

Implementation of agroecological indicators for environmental diagnosis in a livestock productive facility from the southeast of Buenos Aires, Argentina

Aplicación de indicadores agroecológicos para el diagnóstico ambiental de una unidad productiva agropecuaria en el sudeste de Buenos Aires, Argentina

Brenda A. Larsen¹, María J. Kristensen² and Adriana E. Confalone³

¹Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). Campus Universitario Paraje A° Seco, 7000 Tandil, Argentina

²Instituto de Geomorfología y Suelos, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Calle 1 n° 644, 1900 La Plata, Argentina

³Núcleo de Investigación en Actividades Agropecuarias y Cambio Climático. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). Calle República de Italia 780, 7300 Azul, Buenos Aires, Argentina
Email: ayelenlarsen@gmail.com

Brenda A. Larsen: <https://orcid.org/0000-0002-5864-1412>

María J. Kristensen: <https://orcid.org/0000-0002-5008-8229>

Adriana E. Confalone: <https://orcid.org/0000-0003-3402-3537>

Cynthia O. Retura González: <https://orcid.org/0000-0003-2846-4205>

C.R. Padilla Corrales: <https://orcid.org/0000-0002-6828-122X>

R.O. Martínez Zubiaur: <https://orcid.org/0000-0002-3420-6862>

V.E. Vega Morrillo: <https://orcid.org/0000-0002-0847-8944>

An environmental diagnosis of a livestock facility that raises reproductive cattle in the southeast of Buenos Aires was carried out, during a productive year, to evaluate the effects of agricultural practices and deepen the analysis of wild species diversity. The model designed for the AgroEcoindex® Pampas region was applied, which uses 19 indicators related to energy, nutrients, pollution and erosion, water and intervention. Wild species on the area were listed. Energy indicators showed a critical demand for fossil energy. Consumption was 13 times superior to the negative threshold of the model. Production reached the optimal threshold, but was inefficient. It required five units of energy per unit of generated product. C reserve in soil was reduced, greenhouse gas balance exceeded the negative threshold, as well as the impact on habitat and water intake. Risk of pesticide contamination was critical. There were favorable trends: N and P balance, with an annual increase that was 20 times superior to the threshold, without generating contamination risks, efficiency of water use, rain/ produced energy ratio, erosion risk, habitat intervention and agro-diversity. A richness of 81 plants and 75 animals was registered, not evaluated by the model.

Key words: agroecosystem, Pampas region, agroecological indicator, sustainable agricultural system

The adoption of scientific-technological tools and inputs to increase yields and incomes of Pampas agroecosystems, stimulate the processes of productive intensification and expand the agricultural and livestock frontier in Argentina (Manuel-Navarrete *et al.* 2009 and Viglizzo and Jobbágy 2010), has generated a positive impact on the structure and functionality of the ecosystems in which agricultural activities are carried out (Viglizzo *et al.* 2011 and Andrade 2016). These tasks interfere with other productive activities, which depend on wildlife (Kristensen *et al.* 2011), and can compromise the ecological services provided

Se realizó el diagnóstico ambiental de un establecimiento agropecuario que cría ganado vacuno reproductor en el sudeste de Buenos Aires, teniendo en cuenta un año productivo, para evaluar los efectos de las prácticas agropecuarias y profundizar el análisis de diversidad de especies silvestres. Se aplicó el modelo diseñado para la región pampeana AgroEcoindex®, que utiliza 19 indicadores relativos a la energía, nutrientes, contaminación y erosión, agua e intervención. Se listaron las especies silvestres del predio. Los indicadores energéticos evidenciaron una demanda de energía fósil crítica. El consumo superó 13 veces el umbral negativo del modelo. La producción alcanzó el umbral óptimo, pero fue ineficiente. Requirió cinco unidades de energía por unidad de producto generado. Se redujo la reserva de C en suelo, el balance de gases invernadero superó el umbral negativo, al igual que el impacto el hábitat y el consumo de agua. El riesgo de contaminación por plaguicidas fue crítico. Hubo tendencias favorables: balance de N y de P, con incremento anual que superó 20 veces el umbral, sin generar riesgo de contaminación, eficiencia de uso del agua, relación lluvia/energía producida, riesgo de erosión, intervención del hábitat y agrodiversidad. Se inventarió riqueza de 81 plantas y 75 animales, no evaluada por el modelo.

Palabras clave: agroecosistema, región pampeana, indicador agroecológico, sistema agropecuario sostenible

La adopción de herramientas científico-tecnológicas e insumos para aumentar los rendimientos e ingresos de los agroecosistemas pampeanos, estimular los procesos de intensificación productiva y expandir la frontera agraria y ganadera en Argentina (Manuel-Navarrete *et al.* 2009 y Viglizzo y Jobbágy 2010), ha generado un impacto positivo en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas en los que se realizan actividades agropecuarias (Viglizzo *et al.* 2011 y Andrade 2016). Estas labores interfieren con otras actividades productivas, que dependen de la vida silvestre (Kristensen *et al.* 2011), y pueden comprometer los servicios ecológicos provistos por los recursos naturales

by the natural resources of the area (Viglizzo *et al.* 2012). To reorient the management of agricultural systems towards sustainability, it is invaluable to carry out diagnoses that allow evaluating the complexity of sustainability of activities, recognize problems that move the analyzed system from the desired condition and establish management guidelines to reverse them. This allows producers and agricultural companies to modify their actions, minimize environmental consequences and obtain agroecological certifications that offer competitive advantages and social credibility (Viglizzo *et al.* 2011).

The models facilitate the analysis of complexity of the agricultural system, but a well-selected set of indicators that allow the various aspects of its complex nature to be translated into clear, objective and general values, constitutes an irreplaceable tool to summarize information and guide decision-making of farmers. An indicator shows not easily detectable trends, summarizes, in numerical or qualitative information, a particular relevant phenomenon associated with a factor, and describes the evolution of a process (Girardin *et al.* 1999 and Sarandón and Flores 2014). Several models group empirical or semi-empirical indicators, designed for production systems (Vilain 2008, Pérez and Alcaráz (2015) and Trabelsi *et al.* 2016) different from those of Pampas region.

Agriculture in the Pampas has a group of regional agro-environmental sustainability indicators that allow monitoring and certifying the application of good agricultural practices through standardized ISO 14000 environmental codes (Viglizzo *et al.* 2006). It is important that producers also have reliable indicators to evaluate and supervise different components of the agroecosystem of their productive facility and encourage them to focus on environmentally friendly management (Gutiérrez *et al.* 2008).

The AgroEcoindex® (Viglizzo *et al.* 2006 and Frank 2007) is a model, sensitive to temporal and spatial changes, applicable to the evaluation of the functioning of variables related to sustainable management in agricultural establishments (Gil *et al.* 2009). It allows the farmer to diagnose and interpret critical processes of the agroecosystem by estimating quantitative indicators related to energy, nutrients, pollution and degradation, water use, habitat and agrobiodiversity (richness of crops), and to make decisions based on data. For its better use, indicators are displayed on a control panel, which indicates the condition of each one with colors: dark and light green (favorable/without problems), light and dark yellow (regular/alert), orange and red (danger/serious).

In order to analyze processes and tendencies of an agricultural and livestock facility, which rears

del área (Viglizzo *et al.* 2012). Para reorientar la gestión de los sistemas agropecuarios hacia la sustentabilidad, resulta inestimable la realización de diagnósticos que permitan evaluar la complejidad de la sustentabilidad de las actividades, reconocer los problemas que alejan al sistema analizado de la condición deseada y fijar pautas de manejo para revertirlos. Esto permite a productores y empresas agropecuarias modificar sus acciones, minimizar las consecuencias ambientales y obtener certificaciones agroecológicas que ofrezcan ventajas competitivas y credibilidad social (Viglizzo *et al.* 2011).

Los modelos facilitan el análisis de la complejidad del sistema agrícola, pero un conjunto bien seleccionado de indicadores que permita traducir los diversos aspectos de su naturaleza compleja en valores claros, objetivos y generales, constituye una herramienta insustituible para sintetizar la información y orientar las decisiones de los agricultores. Un indicador evidencia tendencias no fácilmente detectables, resume en información numérica o cualitativa un fenómeno relevante particular asociado a un factor, y describe la evolución de un proceso (Girardin *et al.* 1999 y Sarandón y Flores 2014). Varios modelos agrupan indicadores empíricos o semiempíricos, diseñados para sistemas productivos (Vilain 2008, Pérez y Alcaráz 2015 y Trabelsi *et al.* 2016) diferentes de los de la región pampeana.

El agro de la pampa dispone de un grupo de indicadores de sustentabilidad agroambiental regional que permite monitorear y certificar la aplicación de buenas prácticas agropecuarias a través de códigos ambientales estandarizados ISO 14000 (Viglizzo *et al.* 2006). Es importante que los productores también dispongan de indicadores confiables para evaluar y monitorear los diferentes componentes del agroecosistema de su unidad productiva y los estimulen a orientarse hacia una gestión respetuosa con el ambiente (Gutiérrez *et al.* 2008).

El AgroEcoindex® (Viglizzo *et al.* 2006 y Frank 2007) es un modelo sensible a cambios temporales y espaciales, aplicable a la evaluación del funcionamiento de variables relacionadas con el manejo sustentable en establecimientos agropecuarios (Gil *et al.* 2009). Permite al productor diagnosticar e interpretar procesos críticos del agroecosistema mediante la estimación de indicadores cuantitativos, relacionados con la energía, los nutrientes, la contaminación y degradación, el uso del agua, el hábitat y la agrobiodiversidad (riqueza de cultivos), y tomar decisiones basadas en datos. Para facilitar su uso, los indicadores se visualizan en un panel de control, que señala con colores la condición de cada uno: verde oscuro y claro (favorable/sin problemas), amarillo claro y oscuro (regular/de alerta), naranja y rojo (peligro/grave).

Con el propósito de analizar los procesos y las tendencias de un establecimiento agropecuario que cría ganado vacuno reproductor en la provincia de Buenos Aires, el objetivo de este estudio fue realizar el

breeding cattle in Buenos Aires province, the objective of this study was perform an environmental diagnosis using a local design model, and to evaluate the effects of agricultural practices on different components of the environment during a productive year, including the diversity of wild species of the area.

Materials and Methods

The study area has favorable edaphic and climatic characteristics for agriculture of cereals and oleaginous plants under dry land (without irrigation) and cattle rearing. Argiudol and Natraqualf (Soil Survey Staff 2014) soil groups are predominant, which are equivalent to the reference soil groups Phaeozems and Solonetz (IUSS Working Group WRB 2015), respectively. The climate is oceanic temperate, with exchange of air masses between sea and continent and low thermal amplitude (SAGyP – INTA 1990).

A livestock and agricultural production facility in the southeast of Buenos Aires province, Argentina, was analyzed during the 2014-2015 production year. This facility has 666.5 ha and has been under the same type of family management for over 45 years. Harvests are destined to commercialization of grains and cattle feeding. The components of the agricultural system were cereals *Triticum aestivum* L. (wheat), *Phalaris canariensis* L. (canary grass), *Avena sativa* L. (oats); oilseeds *Glycine max* (L.) Merr (soy bean), *Zea mays* L. (corn), *Helianthus annuus* L. (sunflower) and forages *Sorghum bicolor* (L.) Moench (sorghum), *Medicago sativa* L. (alfalfa), *Bromus catharticus* Vahl (brome grass), *Lolium multiflorum* Lam (annual ryegrass). Double annual cultivation is carried out in direct sowing of seasonal species. Wheat and sunflower are marketed, and the rest of crops contribute to the nutritional management of the animals. The entire area has cattle at some point. In pastures (associated, perennial or multi-annual of five years) and some forage crops (sorghum), rotational grazing is performed in the field. Winter and summer greens (species of annual cycle and seasonal production) are grazed. Chopped corn is ensiled for forage. Oats and barley are used for making forage rolls.

The area under analysis is subdivided into plots with different surfaces, limited by fences (fences with posts and wires). In the model, they were grouped into 15 units, depending on the use or sequence of uses during the productive year (table 1). A plot of 50 ha, where flood and salinity limit cultivation, is covered by a natural pasture grazed by cattle. This is located next to a shallow body of water, with a variable surface (± 700 ha) depending on the annual rainfall. Scattered groups of trees over 40 years old, planted for the shelter and shade of livestock, cover four hectares. *Eucalyptus* spp., *Pinus* spp. and *Tamarix gallica*, a little tree adapted to sandy and brackish soils, are predominant.

diagnóstico ambiental mediante un modelo de diseño local, y evaluar los efectos de las prácticas agropecuarias en diferentes componentes del ambiente durante un año productivo, entre los que se encuentra la diversidad de especies silvestres del predio.

Materiales y Métodos

El área de estudio posee características edáficas y climáticas favorables para la agricultura de cereales y oleaginosas en secano (sin riego) y la cría a campo de ganado bovino. Predominan los grandes grupos de suelo Argiudoles y Natracualfes (Soil Survey Staff 2014), equivalentes a los grupos de suelo de referencia Phaeozems y Solonetz (IUSS Working Group WRB 2015), respetivamente. El clima es templado oceánico, con intercambio de masas de aire entre el mar y el continente y baja amplitud térmica (SAGyP-INTA 1990).

Se analizó una unidad de producción agrícola ganadera del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, durante el año productivo 2014-2015. Esta instalación posee 666,5 ha y ha estado bajo el mismo tipo de manejo familiar por más de 45 años. Los productos de la cosecha de la actividad agrícola se destinan a la comercialización de granos y a la alimentación del ganado. Los componentes del sistema agrícola fueron los cereales *Triticum aestivum* L. (trigo), *Phalaris canariensis* L. (alpiste), *Avena sativa* L. (avena); las oleaginosas *Glycine max* (L.) Merr (soja), *Zea mays* L. (maíz), *Helianthus annuus* L. (girasol) y las forrajeras *Sorghum bicolor* (L.) Moench (sorgo), *Medicago sativa* L. (alfalfa), *Bromus catharticus* Vahl (cebadilla), *Lolium multiflorum* Lam (raigrás anual). Se realiza doble cultivo anual en siembra directa de especies estacionales. Se comercializan trigo y girasol, y el resto de los cultivos contribuye al manejo nutricional de los animales. Toda el área tiene ganado en algún momento. En las pasturas (consociadas, perennes o plurianuales de cinco años) y algunos cultivos de forrajes (sorgo) se hace pastoreo rotativo a campo. Los verdeos (especies de ciclo anual y producción estacional) invernales y estivales se pastorean. El maíz picado se ensila para forraje. Con la avena y la cebada se hacen rollos de forraje.

El predio objeto de análisis se subdivide en parcelas de distinta superficie, delimitadas por alambrados (cercas con postes y alambres). En el modelo se agruparon en 15 unidades, en función del uso o secuencia de usos durante el año productivo (tabla 1). Una parcela de 50 ha, donde el anegamiento y la salinidad limitan el cultivo, está cubierta por un pastizal natural pastoreado por el ganado. Este se ubica aledaño a un cuerpo de agua somero, de superficie variable (± 700 ha) según la pluviosidad anual. Grupos diseminados de árboles de más de 40 años, plantados para reparo y sombra del ganado, cubren cuatro hectáreas. Dominan *Eucalyptus* spp., *Pinus* spp. y *Tamarix gallica*, arbolito adaptado a suelos arenosos y salobres.

Table 1. Area occupied by types of use during the productive year 2014-2015, and its destination

n°	Use (performed activity)	ha	Product destination
1	Natural grassland- natural grassland	50	Grazing
2	Pasture - crop (corn)	77	Grazing - silage
3	Pasture - pasture	53	Grazing
4	Crop (oats) – summer greens	42	Forage roll - grazing
5	Greens - greens	127	Crop and grazing
6	Crop (wheat) - fallow	81	Grain commercialization- grazing
7	Barley – soy bean of 2nd	26	Forage roll - harvest and silage
8	Oats – soy bean of 1st	14	Forage roll - harvest and silage
9	Oats - corn	36	Forage roll – cut and silage
10	Oats - sorgo dc 2ª	44	Forage roll – grazing
11	Wheat - sunflower	22	Grain commercialization
12	Wheat - soy bean of 2nd	38	Grain commercialization-harvest and silage
13	Barely - corn	39	Forage roll - grazing
14	Winter green – restriction for bulls	6.5	Crop and grazing
15	Afforestation - afforestation	4	Shadow for cattle
	Total	666.5	

Cattle rearing is based on bovine cattle, with 1,012 heads (295 calves, 180 heifers, 107 steers, 130 bulls and 300 cows). The nutritional management of animals was based on a pastoral system with food inputs produced in the establishment and dietary supplements are eventually imported. Cattle was managed in two groups: one of herd (female and male breeders for sale), and another for the sale of steers for meat or rearing. One-year-old breeders are for sale, and two males go to an insemination center, to later commercialize their semen. Sheep cattle, with 222 heads (140 sheep, 8 rams, 74 lambs), are eventually used for consumption.

AgroEcoindex® model (Viglizzo *et al.* 2006 and Frank 2007) was applied, with information obtained through interviews and surveys to the farmer and professionals who advise him (veterinary doctors and agricultural engineers). Results for each of the 18 indicators were compared with limit values of the model for the type of mixed, agricultural-livestock production (table 2). To analyze the richness of wild species, seven less disturbed areas were distinguished (wire edges, floodplains and lagoons), where plants that grew spontaneously were collected. Species in a cabinet were herborized and identified with a binocular loupe and taxonomic keys (Cabrera 1963-1970) and specific richness was estimated. At dawn and dusk, in Autumn (April, July-August) and in Summer (January-February), birds, mammals and reptiles were sighted, as well as signs of their presence. Binoculars and identification guides were used for this (Narosky and Yzurieta 2010 and Giambelluca 2015). The list was completed with surveys to people who live and work in the area.

La ganadería se basa en la cría de ganado bovino, con 1012 cabezas en total (295 terneros/as, 180 vaquillonas, 107 novillos, 130 toros y 300 vacas). El manejo nutricional de los animales se basó en un sistema pastoril con insumos alimentarios producidos en el establecimiento y se importan eventualmente suplementos dietarios. El ganado bovino se manejó en dos rodeos: uno de cabaña (reproductores hembras y machos para la venta), y otro para venta de novillos para carne o cría. Los reproductores de un año están a la venta, y dos machos van a un centro de inseminación, para posteriormente comercializar su semen. El ganado ovino, con 222 cabezas (140 ovejas, 8 carneros, 74 corderos), se usa eventualmente para consumo.

Se aplicó el modelo AgroEcoindex® (Viglizzo *et al.* 2006 y Frank 2007) con información obtenida mediante entrevistas y encuestas al productor y a profesionales que lo asesoran (médicos veterinarios e ingenieros agrónomos). Los resultados para cada uno de los 18 indicadores se contrastaron con los valores límite del modelo para el tipo de producción mixto, agrícola-ganadera (tabla 2). Para analizar la riqueza de especies silvestres, se diferenciaron siete áreas menos perturbadas (bordes de alambrados, bajos inundables y lagunas), donde se colectaron plantas que crecen espontáneamente. Se herborizaron e identificaron especies en gabinete con lupa binocular y claves taxonómicas (Cabrera 1963-1970) y se estimó la riqueza específica. Al amanecer y al atardecer, en otoño (abril, julio-agosto) y en verano (enero-febrero), se avistaron aves, mamíferos y reptiles, y signos de su presencia. Se utilizó para ello binoculares y guías de identificación (Narosky e Yzurieta 2010 y Giambelluca 2015). El listado se completó con encuestas a informantes que viven y trabajan en el área.

Table 2. Indicators applied by AgroEcoindex®. Limit values established by the model for one type of agricultural-livestock production

Indicator	Calculation method	Unit	Limit value of the model				
			Dark green	Light green	Light yellow	Dark yellow	Red
0. Percentage of annual crops	(Annual crops*100)/total of crops	%			-		
1. Fossil energy intake (FE)	FE of inputs and labors	MJ/ha/year	5,000	10,000	15,000	20,000	25,000
2. Energy production (P)	E of products (crops and cattle)	MJ/ha/year	50,000	40,000	30,000	20,000	10,000
3. Efficient use of FE	FE / P	Without unit	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
4. N balance (balN)	Incomes – expenditure = (rain + biological fixation + fertilizers) - N	kg/ha/year	20.00	0.00	-20.00	-40.00	-60.00
5. P balance (balP).	o P of exported product	kg/ha/year	3.00	0.00	-3.00	-6.00	-9.00
6. Change of C reserve of soil (COS)	(current reserve–previous reserve)/20 years	t/ha/year	0.10	0.00	-0.10	-0.20	-0.30
7. Change of woody biomass reserve	Forest growth–extraction (wood)	t/ha/year	0.10	0.00	-0.10	-0.20	-0.30
Contamination risk by:							
8. N	N and P balance related to rainfall,	mg/L	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
9. P	evapotranspiration, and hydrography	mg/L	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
10. Pesticides	Relative index based on mean lethal dose (DL50), persistency, mobility, solubility, degradation rate of active substances	IR	17.00	33.00	50.00	67.00	83.00
11. Erosion risk	Wind-erosion equation (WEQ) and Universal Soil Loss Equation (USLE), t/ha/year	t/ha/year	6.00	12.00	18.00	23.00	30.00
12. Greenhouse gas balance	Variation of COS reserve and wooden biomass. Estimation of CO ₂ emission and sequestration	t/ha/year	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00
13. Water intake (consH ₂ O)	Precipitation/water intake	mm/year	100.00	250.00	400.00	550.00	700
14. Efficient use of water	H ₂ O intake*100) /annual precipitation	%	83.00	67.00	50.00	33.00	17.00
15. Rain-produced energy relation	Annual precipitation/E of products	L/MJ	170.00	330.00	500.00	670.00	830
16. Habitat intervention risk	Anthropic interference (use, type of farming and contamination, pesticides)	IR	0.17	0.33	0.50	0.67	0.83
17. Impact on habitat	Farmed hectares año ⁻¹ (use, type of farming and agrochemicals in each paddock)	IR	1.70	3.30	5.00	6.70	8.30
18. Agrodiversity	Number of different crops	IR	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00

Results and Discussion

Results of total indicators and per plot (table 3) were analyzed, grouped into five axes and compared with the limits established by the model (table 2).

Indicators related to energy indicate the intensity and frequency of use of energy resources, processes of transformation and conversion to products of agricultural value (Frank 2010).

Fossil energy (FE) consumption showed an unfavorable trend, since total energy entry in inputs (seeds, fertilizers, pesticides, fuel for labor and transport and food supplements) and for work carried out surpassed 13 times the negative threshold established by the model (tables 2 and 3). The 25% of uses exceeded the threshold. The highest inputs (40,000 to 65,000 MJ ha⁻¹y⁻¹) were required by pasture-corn, greens-greens and wheat-fallow. Oats-soy bean, forest and greens-winter were less demanding.

Resultados y Discusión

Los resultados de los indicadores totales y por parcela (tabla 3) se analizaron agrupados en cinco ejes y se contrastaron con los límites establecidos por el modelo (tabla 2).

Los indicadores relativos a la energía señalan la intensidad y frecuencia de uso de los recursos energéticos, los procesos de transformación y conversión a productos de valor agropecuario (Frank 2010).

El consumo de energía fósil (EF) mostró tendencia desfavorable, pues la entrada total de energía en insumos (semillas, fertilizantes, plaguicidas, combustible para laboreo y transporte, suplementos alimenticios) y para las labores practicadas superó 13 veces el umbral negativo establecido por el modelo (tablas 2 y 3). El 25 % de los usos superó el umbral. Los mayores insumos (40000 a 65000MJ ha⁻¹ año⁻¹) los requirieron pastura-maíz, verdeo-verdeo y trigo-barbecho. Fueron menos demandantes avena-soja, forestal y verdeo-invernada.

Table 3. (a) Total general results and (b) separated by type of use, obtained with AgroEcoindex®, in an agricultural and livestock productive facility from the SE of Buenos Aires (Argentina) during the productive year 2014-2015

a)

Indicator n°	Value	Unit	Description
0	37.70	%	Percentage of annual crops
1	344373.90	MJ/ha/year	Fossil energy intake
2	67023.70	MJ/ha/year	Energy production
3	5.14	MJ FE/MJ prod.	Efficiency use of fossil energy
4	384.80	kg/ha/year	N balance
5	63.61	kg/ha/year	P balance
6	-0.37	t/ha/year	Change of soil C reserve
7	-0.02	t/ha/year	Change of C reserve of the woody biomass
8	0.00	mg/L	Risk of contamination by N
9	0.00	mg/L	Risk of contamination by P
10	55.91	Relative index	Risk of contamination by pesticides
11	5.70	t/ha/year	Risk of wind and water erosion
12	62.37	t/ha/year	Greenhouse gas balance
13	9556.20	mm/year	Water intake
14	1124.30	%	Efficiency of water use
15	126.82	L/MJ	Rain-produced energy relation
16	0.85	Relative index	Risk of habitat intervention
17	1.70	Relative index	Impact on habitat
18	5.02	Relative index	Agrodiversity

b)

Ind.	Pot 1	Pot 2	Pot 3	Pot 4	Pot 5	Pot 6	Pot 7	Pot 8	Pot 9	Pot 10	Pot 11	Pot 12	Pot 13	Pot 14	Pot 15
1	24978.00	40539.00	27191.70	21689.20	64900.00	41591.70	13549.70	7233.00	18853.70	23193.00	11526.80	19789.90	20528.00	3321.10	1996.00
2	280.90	14556.00	297.70	2084.80	713.40	10359.70	3331.00	2196.50	8390.10	2184.10	4414.90	7625.70	9909.10	36.50	22.50
3	88.93	2.79	91.33	10.40	90.97	4.02	4.07	3.29	2.25	10.62	2.61	2.59	2.07	90.96	88.83
4	30.70	41.95	39.87	25.50	81.39	38.11	17.42	7.71	15.99	28.20	8.52	17.94	18.57	4.16	2.46
5	5.72	6.32	6.23	4.36	14.98	6.96	2.13	1.15	2.42	4.76	1.51	2.69	2.22	0.76	0.46
6	-0.034	-0.04	-0.04	-0.02	-0.07	-0.04	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02	-0.02	-0.021	-0.004	-0.01
7	-0.037	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	3.12	0.91	1.23	1.76	1.73	1.099	0.67	1.68	1.20	0.81	1.77	1.82	0.151	0.00
11	0.43	0.42	0.23	0.35	1.14	1.34	0.20	0.11	0.28	0.37	0.17	0.30	0.29	0.07	0.02
12	1940.80	2988.70	2057.19	1630.20	4929.50	3144.01	1009.20	543.40	1397.30	1707.90	853.93	1474.90	1513.80	252.30	155.26
13	697.30	1109.70	739.10	608.40	1771.00	1165.90	383.00	207.40	534.10	637.50	323.30	560.30	575.10	90.60	55.80
14	82.00	130.60	87.00	71.60	208.40	137.20	45.10	24.40	62.80	75.00	38.00	65.90	67.70	10.70	6.60
15	30262.70	583.90	28549.70	4077.10	11914.40	820.48	2551.80	3869.80	1013.10	3891.80	1925.30	1114.60	857.80	232789.00	378283.00
16	0.00	0.09	0.05	0.06	0.19	0.12	0.04	0.02	0.05	0.07	0.03	0.06	0.06	0.010	0.00
17	0.00	0.40	0.10	0.10	0.40	0.20	0.10	0.00	0.10	0.10	0.00	0.10	0.10	0.00	0.00
18	0.38	0.58	0.40	0.32	0.96	0.61	0.20	0.11	0.27	0.33	0.17	0.29	0.29	0.05	0.03

Energy production had a positive impact. Energy content of agricultural and livestock products surpassed the most positive threshold of the model. Except wheat and sunflower, the crops served as food input to livestock of the establishment itself.

The efficient use of energy showed a negative impact. An amount of 5 MJ of external energy per MJ of product was used, which doubled the critical threshold of the model. The 80% of the uses were inefficient. Although consumption increases and efficiency decreases, with the increase of annual harvest crops (Viglizzo *et al.* 2006 and Frank 2007), forages were less efficient.

These three indicators show a production critically subsidized by fossil energy, with high productivity and high inefficiency. It is necessary to review the incorporation of inputs and avoid their reduction does not harm productivity. It is probable that the model, appropriate for agriculture with some livestock, needs some adjustments to fit it in order to assess the rearing of high genetic quality breeding cattle, with more careful management and higher economic value.

Regarding indicators related to nutrients, mean annual balance of N and P was positive. Annual increase of N and P was 20 times superior to the optimal threshold. Reserves are stored in non-exported biomass (plant and animal) and in the soil, where their solubility could cause water contamination (indicators 8 and 9). Organic forms of N and P from biomass are released with necromass and feces, and, when mineralized, they become available to plants, which completes their cycling in the establishment. The estimation of N and P reserve in soil would complete the model analysis. In addition, it would allow knowing the capital that guarantees the functioning of the ecosystem and provides essential ecosystem services in agricultural production (Latterra *et al.* 2012).

Soil C reserve (COS) decreased in all types of use and had a negative impact. Berhonoraya and Álvarez (2013) pointed out that the IPCC (2014) methodology, used by the AgroEcoindex®, overestimates COS losses and suggests calibrating default parameter values with local data. The relationship between the organic C stock of biomass and that of the soil defines, in part, the intrinsic sustainability of the agroecosystem, because the former is more exposed to degradation, whereas COS reserves are less sensitive to short-term losses (Jarecki and Lal 2003) and are modified by agricultural activities. The negative value of the indicator may be due to the intensive use of land and grazing of the remaining biomass of crops (cuttings) that does not go to the detritus.

The change of C reserve of woody biomass was positive, only in areas with trees. The theoretical growth of biomass was estimated (IPCC 2014), since no wood was commercialized.

Regarding indicators related to contamination and erosion, the model did not show any risk of contamination

La producción de energía tuvo un impacto positivo. El contenido energético de los productos agrícolas y ganaderos superó los del umbral más positivo del modelo. Excepto trigo y girasol, los cultivos sirvieron de insumo alimenticio al ganado del propio establecimiento.

La eficiencia de uso de la energía mostró un impacto negativo. Se usaron 5 MJ de energía externa por MJ de producto, lo que duplicó el umbral crítico del modelo. El 80 % de los usos fueron ineficientes. Aunque el consumo crece y la eficiencia baja, al aumentar los cultivos de cosecha anual (Viglizzo *et al.* 2006 y Frank 2007), los forrajes fueron menos eficientes.

Estos tres indicadores denotan una producción críticamente subsidiada en energía fósil, con alta productividad y alta ineficiencia. Es necesario revisar la incorporación de insumos y evitar que su reducción no perjudique la productividad. Es probable que el modelo, apropiado para la agricultura con algo de ganadería, merezca ajustes que lo adecuen para evaluar la cría de ganado reproductor de alta calidad genética, con un manejo más cuidadoso y mayor valor económico.

En lo que respecta a los indicadores relativos a los nutrientes, el balance medio anual de N y P fue positivo. El incremento anual de N y P superó 20 veces el umbral óptimo. Las reservas se almacenan en la biomasa (vegetal y animal) no exportada y en el suelo, donde su solubilidad podría causar contaminación del agua (indicadores 8 y 9). Las formas orgánicas de N y P de la biomasa se liberan con la necromasa y las heces, y al mineralizarse quedan disponibles para las plantas, lo que completa su ciclo en el establecimiento. La estimación de la reserva de N y P en el suelo completaría el análisis del modelo. Además, permitiría conocer el capital que garantiza el funcionamiento del ecosistema y provee de servicios ecosistémicos esenciales en la producción agropecuaria (Latterra *et al.* 2012).

La reserva de C en el suelo (COS) disminuyó en todos los tipos de uso y tuvo impacto negativo. Berhonoraya y Álvarez (2013) señalan que la metodología del IPCC (2014), usada por el AgroecoÍndice® sobrestima las pérdidas de COS y sugiere calibrar con datos locales los valores de los parámetros por defecto. La relación entre la reserva de C orgánico de la biomasa y el del suelo define, en parte, la sustentabilidad intrínseca del agroecosistema, dado que el primero está más expuesto a la degradación, en tanto que las reservas de COS son menos sensibles a pérdidas a corto plazo (Jarecki y Lal 2003) y se modifican por las actividades agropecuarias. El valor negativo del indicador se puede deber al uso intensivo de la tierra y al pastoreo de la biomasa remanente de los cultivos (rastros) que no ingresa a los detritus.

El cambio en la reserva de C de biomasa leñosa fue positivo, solo en áreas arboladas. Se estimó el crecimiento teórico de la biomasa (IPCC 2014), ya que no se comercializó madera o leña.

Con relación a los indicadores relativos a la contaminación y erosión, el modelo no evidenció riesgo

by N and P. There was no residual N and P in the soil and values of indicators were positive in both cases.

Risk of contamination by pesticides did not reach the maximum threshold, although it was critical. The effect of herbicides and pesticides depends on their toxicity, persistence and mobility of the active substances, solubility and degradation rate (Stoate *et al.* 2001). Although organo-chlorinated products were not used due to their toxicity and persistence, and many modern pesticides degrade easily under the sun, there is a risk that they will persist for some time in the subsoil or in groundwater (Viglizzo *et al.* 2011). The 50 ha of native grassland that did not receive agrochemicals may have determined that the indicator was not more negative.

There was no risk of water and wind erosion. In the Pampas area, this risk increases with the proportion of cultivated land, and the positive effects of direct sowing (Álvarez *et al.* 1998 and INTA 2011) have been evidenced, which is the predominant cultivation modality in the analyzed case.

Greenhouse gas balance had a negative impact. Since 1750, global atmospheric concentrations of CO₂ (burning of fossil fuels and deforestation), CH₄ and N₂O (associated with agricultural activity) have increased markedly (IPCC 2014). In the study area, fertilizers and cattle were the emission sources, which releases CH₄ by enteric fermentation, a gas with a greenhouse power 21 times greater than CO₂. N in feces, synthetic fertilizers, the result of biological fixation in legumes and harvest residues are indirect sources of N₂O emissions, with a greenhouse power 310 times greater than CO₂.

In indicators related to water, land use is one of the determining factors of consumption and use efficiency of this resource (Victoria *et al.* 2005). Consumption had a negative impact and exceeded the model threshold.

Efficient use of water, with precipitation of 900 mm year⁻¹, generated a positive impact. The indicator exceeded the maximum efficiency that the model postulates (83%).

Regarding the rain-produced energy relation, although water cycles on a large spatial and temporal scale, the model considers the agroecosystem as an ecological entity, where water circulates to support production. This indicator was positive. An amount of 126.82 L of water was used to generate 1MJ⁻¹ of product. The water needed for most crops and forage varies between 500-1,000 L/kg of product, and it is 50-100 times more to produce 1 kg of meat or 1L of milk (Pimentel *et al.* 1997).

Regarding indicators dealing with biodiversity, there was no evidence of risk of habitat intervention, despite the fact that it is accepted that agriculture simplifies the structure of the environment in large areas and replaces natural diversity with few cultivated plants and domestic animals (Fowler and Mooney 1990).

Impact on habitat due to labor was high and annual crops increase this impact. Only natural grassland and afforestation did not reveal negative effects.

de contaminación por N y P. No hubo N y P residual en suelo y los valores de los indicadores fueron positivos en ambos casos.

El riesgo de contaminación por plaguicidas no llegó al umbral máximo, aunque fue crítico. El efecto de los herbicidas y pesticidas depende de su toxicidad, persistencia y movilidad de las sustancias activas, solubilidad y tasa de degradación (Stoate *et al.* 2001). Si bien no se usaron compuestos órgano-clorados por su toxicidad y persistencia, y muchos plaguicidas modernos se degradan fácilmente al sol, hay riesgo de que persistan algún tiempo en el subsuelo o en aguas subterráneas (Viglizzo *et al.* 2011). Las 50 ha de pastizal nativo que no recibieron agroquímicos pueden haber determinado que el indicador no haya sido más negativo.

No hubo riesgo de erosión hídrica y eólica. En el área pampeana este riesgo aumenta con la proporción de tierra cultivada, y se han evidenciado los efectos positivos de la siembra directa (Álvarez *et al.* 1998 e INTA 2011), modalidad de cultivo predominante en el caso analizado.

El balance de gases de efecto invernadero tuvo impacto negativo. Desde 1750 aumentaron notablemente las concentraciones atmosféricas mundiales de CO₂ (quema de combustibles fósiles, deforestación), CH₄ y N₂O (asociados a la actividad agropecuaria) (IPCC 2014). En el área de estudio, las fuentes de emisión fueron los fertilizantes y el ganado bovino, que por fermentación entérica libera CH₄, un gas con potencia invernadero 21 veces superior al CO₂. El N de las heces, los fertilizantes sintéticos, el resultante de la fijación biológica en las leguminosas y de los residuos de cosecha son fuente indirecta de emisión de N₂O, con potencia invernadero 310 veces mayor al CO₂.

En los indicadores relativos al agua, la utilización de la tierra es uno de los factores determinantes del consumo y de la eficiencia de uso de este recurso (Victoria *et al.* 2005). El consumo tuvo impacto negativo y superó el umbral del modelo.

La eficiencia en el uso del agua, con precipitación de 900 mm año⁻¹, generó un impacto positivo. El indicador superó la máxima eficiencia que postula el modelo (83 %).

Con respecto a la relación lluvia-energía producida, si bien el agua cicla a gran escala espacial y temporal, el modelo considera al agroecosistema como una entidad ecológica, donde el agua circula para sostener la producción. Este indicador fue positivo. Se utilizaron 126.82 L de agua para generar 1MJ⁻¹ del producto. El agua necesaria para la mayoría de los cultivos de cosecha y forraje varía entre 500-1.000 L/kg de producto, y es 50-100 veces más para producir 1 kg de carne o 1 L de leche (Pimentel *et al.* 1997).

En cuanto a los indicadores que tienen que ver con la biodiversidad, no se evidenció riesgo de intervención del hábitat, a pesar de que se acepta que la agricultura simplifica la estructura del ambiente en grandes extensiones y reemplaza la diversidad natural por pocas plantas cultivadas y animales domésticos (Fowler y Mooney 1990).

El nivel de impacto en el hábitat por laboreo fue elevado y los cultivos anuales aumentan este impacto. Solo el pastizal natural y la forestación no dejaron ver efectos negativos.

Agrodiversity was positive due to the variety of cultivated species. Low diversity of agricultural species and ecological processes, associated with heterogeneous landscapes, was considered as negative. Agricultural intensification is related to biodiversity loss (Altieri 1999, Donald *et al.* 2001 and Aviron *et al.* 2018), to the point of considering agricultural land distribution as an indicator that threatens wildlife, more accurate than the distribution of human population (Schalermann *et al.* 2005). Landscape homogenization leads to losses of wild species of unique traits, and of those that can live or subsist on agricultural or mixed areas (Tscharntke *et al.* 2005 and Coetzee and Chown 2016). Mixed and rotational production plantations, which provide heterogeneous and variable habitats in space and time, constitute beneficial practices for biodiversity, as well as the reduction of pesticides and inorganic fertilizers to strictly necessary levels, and the strategic management of marginal sites, not cultivated as biodiversity reservoirs (Hole *et al.* 2005).

Estimating wildlife richness favored the perspective of AgroEcoindex®, which only focuses on the richness of crops when there are methods that evaluate agro-environmental dimension, by equally valuing diversity in agricultural practices and spatial arrangement (Vilain 2008).

In samplings, 81 herb species were collected from 15 botanical families, which grow spontaneously (table 4), and 53% were native. *Poaceae* and *Asteraceae* were species-rich families (27 and 21). Several *Chenopodiaceae* (13) grew in alkaline, brackish environments and modified soils. As a consequence of flooding and salinity, families were reduced to half. *Brassicaceae* (6) and many exotic weeds increased in the internal roads. *Apiaceae* (10), *Solanaceae* (8), forage *Fabaceae* collected from cultivation (4), *Cyperaceae*, *Lamiaceae*, *Plantaginaceae*, *Malvaceae*, *Polygonaceae* and *Portulacaceae* were collected.

La agrodiversidad resultó positiva por la variedad de especies cultivadas. La baja diversidad de especies agrícolas y de procesos ecológicos, asociados a paisajes heterogéneos, se considera negativa. La intensificación agrícola se relaciona con la pérdida de biodiversidad (Altieri 1999 y Donald *et al.* 2001 y Avironet *et al.* 2018), al punto de considerar la distribución de las tierras agrícolas como un indicador que amenaza la vida silvestre, más preciso que la distribución de la población humana (Schalermann *et al.* 2005). La homogeneización del paisaje lleva a la pérdida de especies silvestres con rasgos únicos, y de aquellas que pueden vivir o subsistir en mosaicos agrícolas o mixtos (Tscharntke *et al.* 2005 y Coetzee y Chown 2016). Constituyen prácticas benéficas para la biodiversidad las plantaciones de producción mixta y rotativa, que proveen hábitats heterogéneos y variables en espacio y tiempo, la reducción de pesticidas y fertilizantes inorgánicos a niveles estrictamente necesarios y el manejo estratégico de sitios marginales, no cultivados como reservorios de biodiversidad (Hole *et al.* 2005).

Estimar la riqueza de la vida silvestre enriqueció la perspectiva del AgroEcoindex®, que solo se centra en la riqueza de cultivos cuando hay métodos que evalúan la dimensión agro-ambiental, al valorar por igual diversidad prácticas agrícolas y arreglo espacial (Vilain 2008).

En los muestreos se recolectaron 81 especies de hierbas, de 15 familias botánicas, que crecen espontáneamente (tabla 4), el 53% nativas. Las poáceas y asteráceas fueron familias ricas en especies (27 y 21). Varias quenopodiáceas (13) crecieron en ambientes alcalinos, salobres y suelos modificados. Como consecuencia del anegamiento y salinidad, las familias se redujeron a la mitad. En los caminos internos aumentaron las brasicáceas (6) y muchas malezas de cultivo exóticas. Se colectaron apiáceas (10), solanáceas (8), fabáceas forrajeras escapadas de cultivo (4), ciperáceas, lamiáceas, plantagináceas, malváceas, oxalidáceas, poligonáceas y portulacáceas.

Table 4. Presence (x) of spontaneous plant species in eight sites of the establishment with lower intervention

Species	Origin	Sites							
		1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Panicum</i> sp.				x					
<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	E	x							
<i>Eucaliptus</i> spp.	E	x							
<i>Elymus scabrifolius</i> (Döll) J.H. Hunz.	N	x							
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. var. <i>longiglumis</i> Caro & E.A. Sánchez	N	x							
Undertified 1			x						
<i>Hordeum jubatum</i> L.	E		x						
<i>Chenopodium album</i> L.	E		x						
<i>Malvella leprosa</i> (Ortega) Krapov.	N		x						x
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. var. <i>pilosus</i> Caro & E.A. Sánchez	N		x						
<i>Solanum glaucophyllum</i> Desf.	N		x						
<i>Sarcocornia ambigua</i> (Michx.) M.A. Alonso & M.B. Crespo	N		x		x				
<i>Apium sellowianum</i> H.Wolf	N		x		x				
<i>Agrostis platensis</i> Parodi	N		x		x				
<i>Baccharis glutinosa</i> Pers.	N				x				

Cont. table 4

Species	Origin	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Coryza sumatrensis</i> (Retz.) E. Walker var. <i>leiotheca</i> (S.F. Blake) Pruski & G. Sancho	N				x				
<i>Distichlis scoparia</i> (Kunt) Arechavaleta	N				x				
<i>Pseudognaphalium leucocephalum</i> (Cabrera) Anderb.	N				x				
<i>Distichlis laxiflora</i> Hack	N				x				
Undentified 2					x				
<i>Hydrocotyle modesta</i> Cham. & Schlttdl.	N				x				
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	E				x				
Undentified 3	E				x				
<i>Atriplex prostrata</i> Boucher ex DC.	E				x				
<i>Oxybasis macrosperma</i> (Hook. f.) S. Fuentes, Uotila & Borsch	N	x			x				
<i>Raphanus sativus</i> L.	E					x			x
<i>Solanum chenopodioides</i> Lam.	N					x			x
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers var. <i>dactylon</i>	E					x		x	
<i>Plantago lanceolata</i> L.	E					x		x	
<i>Portulaca aff oleraceae</i> L.	E					x		x	
<i>Hydrocotyle leucocephala</i> Cham. & Schlttdl.	N					x		x	
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	E					x			
<i>Stellaria media</i> (L.) Cirillo var. <i>media</i>	E					x			
<i>Dactylis glomerata</i> L.	E					x			
<i>Diploaxis tenuifolia</i> (L.) DC var. <i>tenuifolia</i>	E					x			
<i>Solanum sisymbriifolium</i> Lam.	E					x			
<i>Trifolium pratense</i> L.	E					x			
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	E					x			
<i>Eleusine tristachia</i> (Lam.) Lam.	N					x			
<i>Oxalis conorrhiza</i> Jacq.	N					x			
<i>aff. Lactuca</i>						x			
Undentified 4						x			
Undentified 5						x			
Undentified 6						x			
<i>Polygonum laphatifolium</i> L.	E					x			
<i>Physalis viscosa</i> L.	N					x			
<i>Hypochoeris pampasica</i> Cabr.	N						x		
<i>Hypochoeris petiolaris</i> (Hook. & Arn.) Griseb.	N						x		
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	N						x		
<i>Datura ferox</i> L.	N						x		
<i>Trifolium repens</i> L.	E						x		
<i>Carduus pycnocephalum</i> L.	E						x		
<i>Atriplex patula</i> L.	E						x		
<i>aff Torilis nodosa</i> (L.) Gaertn.	E						x		
<i>Lotus tenuis</i> Waldst. & Kit. ex Willd.	E						x		
<i>Centaurea melitensis</i> L.	E						x		
<i>Bupleurum tenuissimum</i> L.	E						x		
<i>Dysphania chilensis</i> (Schrud.) Mosyakin & Clemants	N						x	x	
<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R. Br. var. <i>indicus</i>	N							x	
<i>aff. Amelichloa caudata</i> (Trin.) Arriaga & Barkworth	N							x	
<i>Urochloa platyphylla</i> (Munro ex C. Wright) R.D. Webster	N			x				x	
<i>Eragrostis japonica</i> (Thunb.) Trin.	E							x	
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	E							x	
<i>aff Parapholis incurva</i> (L.) C. E. Hubb.	E							x	
<i>Dysphania multifida</i> L.	E							x	
<i>Marrubium vulgare</i> L.	E								x
<i>Chenopodium dessicatum</i> A. Nelson var. <i>leptophylloides</i> (Murr) Wahl	E								x
<i>Xanthium spinosum</i> var. <i>spinosum</i> L.	E								x
Richness	81	6	11	5	20	31	21	13	7

Mill (1) lagoons (2-4) internal roads and canyons (5-8)

N=native

E=exotic

Among the fauna (75), birds (52) were predominant, mammals (17) in smaller number and reptiles (8). Lagoons and flood areas raised biodiversity of the establishment and housed 47% of birds. Several are raised there, as well as a large rodent (*Hydrochoeris hydrochaeris*). Passerines were numerous and the presence of *Falconidae* (10%) would be an indicator of the quality of the agroecosystem. Given their terminal position, they indicate a complex trophic network (Zacagnini 2011). Predators and scavengers perform regulatory services, by controlling pests, rodents and removing dead bodies.

Conclusions

Energy indicators showed critical fossil energy demand, since consumption was 13 times superior to the negative threshold of the model. Production reached the optimal threshold, but was inefficient. It required five units of energy per unit of generated product. Other negative tendencies were the reduction of soil C reserve, greenhouse gas balance, which surpassed the negative threshold, as well as the impact on habitat and water intake. The risk of pesticide contamination was critical. Indicators of favorable trends were N and P balance (with an annual increase that was 20 times superior to the model threshold, without causing contamination), efficient use of water, rain/produced energy relation, risk of erosion and habitat intervention and agro-diversity. A richness of 81 plants and 75 wild animals was registered.

The diagnosis allowed to evaluate aspects that distance the establishment of sustainability and point out the issues to improve. From an environmental perspective, it should be considered a reduction of fossil energy consumption and of the emission of greenhouse gases and water (less loss due to runoff and infiltration) and increase of COS, avoiding stubble grazing. Reducing pesticides and promoting ecosystem service of insectivorous birds would increase energy efficiency. Actions that release CO₂ (fossil fuels, reduced C reserve in the soil), NH₄ (livestock) and NO₂ (fertilizers) should be reviewed. Water intake per hectare was high, but its use was efficient due to the high energy of products.

In addition, it would be appropriate to adapt the model according to two issues: analysis of purely livestock activities and evaluation of wildlife of the establishment.

Entre la fauna (75) predominaron las aves (52), en menor número los mamíferos (17) y los reptiles (8). Las lagunas y zonas inundables elevaron la biodiversidad del establecimiento y albergaron 47 % de las aves. Varias crían allí, al igual que un roedor de gran porte (*Hydrochoeris hydrochaeris*). Los paseriformes fueron numerosos y la presencia de falcónidos (10 %) sería indicador de calidad del agroecosistema. Dada su posición terminal indican una red trófica compleja (Zacagnini 2011). Los depredadores y carroñeros cumplen servicios de regulación, al controlar plagas, roedores y eliminar cadáveres.

Conclusiones

Los indicadores energéticos evidenciaron demanda de energía fósil crítica, ya que el consumo superó 13 veces el umbral negativo del modelo. La producción alcanzó el umbral óptimo, pero fue ineficiente. Requirió cinco unidades de energía por unidad de producto generado. Otras tendencias negativas fueron la reducción de la reserva de C en suelo, el balance de gases invernadero, que superó el umbral negativo, al igual que el impacto en el hábitat y el consumo de agua. El riesgo de contaminación por plaguicidas fue crítico. Los indicadores de tendencias favorables fueron el balance de N y de P (con incremento anual que superó 20 veces el umbral del modelo, sin ocasionar contaminación), la eficiencia de uso del agua, la relación lluvia/energía producida, el riesgo de erosión y la intervención del hábitat y la agrodiversidad. Se inventarió una riqueza de 81 plantas y 75 animales silvestres.

El diagnóstico permitió evaluar los aspectos que alejan al establecimiento de la sustentabilidad y señalar las cuestiones a mejorar. Desde una perspectiva ambiental, se debe considerar reducir el consumo de energía fósil y la emisión de gases invernadero y de agua (menor pérdida por escurrimiento e infiltración) y aumentar el COS, evitando el pastoreo de rastrojos. Reducir los plaguicidas y fomentar el servicio ecosistémico de aves insectívoras aumentaría la eficiencia energética. Se deben revisar las acciones que liberan CO₂ (combustibles fósiles, reducción de reserva de C en el suelo), NH₄ (ganado) y NO₂ (fertilizantes). El consumo de agua por hectárea fue elevado, pero su utilización resultó eficiente debido a la alta energía de los productos.

Además, sería conveniente adaptar el modelo en lo que respecta a dos cuestiones: análisis de actividades puramente ganaderas y evaluación de la vida silvestre del establecimiento.

References

- Altieri, M. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. In: Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes. Paoletti, M.G. (ed.). Ed. Elsevier Science, Padova, Italy, p. 460, ISBN: 978-0-444-50019-9, DOI: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-00699-0>.
- Álvarez, R., Russo, M., Prystupa, P., Scheiner, J. and Blotta, L. 1998. "Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa". *Agronomy Journal*, 90(2): 138-143, ISSN: 1435-0645, DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1998.00021962009000020003x>.
- Andrade, F.H. 2016. Los desafíos de la agricultura. 1st Ed. Ed. International Plant Nutrition Institute, Acassuso, Argentina, p. 136, ISBN: 978-987-46277-0-4.
- Aviron, S., Lalechère, E., Dufлот, R., Parisey, N. and Poggi, S. 2018. "Connectivity of cropped vs. semi-natural habitats mediates

- biodiversity: a case study of carabid beetles communities". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 268: 34-43, ISSN: 01678809, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.025>.
- Berhongaraya, G. and Álvarez, R. 2013. "The IPCC Tool for predicting soil organic carbon changes evaluated for the Pampas, Argentina". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 181: 241-245, ISSN: 0167-8809, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.002>.
- Cabrera, A.L. 1963-1970. Flora de la provincia de Buenos Aires. Colección Científica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), p. 624.
- Coetzee, B.W.T. and Chown, S.L. 2016. "Land-use change promotes avian diversity at the expense of species with unique traits". *Ecology and Evolution*, 6(21): 7610-7622, ISSN: 2045-7758, DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.2389>.
- Donald, P.F., Green, R.E. and Heath, M. 2001. "Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations". *Proceedings of the Royal Society B*, 268(1462): 25-29, ISSN: 1471-2954, DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2000>.
- Fowler, C. and Mooney, P. 1990. *Shattering: food, politics and the loss of genetic diversity*. Ed. University of Arizona Press, Arizona, USA, p. 178, ISBN: 978-0816511815.
- Frank, F. 2007. Impacto agroecológico del uso de la tierra a diferentes escalas en la región pampeana de Argentina. MSc. Thesis. Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina, p. 176, Available: <<https://es.scribd.com/document/66971704/Tesis-MSc-Frank-2007>>, [Consulted: November 5, 2017].
- Frank, F. 2010. La ecuación agua-energía en la expansión de la frontera agropecuaria. In: *Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico-ambiental*. Viglizzo, E.F. & Jobbágy, E. (eds.). Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires, Argentina, p. 17-22, ISBN: 978-987-1623-83-9.
- Giambelluca, L.A. 2015. *Serpientes bonaerenses*. 1st Ed. Ed. Universidad Nacional de La Plata (Edulp). Buenos Aires, Argentina, p. 70, ISBN: 978-987-1985-67-8.
- Gil, S., Herrero, M., Flores, M., Pachoud, M. and Hellmers, M. 2009. "Agricultural intensification evaluated by environmental sustainability indicators". *Archivos de Zootecnia*, 58(223): 413-423, ISSN: 0004-0592.
- Girardin, Ph., Bockstaller, Ch. and Van der Werf, H. 1999. "Indicators: Tools to evaluate the environmental impacts of farming systems". *Journal of Sustainable Agriculture*, 13(4): 5-21, ISSN: 2168-3573, DOI: https://doi.org/10.1300/J064v13n04_03.
- Gutiérrez, J.G., Aguilera, L.I. and González, C.E. 2008. "Evaluation of sustainability by means of indicators of an agroecological site in the subtropics of the Central High Plateau of Mexico. Characterization, diagnosis, and initial assessment. Stage I". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 42(1): 27-36, ISSN: 2079-3480.
- Hole, D., Perkins, A., Wilson, J., Alexander, I., Grice, P. and Evans, A. 2005. "Does organic farming benefit biodiversity?". *Biological Conservation*, 122(1): 113-130, ISSN: 0006-3207, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.07.018>.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2011. *Siembra directa. Actualización Técnica N° 58*. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Manfredi, Córdoba, Argentina, p. 28.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R. & White, L.L. (eds.). Ed. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, p. 1-32, Available: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/> [Consulted: September 9th, 2015].
- IUSS (International Union of Soil Sciences) Working Group WRB. 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. *Informes sobre recursos mundiales de suelos 106*. FAO, Roma, Italia, p. 296, ISBN: 978-92-5-308369-5.
- Jarecki, M. and Lal, R. 2003. "Crop management for soil C sequestration". *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(6): 471-502, ISSN: 1549-7836, DOI: <https://doi.org/10.1080/713608318>.
- Kristensen, M., Basualdo, M. and Retondo, L. 2011. Characteristic of honey under different productive agrarian modalities (Tandil, Buenos Aires, Argentina). In: *Actas 42do Apimondia (Congreso Internacional de Apicultura)*. CABA. Buenos Aires, Argentina.
- Lattera, P., Orúe, M.E. and Booman G.C. 2012. "Spatial complexity and ecosystem services in rural landscapes". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 154: 56-67, ISSN: 0167-8809, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.013>.
- Manuel-Navarrete, D., Gallopín, G., Blanco, M., Díaz-Zorita, M., Ferraro, D., Herzer, H., Lattera, P., Murmis, M., Podestá, G., Rabinovich, J., Satorre, E., Torres, F. and Viglizzo, E. 2009. "Multi-causal and integrated assessment of sustainability: the case of agriculturization in the Argentine Pampas". *Environment, Development and Sustainability*, 11(3): 621-638, ISSN: 1573-2975, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-007-9133-0>.
- Narosky, T. and Yzurieta, D. 2010. *Guía para la identificación de las aves de Argentina y Uruguay*. Ed. Vazquez Mazzini, p. 432, ISBN: 978-987-9132-27-2.
- Pérez, O.A. and Alcaráz, C.A. 2015. MESMIS. Marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad. In: *La intervención social y ambiental desde el campo del trabajo social. Aproximaciones desde Paradigmas Emergentes*. 1st Ed. Ed. Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso, p. 104, ISBN: 978-84-16399-10-9.
- Pimentel, D., Houser, J., Preiss, E., White, O., Fang, H., Mesnick, L., Barsky, T., Tariche, S., Schreck, J. and Alpert, S. 1997. "Water resources: agriculture, the environment and society". *BioScience*, 47(2): 97-106, ISSN: 1525-3244, DOI: <https://doi.org/10.2307/1313020>.
- SAGyP-INTA (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 1990. *Atlas de*

- Suelos de la República Argentina. Proyecto PNUD ARG-85/019. Buenos Aires, Argentina Available: <<http://visor.geointa.inta.gob.ar/?p=889>> [Consulted: July 23, 2017].
- Sarandón, S.J. and Flores, C.C. (eds.) 2014. *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables*. 1st Ed. Ed. Universidad Nacional de La Plata (Edulp), Buenos Aires, Argentina, p. 466, ISBN: 978-950-34-1107-0.
- Schalermann, J., Balmford, W. and Green, R. 2005. "The level of threat to restricted-range birdspecies can be predicted from mapped data on land use and human population". *Biological Conservation*, 123(3): 317-326, ISSN: 0006-3207, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.11.019>.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. 12th Ed. Ed. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington DC, USA.
- Stoate, C., Boatman, N.D., Borralho, R.J., Rio-Carvalho, C., de Snoo, G.R. and Eden, P. 2001. "Ecological impacts of arable intensification in Europe". *Journal of Environmental Management*, 63(4): 337-365, ISSN: 0301-4797, DOI: <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0473>.
- Trabelsi, M., Mandart, E., Le Grusse, P. and Bord, J.P. 2016. "How to measure the agroecological performance of farming in order to assist with the transition process". *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 139-156, ISSN: 1614-7499, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5680-3>.
- Tscharntke, T., Klein, A.M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I. and Thies, C. 2005. "Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management". *Ecology Letters*, 8(8): 857-874, ISSN: 1461-023X, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>.
- Victoria, F., Viegas-Filho, J., Pereira, L., Texeira, J. and Lanna, A. 2005. "Multiscale modeling for water resources planning and management in rural basins". *Agricultural Water Management*, 77(1-3): 4-20, ISSN: 0378-3774, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.037>.
- Viglizzo, E., Frank, F., Bernardos, J., Buschiazzi, D. and Cabo, S. 2006. "A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the Pampas of Argentina". *Environmental Monitoring and Assessment*, 117(1-3): 109-134, ISSN: 0167-6369, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-006-7981-y>.
- Viglizzo, E.F., Frank, F.C., Carren, L.V., Jobbágy, E.G., Pereyra, H.N., Clatt, J., Pincen, D. and Ricard, M.F. 2011. "Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina". *Global Change Biology*, 17(2): 959-973, ISSN: 1354-1013, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02293.x>.
- Viglizzo, E. and Jobbágy, E. 2010. *Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico ambiental*. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires, Argentina, p. 102, ISBN: 978-987-1623-83-9.
- Viglizzo, E.F., Paruelo, J.M., Laterra, P. and Jobbágy, E.G. 2012. "Ecosystem service evaluation to support land-use policy". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 154: 78-84, ISSN: 0167-8809, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.07.007>.
- Vilain, L. 2008. *La méthode IDEA: Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles*. Ed. Educagri. Dijon, France, p. 185, ISBN: 979-10-2750-039-0.
- Zaccagnini, M., Thompson, J., Bernardos, J., Calamari, N., Gojman, A. and Canavelli, S. 2011. Riqueza, ocupación y roles funcionales potenciales de las aves en relación a los usos de la tierra y productividad de agroecosistemas: un ejemplo en la ecoregión pampeana. In: *Valoración de servicios ecosistémicos: Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Laterra, P., Jobbágy, E. & Paruelo, J. (eds.) Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Castelar, Argentina, p.35, ISBN: 978-987-679018-5.

Received: November 11, 2019

Accepted: December 8, 2019