats, cambios en biodiversidad, resistencia a fitosanitarios, alteración de los ciclos de nutrientes, modificaciones de las propiedades físico-químicas del suelo, y contaminación de aguas superficiales y subterráneas con nutrientes y biocidas (Manuel-Navarrete et al., 2005).

Principalmente las praderas o pastizales naturales han sido los biomas más impactados, donde la flora y fauna se ha visto alterada por la actividad agraria (Bilenca, 2000). Los pastizales naturales son biomas que contribuyen a la sostenibilidad biofísica. Son entidades naturales que poseen la capacidad para atender la demanda de bienes y servicios ambientales para satisfacción de necesidades básicas, soporte de procesos productivos y prevención de riesgos (Márquez, 2000).

La implantación de agroecosistemas en la pampa bonaerense ha modificado sustancialmente su estructura y funcionamiento, con los consecuentes cambios que ello implica para la biodiversidad regional (Bilenca et al., 2012). Resulta relevante conocer la incidencia de estos cambios en la transformación de los agroecosistemas, y con ello, las posibilidades de sostenibilidad territorial.

Los ecosistemas terrestres brindan una serie de servicios vitales para las personas y la sociedad, como la diversidad biológica, los alimentos, las fibras, los recursos hídricos, el secuestro de carbono y la recreación. La capacidad futura de los ecosistemas para proporcionar estos servicios está determinada por los cambios en los aspectos socioeconómicos, características del uso del suelo, biodiversidad, composición atmosférica y clima (Metzger et al., 2006). Las modificaciones producidas principalmente por el uso de la tierra, ha impactado en las capacidades que poseen los ecosistemas para brindar aquellos bienes y servicios que resultan de suma

importancia para el desarrollo de las actividades humanas (Egoh et al., 2007; Sarandón, 2014).

Existe un especial y creciente interés en evaluar la provisión de los servicios ecosistémicos (SE). En los últimos años han surgido varias herramientas para realizarlo desde un punto de vista ecológico. No obstante, la complejidad de los SE desalienta los intentos de adoptar una única aproximación metodológica (Rositano y Ferraro, 2017).

El objetivo de este trabajo es valorar el impacto del cambio del uso de la tierra durante cuatro décadas en la sostenibilidad biofísica y en los servicios ecosistémicos, en la cuenca del arroyo Ludueña en el sur de Santa Fe (Argentina).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la cuenca del arroyo Ludueña en la provincia de Santa Fe, la cual posee una superficie de 83418.3 ha y se ubica entre los paralelos 32° 45' y 33° 08' S y los meridianos 61° 04' y 60° 39' O (Figura 1). El clima es subhúmedo mesotermal, con una temperatura media anual de 17 °C y con precipitaciones totales promedio de 1110 mm (Cáceres, 1980).

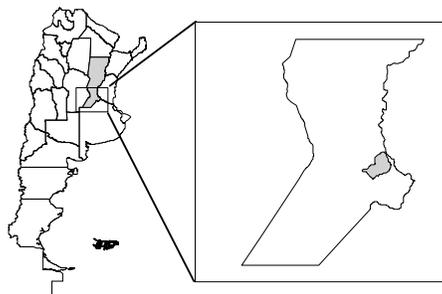


Figura 1. Ubicación de la cuenca.

Se efectuó el análisis de las modificaciones de las coberturas de suelo sucedidas en la cuenca en el período 1976-2015, principalmente de las tierras agrícolas y de los pastizales naturales. Mediante el software QGIS 2.18 se determinó la cobertura en 1976 en imágenes satelitales Landsat 1 Multispectral Scanner (MSS), de 80 m de tamaño de píxel (captada el 26/02/1976). Para el estudio del cambio de ambas coberturas luego de cuarenta años, se empleó el mismo software para procesar una imagen Landsat 8, sensor Operational Land Imager (OLI) de 30 m de tamaño de píxel (captada el 4/12/2015).

Asimismo, se relevó información de la población rural y urbana de las quince localidades ubicadas en la cuenca, a través de datos censales (IPEC, 2019).

Para evaluar los cambios de la sostenibilidad biofísica en el período analizado, se recurrió a tres indicadores utilizados por Montico y Di Leo (2007) en las cuencas del arroyo Ludueña y del Saladillo para el período 1976-2006. Estos indicadores se describen a continuación:

a) Índice de Vegetación Remanente (IVR), expresa la cobertura de vegetación natural (área de pastizal natural remanente) en la cuenca como porcentaje del total de la misma: $IVR = (AVR/At).100$. Se consideraron cuatro categorías de transformación adaptadas por Márquez (2000): NT, no transformado, $IVR > 70\%$: Sostenibilidad Alta (SA); PT, parcialmente transformado, $30\% < IVR < 70\%$: Sostenibilidad Media (SM); MT, muy transformado, $10\% < IVR < 30\%$: Sostenibilidad Baja (SB); CT, completamente transformado, $IVR < 10\%$: Sostenibilidad improbable (NS).

b) Índice de Presión Demográfica (IPD), valora las tasas de incremento en la densidad de población humana, según Winograd (1995): $IPD = DP1976 r$, siendo, DP1976, la densidad poblacional en 1976 (población por 100 ha), y r es la tasa de incremento poblacional en el período intercensal 1976-2015.

Los valores del IPD propuestos por Márquez (2000) son: $IPD < 1$: la unidad expulsa población. La sostenibilidad podría mantenerse o recuperarse; $1 < IPD < 10$: población y amenazas crecientes, pero normales. Sostenibilidad media; $10 < IPD < 100$: crecimiento acelerado de la población. Sostenibilidad amenazada; $IPD > 100$: crecimiento excesivo. Grave amenaza a la sostenibilidad.

c) De la combinación del IVR con el IPD, se obtiene el Índice de Criticidad Ambiental (ICA). En la siguiente matriz (Tabla 1) se presenta el esquema de valoración propuesto por Márquez (2000):

Tabla 1. Categorías de Índice de Criticidad Ambiental a partir de los IVR y IPD.

IVR	IPD < 1	1 < IPD < 10	10 < IPD < 100	IPD > 100
NT	I	I	II	II
PT	I	I	II	II
MT	III	III	IV	IV
CT	III	III	IV	V

-I: Relativamente Estable o Relativamente Intacto; conservado y sin amenazas inminentes.

-II: Vulnerable. Conservación aceptable y/o amenazas moderadas. Sostenible en el mediano plazo, en especial con medidas de protección.

-III: En peligro. Baja conservación y/o presiones fuertes. Sostenibilidad con probabilidades medias a bajas de persistencia en los próximos 15 años.

-IV: Crítico. Conservación baja y presiones fuertes. Pocas probabilidades de sostenibilidad en los próximos 10 años.

-V: Muy crítico (Extinto). Sostenibilidad improbable; transformación radical y presiones muy elevadas.

Respecto a los SE que existen en la cuenca, y de acuerdo a los establecidos por Millennium Ecosystem Assessment (2005) se reconocen los siguientes tipos:

- Servicios de Abastecimiento. Son los bienes y productos que se obtienen de los ecosistemas. Alimentos, fibra, combustible, bioquímicos, recursos genéticos y agua pura.
- Servicios de Regulación. Son los beneficios resultantes de la regulación de los procesos ecosistémicos, inundaciones, control de plagas, polinización, dispersión de semillas, control de erosión, purificación de agua, control de enfermedades.
- Servicios Culturales. Son los beneficios no materiales, valores espirituales y religiosos, sistema de conocimiento, educación, e inspiración, valores estéticos y recreativos.
- Servicios de Soporte. Son aquellos necesarios para la producción de todos los otros servicios de los ecosistemas producción primaria, ciclo de nutrientes, provisión de hábitats, producción de oxígeno en atmósfera y agua.

En este trabajo se planteó la evaluación de estos servicios en 2015, luego de cuatro décadas de sucesivos cambios de uso de la tierra en la cuenca. La valoración de los ecosistemas se llevó a cabo con el propósito de identificar y valorar las funciones y beneficios ambientales, sociales, culturales y económicos que brindan. Para ello, se aplicó la metodología elaborada por Castañeda Camacho (2013). Los tipos de ecosistemas y coberturas propuestos por esta autora fueron parcialmente modificados y se presentan en la Tabla 2.

Toda vez definidas las coberturas de los diferentes ecosistemas se establecieron los criterios de evaluación y su calificación, los cuales se indican en la Tabla 3.

De acuerdo a la propuesta de Catañeda Camacho (2013), para conocer la importancia de una cobertura perteneciente a un ecosistema, según al nivel de satisfacción y la atención de necesidades que brinda, se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$I = Co + Of + Pem + Per + NS \quad (1)$$

Donde: I = Importancia; Co = Cobertura; Of = Oferta;

Pem = Permanencia; Per = Periodicidad; NS = Nivel de Satisfacción.

Tabla 2. Tipificación de los ecosistemas y cobertura en la cuenca.

ECOSISTEMAS	COBERTURA
TIPO I Ecosistemas transformados	Cultivos agrícolas (Ca) Pasturas temporarias (Pt) Plantación forestal (Pt)
TIPO II Ecosistemas naturales terrestres	Pastizal natural (Pn) Monte nativo (Mn)
TIPO III Ecosistemas naturales acuáticos	Albardón costero (Ac) Arroyo (Ar) Laguna temporaria (Lt) Avenamiento discontinuo (Ad)

Tabla 3. Descripción de los criterios de evaluación y valores de calificación utilizados en la evaluación de las coberturas de los ecosistemas.

Criterio	Descripción	Calificación	Valor
Cobertura (co)	*Área hasta donde se puede extender el beneficio humano obtenido por el servicio que suministra un ecosistema específico.	Puntual	1
	-Puntual: cuando el beneficio se halla muy localizado, y no va más allá del área donde se produce.	Local	5
	-Local: cuando el beneficio se extiende más allá de donde se genera.	Regional	10
Oferta (of)	*Cantidad de elementos benéficos para el humano provenientes de un ecosistema, y que son empleados conforme a la función que cumple y el servicio que provee.	Baja	1
	-Baja: cuando los elementos benéficos tienden a ser homogéneos, reduciendo el nivel de oferta.	Media	5
	-Media: cuando se encuentran diferencias entre uno y otro elemento, y el nivel de oferta se regula.	Alta	10
Permanencia (pem)	*Tiempo en el que permanecerá el efecto del beneficio obtenido por un eco-servicio.	Corto plazo (< 1 año)	1
	-Corto plazo: cuando el beneficio transcurre en un tiempo inferior a 1 año.	Mediano plazo (1-5 años)	5
	-Mediano plazo: cuando el beneficio se presenta en un periodo de tiempo 1 de 1 a 5 años.	Largo plazo (> 10 años)	10
Periodicidad (per)	*Regularidad con la que se manifiesta el beneficio percibido por el servicio que proporciona un ecosistema.	Periódico	1
	-Periódico: cuando la manifestación del beneficio es de forma recurrente o cíclica.	Discontinuo	5
	-Discontinuo: cuando el beneficio se presenta de manera irregular o impredecible.	Continuo	10
Nivel de satisfacción (ns)	*Grado en que se suple una necesidad humana a través del bienestar propiciado por un eco-servicio.	Nula	1
	-Nulo: cuando no se cubre ninguna de las necesidades requeridas por un grupo social o individuo.	Parcial	5
	-Parcial: cuando las necesidades humanas no son cubiertas en su totalidad, pero se trabaja en las más prioritarias.	Total	10
	-Total: cuando se cubre la totalidad de las necesidades manifestadas por una comunidad o individuo.		

Mediante una matriz de evaluación que interacciona las diferentes coberturas de la cuenca y los servicios y funciones provistos por los ecosistemas presentes, se obtuvo la importancia de los eco-servicios de cada una de las coberturas, los cuales se clasificaron por su calidad de acuerdo a las categorías que se indican en la Tabla 4. De esta manera, mediante la sumatoria de los valores de la importancia de cada eco-servicio se obtuvo la relevancia del ecosistema al cual pertenece.

Tabla 4. Valoración de la importancia de los eco-servicios conforme al bienestar humano y ambiental que proveen. Modificado de Castañeda Camacho (2013).

Calidad de la importancia del eco-servicio	Valor
Baja	1 – 12.5
Media	12.6 – 25.0
Alta	25.1 – 37.0
Muy alta	> 37.1

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sostenibilidad biofísica

En la Tabla 5 se presentan los datos de superficie cubierta por pastizales naturales y agricultura en los dos momentos de análisis: 1976 y 2015 (la diferencia de superficie con el total de la cuenca se debe a otros tipos de uso menores).

Tabla 5. Superficie ocupada por pastizales naturales y agricultura en 1976 y 2015 en la cuenca del arroyo Ludueña. PN: Pastizal natural; A: Agricultura.

1976		2015	
PN	A	PN	A
18652.7	61889.6	7933.1	72568.1

En la cuenca del arroyo Ludueña, en 1976, la agricultura representaba el 76.8% de la superficie total. En 2015, esta aumentó a 90.1% (10668.5 ha), en cambio, en igual período, los pastizales naturales disminuyeron su superficie de 23.1% a 9.8%, coincidiendo con el nuevo paradigma productivo que se fue instalando en la región, más específicamente, desde fines de la década del '80 spp a la actualidad (Montico et al., 2013; Volante et al., 2015). Montico y Di Leo (2007) ya habían reportado para esta cuenca, una importante disminución de la superficie ocupada por pastizales naturales desde 1976 y por tres décadas. La cifra correspondiente a 2015 representa sólo el 57.5% de la superficie ocupada por pastizales naturales en 1976, mostrando una severa intervención

antropogénica, y con ello, un perjuicio ambiental para la región.

De acuerdo al IVR, la cuenca del Ludueña se encontraba en 1976 en la categoría completamente transformado, por lo que ya era de baja sostenibilidad (Tabla 6). En 2015, pasó a la categoría sostenibilidad improbable, ostentando la peor clasificación de este indicador. El IPD estima las amenazas a la biodiversidad y conservación del área por aumento de la densidad poblacional.

Tabla 6. Valores de IVR, IPD y categoría de ICA en 1976 y 2015 en la cuenca del arroyo Ludueña.

IVR	IVR	IPD	ICA
1976	2015	2015	2015
23.3 %	9.80 %	4.40 %	III

La cuenca posee un IPD que lo categoriza como un territorio con población y amenazas crecientes, pero normales, indicando una tendencia a la mayor demanda ambiental y presión sobre los ecosistemas, y sus funciones en sistemas naturales antropizados. El ICA representa una relación estado/presión donde la interacción entre la transformación de los biomas y la presión demográfica definen la condición de criticidad del ambiente. Según la clasificación propuesta, y considerando la intervención sobre los pastizales naturales, el ambiente de la cuenca está en peligro, y la sostenibilidad con bajas probabilidades de persistencia. La cuenca posee alto riesgo ambiental, principalmente por el mayor cambio del índice verde. El avance de la agricultura sobre el principal bioma local en el período 1976-2015, ha transformado el territorio, y alterado negativamente su capacidad para ofertar servicios ambientales. En este sentido, Rótolo et al. (2014a) advierten sobre la necesidad de recuperarla en toda la región para optimizar la sostenibilidad biofísica, y utilizar indicadores fiables para tomar decisiones políticas sobre cómo planificar el territorio (Rótolo et al., 2014b). Asimismo, Pucheta et al. (2004) alertan que cuando se suplantán los pastizales, se pierde el valor de parches o fragmentos del paisaje, tanto como fuente de biodiversidad, como de corredores biológicos.

Servicios ecosistémicos

A través de la matriz de evaluación se obtuvo la relevancia de los tipos de ecosistemas presentes en la cuenca, por sumatoria de los distintos valores de los criterios que definen la importancia de los diferentes servicios y funciones de las coberturas (Tabla 7).

Con la información obtenida de la matriz, se efectuó la valoración de la importancia de las nueve coberturas de las tierras de la cuenca (Figura 2). Se observa que algunas se destacan favorablemente frente a otras, no

obstante, las superficies que ocupan son pequeñas en proporción al resto y al total de la cuenca. Se destacan las plantaciones forestales (2 ha), los montes nativos (3 ha) y el arroyo principal (29,8 ha).

Tabla 7. Matriz de importancia de las coberturas de los servicios brindados por los ecosistemas de la cuenca.

ECOSISTEMAS	FUNCIONES	COBERTURAS								
		Ca	Pt	Pf	Pn	Mn	Ac	Ar	Lt	Ad
Para sustento básico	Alimentación	31								
	Abastecimiento de agua						40	36	9	
	Fuente de energía	18		45	5					
Para productividad	Bienestar económico	31	26	36	18					
	Actividades productivas agrícolas	27								
	Materias primas									
Proveedores de recursos naturales	Ganadería		40		25			27		
	Pesca									
	Madera			45		45				
	Recursos genéticos									
Para prevención de riesgos	Control de inundaciones	8	40	45	45	45	35	30	5	9
Receptores de desechos	Calidad del agua			27	22	27	40	45	13	13
	Calidad del aire			27	22	27				
	Procesamiento de desechos y materia orgánica							40		
Para el equilibrio ecológico	Control biológico									
	Mantenimiento de la biodiversidad		35	50	40	50	45	45	13	18
	Regulación de la erosión	9	45	45	45	45				17
	Disponibilidad de nutrientes		26							
	Mantenimiento de las condiciones climáticas			9		9				
Que abarcan beneficios recreativos y estéticos	Belleza escénica			40	13	40	9	45		
	Recreación y ecoturismo			32		32		45		
Asociados a la identidad, cultura y sentido de pertenencia de una región	Relevancia espiritual									
	Relevancia e identidad cultural					31		25		

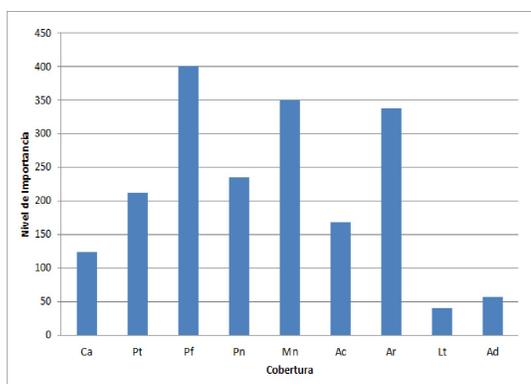


Figura 2. Nivel de importancia de las coberturas de la cuenca.

Luego le siguen en importancia los pastizales naturales (7933.1 ha), las pasturas artificiales (770 ha) y el albardón costero (11.7 ha). Los avenamientos discontinuos (113.1 ha), las lagunas temporarias (127.5 ha) y los cultivos agrícolas (72.568.1 ha) son las coberturas de menor importancia. Respecto a esta última, a pesar de su extensión, las funciones están ceñidas a su rol como ecosistema para el sustento básico y la productividad. Por el contrario, las coberturas más importantes poseen una muy baja representatividad areal, siendo entonces restringidas sus capacidades para impactar ambientalmente de manera positiva en la cuenca. Esta desproporción entre agricultura y las otras coberturas, tal como advierten

Paruelo et al. (2006) se funda en las diferentes posibilidades de proveer ciertos servicios sin valor de cambio en el mercado frente a la producción de bienes comerciales como granos y oleaginosas.

Se destaca que la matriz propuesta por Castañeda Camacho (2013) resultó útil para establecer vínculos entre coberturas y funciones ecosistémicas complejas, y que otras alternativas con abordajes similares como el protocolo ECOSER diseñada por Lateral et al. (2011), podrían aportar a tal fin (Rosinato y Ferraro, 2017).

En la Figura 3 se representa la proporción de la clasificación de la importancia de todos los eco-servicios provistos por cada cobertura. La cobertura Ar es la que posee la mayor proporción de Muy alta (34.9%) y Alta (65.1%), mientras que Lt y Ad, tienen la mayor proporción de Baja (35.0% y 15.8%, respectivamente) y Media (15.8% y 84.2%, respectivamente). Conviene destacar a las pasturas temporarias (Pt) y a las plantaciones forestales (Pf) como coberturas que también poseen gran importancia respecto a la calidad de lo eco-servicios

que ofrecen, dado que se encuentran en la categoría de Alta y Muy alta.

En la Figura 4 se indican los aportes que realizan los ecosistemas de la cuenca al bienestar de la sociedad y el ambiente. Las nueve coberturas en conjunto contribuyen al equilibrio ecológico en diferentes proporciones, siendo las plantaciones forestales y los montes nativos los que diferencialmente más eco-servicios aportan. Los ecosistemas receptores de desecho (integrados por las coberturas Pf, Pn, Mn, Ac, Ar, Lt y Ad) también poseen una gran capacidad de contribuir a la calidad ambiental de la cuenca. La identidad, cultura y sentido de pertenencia de una región como ecosistema socio-natural, es la que menor valor posee (56) respecto a los demás ecosistemas. Los montes nativos y el arroyo principal son las únicas coberturas que le suman importancia. En relación a ello, y tal como plantea Maris (2012), es imprescindible que la sociedad recupere esos atributos de modo que conduzca a un mayor involucramiento en las cuestiones vinculadas al sostenimiento de los beneficios que otorga la naturaleza, más allá de la rentabilidad del uso de la tierra.

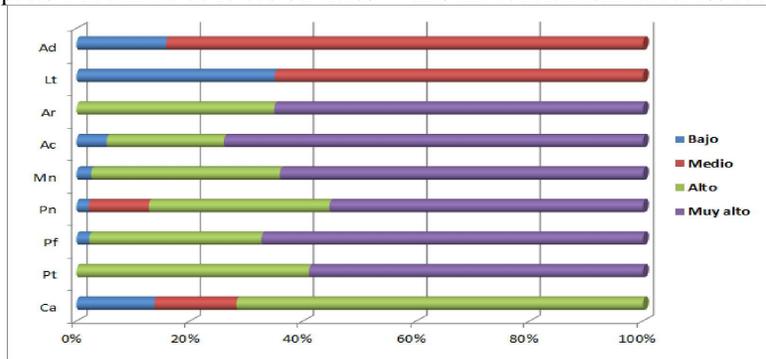


Figura 3. Proporción de la clasificación de la importancia de los eco-servicios provistos por cada cobertura.

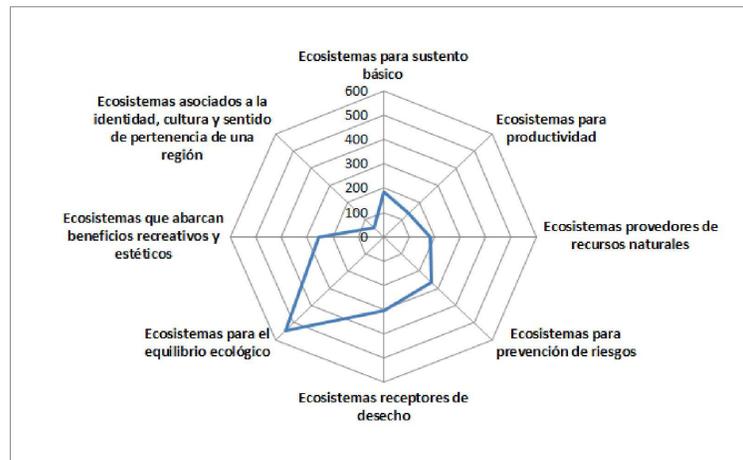


Figura 4. Valores de los aportes de bienes y servicios de los ecosistemas de la cuenca.

Las modificaciones territoriales que ocurren en la cuenca desde el comienzo de la agriculturización, han dejado una severa impronta en las estructuras y funciones de los ecosistemas locales (Montico et al., 2013; Sarandón, 2014). La búsqueda de mayor renta a expensas de la producción agrícola, y sin resguardo de las condiciones ambientales mínimas, ubica actualmente a la mayor superficie de este espacio integrado en una situación de vulnerabilidad extrema. Dependerán del tipo de decisiones que se tomen y de la rapidez con que se realicen las acciones futuras, las posibilidades de neutralización de las intervenciones degradantes y de restauración de las condiciones naturales.

CONCLUSIONES

Los cambios del uso de la tierra en la cuenca en las últimas cuatro décadas, produjeron alteraciones ambientales, principalmente en los biomas locales, y en especial en la proporción de la superficie de los pastizales naturales y la agricultura. El incremento de esta última actividad ha impactado negativamente en la sostenibilidad biofísica siendo su condición muy crítica y amenazada.

Actualmente, los bienes y servicios ecosistémicos de mayor calidad, son prestados por coberturas de la tierra que poseen escasa extensión en toda la cuenca, y la agricultura, la de mayor superficie, resulta una de las que menor calidad de eco-servicios aporta.

Para la optimización ambiental del territorio, será necesario producir con la mayor celeridad, cambios en el uso de la tierra que se orienten a balancear la superficie de pasturas temporarias con la agricultura, ampliar la dedicada a plantaciones forestales, y preservar todos los ecosistemas acuáticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bilenca, D. (2000). Los agroecosistemas y la conservación de la biodiversidad: El caso del pastizal pampeano. *Gerencia Ambiental*, N° 67.

Bilenca, D.; Codesido, M.; González Fischer, C.; Pérez Carusi, L.; Zufiaurrel, E. y Abba, A. (2012). Impactos de la transformación agropecuaria sobre la biodiversidad en la provincia de Buenos Aires. *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 14(2), 189-198.

Cáceres, L. M. (1980). Caracterización climática de la provincia de Santa Fe. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Provincia de Santa Fe,

Argentina. 35 pags.

Castañeda Camacho, A C. (2013). Diseño de una metodología para evaluar el estado de los servicios ecosistémicos. Universidad Militar Nueva Granada - especialización en planeación ambiental y gestión integral de los recursos naturales. Bogotá, Colombia.

Cruzate, G. A. y Casas, R. (2012). Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 6, 7-14.

Egoh, B.; Rouget, M.; Reyers, B.; Knight, A T.; Cowling, M R.; van Jaarsveld, A S. y Welz, A. (2007). Integrating ecosystem services into conservation assessments: a review. *Ecological Economics*, 63(4), 714-721.

IPEC. (2019). Instituto Provincial de Estadísticas y Censo de la provincia de Santa Fe. Recuperado de: www.ipeec.gov.ar. Consultado el: 10/1/2019.

Laterra, P.; Castellarini, F. y Orúe, E. (2011). ECOSER: un protocolo para la evaluación biofísica de servicios ecosistémicos y la integración con su valor social. En: P.L. Laterra; E. G. Jobbagy y J. M. Paruelo (Eds.) *Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. 740 pags. Buenos Aires, Argentina: Ed INTA.

Manuel-Navarrete, D.; Gallopín, G.; Blanco, M.; Díaz-Zorita, M.; Ferraro, D.; Herzer, H.; Laterra, P.; Morello, S.; Murmis, M. R; Pengue, W.; Piñeiro, M.; Podestá, G.; Satorre, E H; Torrent, M.; Torres, F; Viglizzo, E.; Caputo, M. G. y Celis, M. A. (2005). Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 118. CEPAL, Chile.

Maris, V. (2012). De la naturaleza a los servicios ecosistémicos - una mercantilización de la biodiversidad. *Ecología Política*, 44, 27-32

Márquez, G. (2000). Vegetación, población y huella ecológica como indicadores de sostenibilidad en Colombia. *Gestión y ambiente* 5, 33-49.

Metzger, M. J.; Rounsevell, M. D. A.; Acosta-Michlik, L.; Leemans, R. y Schroter, D. (2006). The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114, 69-85.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington D.C., EEUU: Island Press.

- Montico, S. (2013). Vulnerabilidad de unidades de paisaje en una cuenca de Santa Fe, Argentina. *Cuadernos del CURIHAM*, 19, 15-24.
- Montico, S. y Di Leo, N. (2007). Cambio de la sostenibilidad biofísica en cuencas hidrográficas: tres décadas de reemplazo de pastizales naturales por agricultura. *Cuadernos del CURIHAM*, 13(1), 1-7.
- Montico, S.; Bonel, B.; Di Leo, N. y Denoia, J. (2013). La aplicación del método GEO en la cuenca del arroyo Ludueña, Santa Fe. En CD: Actas VIII Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales. Buenos Aires. Argentina.
- Paruelo, J. M.; Guerschman, J. P.; Piñeiro, G.; Jobbágy, E. G.; Verón, S. R.; Baldi, G. y Baeza, S. (2006). Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia*, X(2), 47-61
- Pucheta E.; Bonamici, I.; Cabido, M. y Díaz, S. (2004). Below-ground biomass and productivity of a grazed site and a neighbouring ungrazed enclosure in a grassland in central Argentina. *Austral Ecology*, 29, 201-208.
- Rositano, F. y Ferraro, D.O. (2017). Una nueva aproximación metodológica basada en redes conceptuales y redes probabilísticas para evaluar la provisión de servicios de los ecosistemas. *Ecología Austral*, 27, 10-17.
- Rótolo, G.; Francis, C.; Craviotto, R.; Viglia, S.; Pereyra, A. y Ulgiati, S. (2014a). Time to re-think the GMO revolution in agriculture. *Ecological Informatics*, 6(1), 35-49. doi: 10.1016/j.ecoinf.2014.05.002. 2
- Rótolo, G.; Montico, S.; Francis, C. y Ulgiati, S. (2014b). Performance and environmental sustainability of cash crops in Pampas Region, Argentina. *Journal of Environmental Accounting and Management*, 2(3), 38-66.
- Sarandón, S. (2014). El agroecosistema: Un ecosistema modificado. En: Sarandón, S. y Flores, C. (Eds.) *Agroecología. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. (pp. 100-130). La Plata, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP)
- Volante, J.; Mosciaro, M. J.; Morales Poclava, M. C.; Vale, L.; Castrillo, S.; Sawchik, J.; Tiscornia, G.; Fuente, M.; Maldonado, I.; Vega, A.; Trujillo, R.; Cortéz, L. y Paruelo, J. (2015). Expansión agrícola en Argentina, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Chile entre 2000-2010: Caracterización espacial mediante series temporales de índices de vegetación. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 41 (2), 179-191.
- Winograd, M. (1995). Indicadores Ambientales para Latinoamérica y el Caribe: hacia la sustentabilidad en el uso de tierras. Documento IICA/GTZ/OEA/WRI. IICA, 85 p.

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO:

Montico, S.; Di Leo, N.; Bonel, B. y Denoi, J. (2019). Cambios del uso de la tierra en la cuenca del arroyo Ludueña, Santa Fe: Impacto en la sostenibilidad y en los servicios ecosistémicos. *Cuadernos del CURIHAM*. 25, 31-39. DOI: 10.35305/curiham.v25i0.115

Tipo de Publicación: ARTÍCULO.

Trabajo recibido el 14/02/2019 y aprobado para su publicación el 28/04/2019.