

La diversidad productiva y su influencia en los aportes orgánicos y la eficiencia energética, en sistemas extensivos del centro de Córdoba, Argentina

Productive diversity and its influence on the organic contributions and energy efficiency, in extensive systems of the Centre of Cordoba, Argentina

Héctor Luis Leguia ^{1*}, Liliana Pietrarrelli ¹, Alejandro Re ², Luciana Fontanini ¹, Hugo Vaccarello ¹

Originales: *Recepción: 28/06/2018 - Aceptación: 18/06/2019*

RESUMEN

Los procesos de agriculturización-sojización y la retracción e intensificación ganadera en la provincia de Córdoba, redujeron la diversidad productiva de los sistemas agropecuarios, conduciendo a sistemas simples, frágiles, poco resilientes y muy subsidiados. La adopción del modelo de simplificación no es homogénea ya que algunos productores familiares introducen estrategias como una mayor diversidad de rubros, inclusión de la producción animal y manejos tecnológicos alternativos que afectan la circulación de materia orgánica y el flujo energético. Para analizar esta situación, se estudiaron 7 establecimientos de diferente diversidad productiva y trófica. Se registraron datos de uso del suelo y manejo tecnológico en un promedio de 3 campañas y se calcularon índices de diversidad espacial y temporal, aportes de materia orgánica y eficiencia energética. Los resultados indican que las diversificación productiva y la integración agrícola-ganadera pastoril tienen efectos favorables, especialmente en sistemas mixtos de cría, que optimizan la circulación de materia y flujos de energía. Los sistemas agrícolas presentan menor diversidad productiva, mayor eficiencia energética pero con un menor aporte de materia orgánica. En situaciones de intensificación ganadera se produce una disminución de la eficiencia energética y de los aportes orgánicos, afectando negativamente la sustentabilidad de los sistemas productivos.

Palabras clave

agrodiversidad • aportes orgánicos • eficiencia energética • intensificación ganadera

-
- 1 Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ing Agr. Felix Aldo Marrone 746. Ciudad Universitaria. 5000. Córdoba. * heleguia@agro.unc.edu.ar
 - 2 Instituto Sagrado Corazón. Oliva. Córdoba. Don Bosco 70. C. P. 5980 Oliva. Córdoba.

ABSTRACT

The processes of agriculturization-sojization and the retraction and intensification of livestock in the province of Córdoba, reduced the productive diversity of the farming systems, leading to simple, fragile, little resilient and highly subsidized systems. The adoption of the simplification model is not homogeneous and some family farmers introduce strategies such as a greater crops and pasture diversity, inclusion of animal production and alternative technological management that affect the circulation of organic matter and energy flow. To analyze this situation, 7 establishments of different productive and trophic diversity were studied. Land use and technological management data were recorded in an average of 3 campaigns and spatial and temporal diversity indexes, contributions of organic matter and energy efficiency were calculated. The results indicate that productive diversification and agricultural-pastoralist integration have favorable effects, especially in mixed breeding systems, that optimize the circulation of matter and energy flows. Agricultural systems have less productive diversity, greater energy efficiency but with a lower contribution of organic matter. In situations of livestock intensification there is a decrease in energy efficiency and organic contributions, negatively affecting the sustainability of production systems.

Keywords

agrodiversity • organic matter contributions • energy efficiency • livestock intensification

INTRODUCCIÓN

Desde la década de los 90 se acentúa en Córdoba un fuerte proceso de agriculturización y sojización de la actividad agropecuaria, que incorpora a la actividad agrícola amplias superficies anteriormente ganaderas. La ganadería original se abandonó, relocalizó, o bien se concentró territorialmente adoptando una mayor intensificación (9, 18, 34). Estos procesos convergen en la disminución de la diversidad productiva de los sistemas, resintiéndolos algunos mecanismos homeostáticos emergentes de la diversidad biológica (36) como la regulación biótica, conservación de la fertilidad, minimización de pérdidas de agua y suelo y otros atributos sistémicos, dando lugar a sistemas simplificados, de mayor fragilidad frente a contingencias climáticas y biológicas y más exigentes en condiciones

de fertilidad edáfica (25). Esto condujo a una incorporación creciente de insumos industriales y biotecnológicos, destinados a subsidiar a los procesos ecológicos mencionados aumentando los costos energéticos para mantener la funcionalidad y productividad de los sistemas (32). Esto significa un creciente costo energético de las intervenciones que no se compensa con el incremento de la productividad (3).

En la región central de Córdoba, los procesos de agriculturización, sojización y reconversión ganadera se asocian a los mismos procesos de degradación de suelo (erosión, agotamiento, deterioro de la estructura, contaminación y otros) señalados por Pengue (2009) para la región pampeana. Pero con el agravante de que la menor oferta de agua de la región

semiárida, reduce la productividad y los aportes de rastrojos, además de poseer condiciones meteorológicas más erosivas y los suelos de menor calidad y desarrollo. Si bien la sojización y la reducción e intensificación ganadera son tendencias generalizadas, es posible detectar, en algunos productores familiares, estrategias de "hibridación tecnológica" (27) ya que adoptan el modelo de simplificación e intensificación en forma parcial e introducen modificaciones de distinta índole (8). Estas estrategias se enfocan en objetivos más integrales y no solo en el logro de una mayor rentabilidad y están orientadas a una mayor diversificación productiva, integración agrícola-ganadera y manejos tecnológicos alternativos a la agricultura de altos insumos y monocultivo (24, 37). Los cambios introducidos afectan componentes estructurales del sistema y con ello, distintos procesos ligados a los ciclos de materiales, flujos de energía y regulaciones poblacionales, por lo tanto, modifican el metabolismo general del sistema y su capacidad productiva (17).

El ciclo de la materia orgánica está íntimamente ligado a la conservación y el mantenimiento de la productividad y la funcionalidad de los suelos. En los agroecosistemas simplificados el ciclo de la materia orgánica y de nutrientes involucra menos componentes bióticos, depósitos temporarios y circuitos de circulación (37) y considerables cantidades de elementos se pierden por exportación con la cosecha y como resultado de procesos de lixiviación y de erosión (20). Los sistemas con mayor complejidad, que incorporan el componente ganadero, tienen mayor diversidad productiva, mayores depósitos (vegetales, animales, reservas, suelo) y diferentes vías de circulación de materiales orgánicos e inorgánicos que reducen las pérdidas abióticas. Además, disminuyen la exportación de nutrientes, aseguran el

aporte de materia orgánica desde distintos niveles tróficos, tienen mayor actividad biológica y mantienen altas tasas de reciclado de residuos vegetales y animales que favorece la fertilidad global (30).

El flujo de energía en un sistema productivo, medido a través de las entradas antrópicas y salidas productivas, permite cuantificar los subsidios de energía que se incorporan para alcanzar un determinado objetivo productivo. Los subsidios son intervenciones humanas dirigidas al medio físico y biológico para potenciar y direccionar la conversión de energía solar en productos. Los sistemas característicos del modelo dominante tienen un alto consumo energético por la incorporación de bienes, servicios e insumos externos, tanto en forma directa, por el uso de combustibles y derivados del petróleo, como en forma indirecta, por la energía implícita en la producción de agroquímicos, fertilizantes, maquinaria y semillas (15, 31). Esto significa un importante costo energético que afecta negativamente la eficiencia energética, expresada como la relación entre el producto obtenido y los subsidios entregados (salidas/entradas).

En este estudio se abordaron sistemas productivos familiares de la región central de Córdoba con diferentes estrategias de diversificación productiva -espacial y temporal- e integración agrícola-ganadera y se evaluó su efecto en la eficiencia energética y en el ciclado de la materia orgánica asociado a la conservación de la funcionalidad de los suelos.

Metodología

Los sistemas productivos seleccionados se localizan en la región central semiárida de Córdoba y representan diferentes grados de diversidad

productiva y complejidad trófica. Por su escala y características socioeconómicas corresponden a sistemas de agricultura familiar o según la tipología propuesta por Basco (1993), al tipo social agrario familiar capitalizado.

El estudio de estos sistemas se realizó aplicando la metodología de estudio de caso (39), y se incluyeron 3 sistemas agrícolas (SA1, SA2, SA3) y 4 sistemas mixtos: 2 con ganadería bovina de cría (SMC1, SMC2), 1 mixto de engorde (SME) y 1 mixto con tambo (SMT), de superficies entre 197 y 425 hectáreas. La información predial se recabó a través de entrevistas semiestructuradas y en profundidad (38), completando registros del uso de la tierra, del manejo tecnológico y de resultados productivos de cada rubro, considerando 2 a 3 campañas. Los croquis de los predios se dimensionaron con información satelital. Se efectuaron mediciones a campo con muestreos de biomasa productiva de las especies cultivadas y del aporte de biomasa de la vegetación espontánea y de restos orgánicos (kg de materia seca).

La diversidad productiva (diversidad vegetal de cultivos y pasturas presentes en el sistema) se calculó considerando la variedad y composición de rubros, la localización o distribución espacial de los mismos y las secuencias temporales (o uso de la tierra) en cada lote del sistema.

Para la primera de estas determinaciones, se utilizaron los índices clásicos de Riqueza, Equidad y Diversidad de Shannon (1, 20) calculados sobre la cantidad y/o proporción de los distintos cultivos y pasturas presentes en cada campaña. A la diversidad de Shannon se la denominó "estructural" ya que proporciona un valor numérico adimensional (de base logarítmica) que no tiene precisión espacial, ni temporal, excepto la de considerar las proporciones territoriales de cada componente. Para su cálculo, en una campaña (año agrícola) se tomó cada combinación

de uso invernal y estival como una unidad específica anual. Así, por ejemplo, un lote con combinación de trigo-soja constituye una unidad diferente a un lote con combinación barbecho-soja. Las pasturas perennes implantadas o naturales ocupan ambas estaciones. La proporción de superficies ocupadas por las diferentes unidades permiten calcular el índice.

Además, se calculó la diversidad espacial, definida por la localización o ubicación de las diferentes unidades en el espacio predial, determinando un "mosaico" de mayor o menor heterogeneidad. Se adaptó para ello, un índice propuesto por Boudry y Boudry-Burel (1982), donde cada unidad específica contribuye a la diversidad del mosaico según el número, tamaño, dispersión y perímetro de los lotes. En general, cuanto más fragmentado y distribuido esté ese mosaico, hay mayor diversidad espacial.

Un tercer aspecto de la diversidad productiva fue la diversidad temporal, que excede la campaña para aplicarse a todo el periodo analizado (2 a 3 campañas). Este índice considera las secuencias de uso (o historias de uso) en cada lote del territorio predial (31) y valora las secuencias con base en la presencia y alternancia de rubros vegetales a lo largo del tiempo. Emplea las mismas unidades de los índices anteriores, y la valoración se efectúa en función de la contribución a la diversidad biológica y al mejoramiento del medio biofísico. Los valores de cada lote se integran según su proporción territorial, para obtener el valor predial. Este índice valora la calidad de las rotaciones, ya que las repeticiones temporales (monocultivo) tienen un valor nulo comparado con las alternancias entre especies diferentes, particularmente si intervienen pasturas, por su mayor aporte a la diversidad y a las condiciones edáficas.

El ciclo de la materia de cada sistema productivo se analizó a partir de una modelización gráfica de su estructura trófica, identificando los distintos caminos o circuitos desde la producción de biomasa (componentes vegetales), su eventual almacenamiento (reservas forrajeras) y/o transformación (conversión) en la cadena trófica, hasta su salida como granos, carne o leche. Los valores anuales de componentes, depósitos, restos y salida de productos se cuantificaron en kilogramos de materia seca por hectárea y por año del sistema (kg ms/ha.año), exceptuando la biomasa animal y producción de carne que se expresó como kilogramos de peso vivo animal, por hectárea y año de sistema (kg PV/ha.año). En cuanto al circuito interno de los aportes de materia orgánica al suelo, se suman rastrojos, biomasa de malezas (controladas en barbechos), biomasa residual de pasturas, pérdidas vegetales durante el pastoreo, elaboración y consumo de reservas, además de los aportes por deyecciones animales (calculados según consumo y digestibilidad de cada alimento). Se calcularon estos aportes en función de proporciones, tasas y coeficientes obtenidos de diferentes fuentes bibliográficas (2, 4, 5, 10, 11, 12, 14, 16). La bibliografía sobre pérdidas de materia orgánica durante el pastoreo o elaboración de reservas, es bastante escasa y se debió recurrir a especialistas en la temática.

Según Morón (2001) la evaluación de aportes de materia orgánica es un indicador bastante integral por cuanto incide en la biodiversidad de los suelos y en los niveles de materia orgánica del recurso, regulando numerosas funciones edáficas. Este autor indica que la cantidad de aportes tiene, en sí mismo, mayor significación que la composición del material, frecuencia del aporte y sistema de manejo de suelo.

En el análisis energético se consideraron las entradas antrópicas de energía, el movimiento de la misma entre los distintos componentes estructurales del sistema y las salidas en forma de productos. Se cuantificaron las entradas de energía para cada rubro agrícola y cada actividad ganadera de los diferentes sistemas, de acuerdo con el método desarrollado por Pimentel *et al.* (1991), considerando el valor energético total de las distintas labores e insumos aplicados, utilizando los coeficientes energéticos correspondientes (13, 19, 29). La energía de salida se calculó empleando los equivalentes energéticos (Megajoules) de cada producto agropecuario destinado a la venta, por sistema y por año. A partir de estos resultados se calculó la eficiencia energética total del sistema productivo (energía producida/energía entregada). En relación con las entradas, se discriminó la energía involucrada en distintos procesos ecológicos, tales como la orientada a la regulación biótica (energía asociada al control de insectos, malezas y patógenos) y aquella dirigida a subsidiar la fertilidad del suelo (inoculación, fertilización, abonos). También la energía utilizada en labores (siembra, pulverizaciones, cosecha, elaboración de reservas y otros) y la ingresada en forma de semillas comerciales.

Para un análisis integral de las variables consideradas en los distintos tipos de sistemas productivos, se realizó un gráfico descriptivo multivariado (gráficos de ameba) donde se condensaron los valores de los distintos índices representativos de la diversidad, y del movimiento de la materia y energía. Esto se complementó con un análisis de componentes principales para analizar la interdependencia de variables medidas y determinar aquellas con mayor peso para explicar la variabilidad entre tipos de sistemas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uso del suelo, productividad y aportes de materia orgánica

La principal estrategia determinante de la productividad vegetal de un sistema es el uso del suelo y en segundo lugar, la cadena trófica asociada a cada superficie, que define la conversión en producto animal. Los aportes al suelo (restos vegetales y deyecciones,) dependen de ambas estrategias. En la tabla 1 se detalla para cada sistema, el uso del suelo promedio de 2 a 4 campañas, considerando la superficie útil disponible y la proporción de superficies con finalidad agrícola (granos para venta). A su vez, los rubros vegetales se agruparon en pasturas y cultivos anuales. Estos últimos pueden tener finalidad agrícola, ganadera o ambas, mediante un uso directo (pastoreo natural o mecánico) o indirecto (reservas forrajera y granos para ración). Se presenta además la productividad anual discriminada en granos, carne y leche y el

aporte de restos orgánicos, reduciendo la escala del sistema a 1 ha.

El 100% de superficie útil se distribuye entre pasturas y anuales estivales, ya que las invernales se asocian siempre a una estival determinando lotes con doble cultivo, y no hay descansos estivales. Las diferencias entre la superficie de estivales y superficies con doble cultivo (equivalente a anuales invernales) permiten calcular la superficie de anuales estivales con barbechos invernales.

En los sistemas mixtos el porcentaje de superficies con finalidad agrícola va disminuyendo y deja lugar a un gradiente creciente de ocupación de pasturas y anuales con finalidad ganadera, que se maximiza en el SME, que expresa la mayor productividad animal y menor producción de granos de todo el conjunto.

Tabla 1. Superficies (útil y agrícola); uso del suelo (pasturas y anuales estivales (E), e invernales (I)); la productividad (granos y leche en kg ms/ha.año; carne en kg peso vivo/ha.año) y aportes orgánicos (kg. ms/ha.año) se expresan reduciendo la escala del sistema a 1 ha.

Table 1. Surfaces (useful and agricultural); land use (pasture and annual summer (E), and winter (I)); productivity (grains and milk kg ms/ha.año; meat kg weight live/ha.año) and organic inputs (kg ms/ha.año) are expressed by reducing the scale of the system 1 ha.

Caso	sup. util	S. agríc.	Composición (% superficie)			Productividad anual/ha			Aportes
	ha	%	Pasturas	Anual E.	Anual I.	Granos	Carne	leche	kg ms/ha.año
SA 1	197	100	0	100	15	3091	0	0	4522
SA 2	425	100	0	100	15,5	6200	0	0	9295
SA 3	271	100	0	100	56	3390	0	0	4608
SMC 1	406	83	10,4	89,6	42	3982	12	0	7512
SMC 2	198	64	23,5	76,5	41	3715	35	0	6879
SMT	197	57	21,7	78,3	40	320	200	700	3870
SME	296	37	50	50	9	1657	748	0	10100

La productividad de granos sobre la base de la superficie agrícola del sistema (100% en SA y promedio de 73% en SMC) es menor en SA, lo que podría estar relacionado al efecto de mejores condiciones edáficas por los aportes de materia orgánica, menor incidencia de monocultivo y mejores rotaciones. El SMT tiene la menor productividad agrícola debido a que el principal cultivo destinado a grano para venta es soja, que produce $^{1/3}$ del rendimiento de un maíz (figura 1, pág. 96).

Los aportes orgánicos de los SA tienen un promedio menor que los mixtos y las diferencias entre ellos obedecen a composición de especies cultivadas, rendimientos e índices de cosecha (relación entre biomasa de granos y biomasa total). En general, el cultivo de soja en el semiárido, produce menos de la mitad de rendimiento que el cultivo de maíz y tiene un coeficiente rastrojo/grano menor, lo que disminuye tanto la producción de granos como de rastrojos. Este efecto es más acentuado, cuanto mayor sea su proporción en el sistema.

Los aportes de materia orgánica se maximizan en el SME que tiene la mayor proporción de pasturas del conjunto (50% de la superficie), superando al resto de sistemas mixtos. Este caso valoriza el rol de las pasturas que aportan restos vegetales al ser pastoreada y suman también las deyecciones a campo durante el pastoreo y eventualmente, las pérdidas en la elaboración de reservas deshidratadas.

El SMT representa el menor valor de aportes al suelo de todos los casos analizados, incluso inferior a los agrícolas puros. Ello obedece a la conjunción de varios factores. Entre ellos: una baja proporción de pasturas que solo se usan para reservas deshidratadas, anuales invernales que se usan para corte y alimentación de animales confinados y una importante proporción de maíz que se destina a ensilado, que deja

mínimos restos (equivalentes a menos de $\frac{1}{4}$ de lo que deja un maíz para grano). Esta intensificación ganadera que excluye el pastoreo biológico sustituyéndolo por pastoreo mecánico deja menores aportes y ninguna superficie recibe deyecciones, a lo que se suma la ausencia de reciclado de estiércoles.

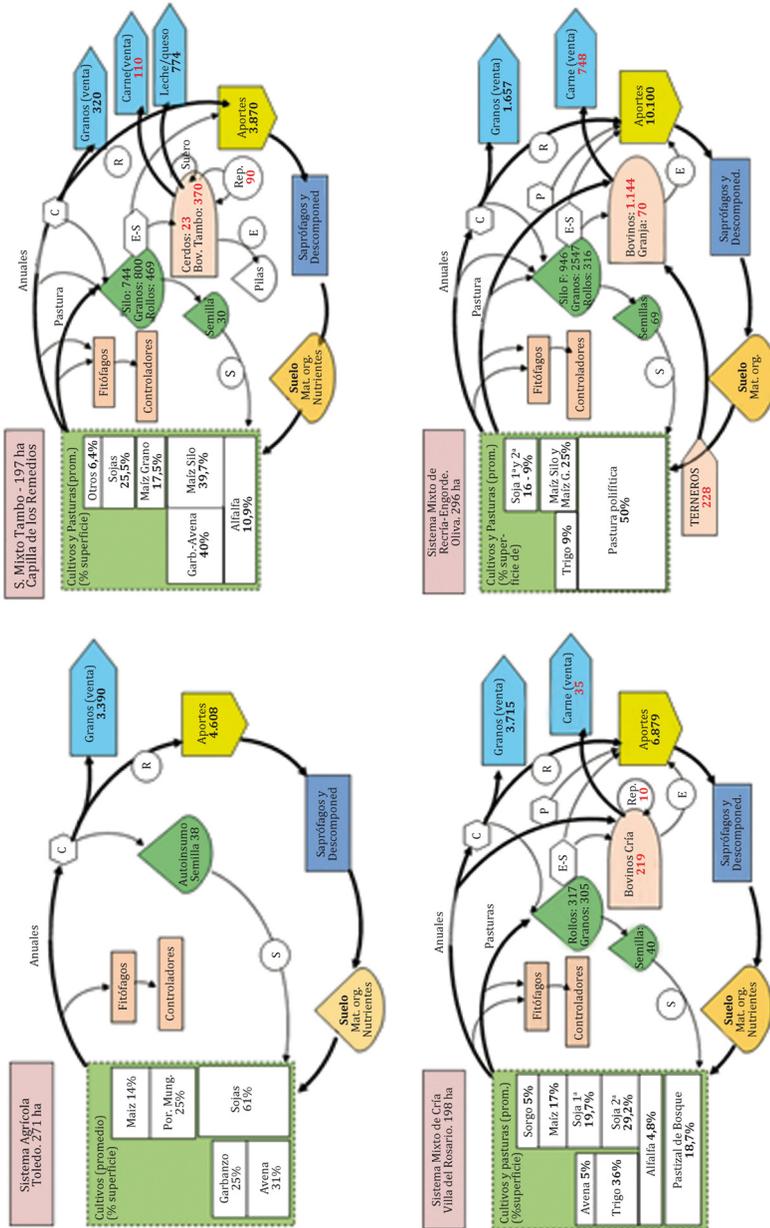
Diversidad productiva

En la tabla 2 (pág. 97), se observa que la riqueza de especies cultivadas crece con la presencia de ganadería, ya que intervienen pasturas y mayor variedad de cultivos anuales. El SMT tiene la mayor riqueza de todo el conjunto ya que incluye especies que no se presentan en otros sistemas o son muy poco frecuentes (papa, garbanzo, poroto Mung).

La dominancia de soja corresponde a la suma de unidades que la incluyen, tanto en la forma de barbecho-cultivo como en unidades de doble cultivo. Al considerarlas como unidades diferentes los valores de equitatividad en SA, no reflejan fielmente esta dominancia porque una proporción de soja se enmascara por el doble cultivo. El SMT tiene valores similares a los agrícolas, pero en este caso, hay una elevada dominancia de maíz (para silo y granos) que también se enmascara por el doble cultivo avena-maíz. En agrícolas, la dominancia es más evidente, porque hay un menor promedio de doble cultivo.

La sojización de los sistemas alcanza valores elevados. Considerando solo el periodo estival, en SA ocupa alrededor del 66% de las superficies, disminuye a un promedio de 55% en SMC y recién desciende a 25% en SME y SMT. La composición porcentual de cultivos puede verse en la figura 1 (pág. 96).

El Pastoreo (P) genera biomasa animal pero también aportes de materia orgánica en forma de restos vegetales, que caen al suelo durante el pastoreo y deyecciones (E).



Abreviaturas: S: semillas; C: cosecha; R: rastros; E: estiércoles; E-S: elaboración y suministro de reservas; Rep: reposición de animales.

Abbreviations.: S: seeds; C: harvest; R: stubble; P: grazing; E: manure; E-S: Elaboration and provision of reserves; Rep: replacement of animals.

Figura 1. Estructura trófica de 4 casos: Arriba: Agrícola (SA3) y Mixto con tambo (SMT). Debajo: Mixto de cría (SMC2) y Mixto de engorde (SME). Valores biomasa vegetal en kg ms/ha.año y animal en kg Peso Vivo/ha.año.

Figure 1. Trophic structure of 4 cases: Agrícola (SA3) and mixed with tambo (SMT). Below: Rearing (SMC2) and mixed for fattening (SME) mixed. Values biomass plant in kg ms/ha.año and animal in kg weight live/ha.año.

Tabla 2. Distintos Indicadores de la diversidad de los sistemas (valores adimensionales).**Table 2.** Different Indicators of the diversity of the systems (dimensionless values).

Caso	Riqueza (n° especies)	Equitatividad (1-desvíos)	D. Estructural (proporciones)	D. Espacial (mosaico)	D. Temporal (secuencias)
SA 1	2,6	0,67	0,82	0,39	1,60
SA 2	3	0,45	0,99	0,29	1,55
SA 3	4	0,78	1,34	2,29	1,62
SMC 1	5,5	0,32	1,36	0,65	1,96
SMC 2	5,5	0,34	1,39	4,77	2,70
SME	4	0,48	1,20	1,92	2,72
SMT	6	0,61	1,60	0,39	2,07

Un cultivo anual (verde de invierno o verano) empleado para pastoreo puede aportar más restos que el rastrojo de un cultivo agrícola, especialmente si se usa en 2 o 3 pastoreos. Si un cultivo se emplea para cosecha de granos, el aporte es el de rastrojos, pero si el grano se usa luego para alimentación animal, se deben sumar a los aportes por las deyecciones derivadas de este consumo. El ensilado, es un caso especial que deja muy poco rastrojo en el lote y en su proceso de elaboración se producen pérdidas aeróbicas y anaeróbicas, que en parte no vuelven al suelo (35). Las deyecciones originadas por su consumo no son altas por ser un alimento de alta digestibilidad.

Las reservas utilizadas para alimentación animal (silos, rollos y granos) reciben distintos flujos de biomasa vegetal (figura 1, pág. 96) y muestran importantes diferencias en composición y cantidad, maximizándose en los sistemas más intensificados (SME y SMT). La elaboración y suministro de reservas (E-S) generan diferentes aportes durante: la recolección de la biomasa; el procesamiento (emparvado, enrollado, ensilado) y el consumo por pérdidas eventuales. Luego del consumo, la fracción no asimilada retorna al suelo (o se acumula) como deyecciones sólidas y líquidas,

mientras que lo asimilado se metaboliza en biomasa animal para reposición (Rep) y venta como en SMT y SMC, o solo venta como el SME.

En los gráficos de la figura 1 (pág. 96), se observa que el SME tiene 4 vías o circuitos que proporcionan aportes al suelo y tiene las mayores reservas alimenticias (provenientes, de 3 fuentes distintas). En los SMT y SMC, las pasturas perennes se usan solo para reservas deshidratadas, careciendo de los aportes que genera el pastoreo (P).

Los consumidores productivos son principalmente bovinos y representan valores bastante disímiles de biomasa animal: en el SME 1200 kg PV/ha.año, en el SMT un tercio y el SMC, un quinto, de esa cantidad.

Los aportes de residuos siguen un circuito interno por la cadena de detritívoros, generando condiciones edáficas que regulan la productividad vegetal del ciclo siguiente. Los SA tienen aportes menores que los mixtos de cría y engorde mientras que el SMT presenta valores mínimos debido a la falta de pastoreo y de reciclado de estiércoles. El reciclado solo se implementa en el SME. En los SMC las heces quedan en los lotes pastoreados, siendo la forma más eficiente de reciclado de materia.

La consideración de los aportes es un factor clave al analizar la sostenibilidad de los distintos sistemas, no solo por el rol biológico de los componentes en la regulación de la fertilidad, que según Gliessman (2002) debe maximizarse, sino porque estos aportes determinan los niveles de materia orgánica del suelo, regulando a través de esto, un amplio espectro de condiciones físicas, químicas, hídricas y biológicas (21) de alta incidencia en la conservación y productividad.

Energía

En la tabla 3 se presentan los valores energéticos de cada sistema, considerando las entradas (servicios, labores e insumos), salidas (productos) y la eficiencia energética (Salidas/Entradas). En el caso de las entradas (subsídios de energía) se discriminó la energía destinada en semillas (adquiridas), regulación biótica (controles de malezas, insectos o patógenos), fertilidad del suelo (fertilizantes, abonos, inoculantes) y en labores (siembra, pulverizaciones, cosecha, elaboración de reservas).

Las entradas de energía tienen menor variabilidad que las salidas en todos los

sistemas en estudio a excepción del SMT por lo que se podría generalizar que el costo energético de operar un sistema mixto es similar a manejar un sistema agrícola, aunque tienen diferencias importantes en el destino de los subsidios. El costo energético en semillas disminuye en función de la presencia de especies que permiten su autoproducción, generalmente autógamias. En el caso de las labores, dado que todos los sistemas implementan siembra directa, los subsidios en siembra, pulverización y cosecha se asocian a la superficie de anuales. En el caso de los mixtos más intensificados (SME y SMT), se suman las labores destinadas a la elaboración de reservas y suministro de alimentos.

Los SA y SMC tienen un costo importante en regulación biótica (principalmente herbicidas) pero disminuyen en sistemas con mayor peso ganadero (SME y SMT), lo que podría estar asociado al efecto de las rotaciones agrícolas-ganaderas.

En cuanto a subsidios a la fertilidad del suelo, los SA tienen el mayor consumo de fertilizantes, que se asocia principalmente a las proporciones de maíz y se refleja luego en un mayor valor de salida energética por la mayor productividad.

Tabla 3. Valores energéticos de entradas y salidas, eficiencias y subsidios (Megajoules/ha.año).

Table 3. Energy values of inputs and outputs, energy efficiency and energy subsidies (Megajoules/ha.año).

Caso	Entr. Energ. MJ/ha.año	Sal. Energ. MJ/ha.año	Eficiencia Sal./Entr.	Subs. En. Semillas	Subs. En. Reg. Biot	Subs. En. Fertiliz	Subs. En. Labores
SA 1	6513,9	61588,4	9,45	1979,0	2461,9	532	1543,6
SA 2	10588,0	109678,2	10,36	2197,7	2978,3	3374,7	2058,8
SA 3	6901,6	63971,8	9,27	1502,6	2466,7	941,7	1984,2
SMC 1	7220,1	83696,7	11,59	2119,6	2518,1	726,8	1900,0
SMC 2	8649,3	82333,7	9,52	2572,6	2308,1	1456,5	2312,0
SME	10592,0	29672,1	2,80	700,4	1331,8	380,2	2622,8
SMT	67815,0	45468,7	0,67	2274,3	1984,2	765,9	2181,6

Se destaca el SME que no utiliza fertilizantes sintéticos y el mínimo valor registrado se debe exclusivamente, al reciclado de estiércoles (aprox. 1200 kg ms/ha.año).

Las salidas energéticas dependen del tipo de producto logrado, debido a que el contenido energético de los granos es superior al de carne o leche. En SA la productividad depende de los rendimientos unitarios y la superficie ocupada por cada especie.

Los sistemas con mayor proporción de soja producen menos energía que los que poseen mayores superficies destinadas al cultivo de maíz o sorgo. En la pirámide alimentaria que se establece en un sistema mixto, la productividad energética vegetal es mucho mayor que la productividad energética del estrato de herbívoros a raíz de la conversión alimentaria de la biomasa vegetal en producto animal (26). Por ello, en términos generales, hay una caída de la eficiencia energética en sistemas mixtos, proporcional a las superficies asignadas a la ganadería.

En el caso de los sistemas mixtos analizados, la eficiencia tiene una variabilidad importante. Los sistemas mixtos de cría con base pastoril no muestran diferencias con la eficiencia de un sistema agrícola ya que la incidencia de la actividad ganadera tanto en las entradas como salidas de energía es muy baja, mientras que el SMT es el menos eficiente debido a una alta intensificación ganadera, donde confluyen escasez de pasturas, ausencia del pastoreo directo, alto costo en elaboración de reservas e ingreso de insumos para alimentación animal.

El SME es semi intensivo, manteniendo una importante fase pastoril y producción propia de la mayoría de reservas y suplementos, lo que reduce el gasto energético comparado con SMT. Estos resultados son coincidentes con los hallados por

Iermano (2015) en la zona centro este de la Provincia de Buenos Aires, donde los sistemas mixtos pastoriles tienen una eficiencia energética similar a los agrícolas y los sistemas ganaderos con mayor intensificación, muestran valores menores a uno.

Análisis integral

Se elaboró un diagrama radial para los sistemas analizados (figura 2, pág. 100) donde se representan los valores de diversidad, aportes de materia orgánica y la eficiencia energética. Los valores de cada variable se expresaron en porcentaje, según el mejor valor logrado en el conjunto de sistemas. Dado que las escalas representan las mejores condiciones en los porcentajes más altos, es posible lograr un orden de mérito sumando estos porcentajes, en cada uno de los casos. En la representación empleada, este orden es: SMC2>SMC1>SME>SA3>SA2>SMT>SA3.

Los sistemas agrícolas (SA) muestran alta eficiencia energética, por su exclusiva productividad de granos. Sus índices de diversidad tienen valores moderados a bajos, debido a la dominancia espacial y temporal del cultivo de soja, lo que influye también en bajos aportes de rastrojos y menor productividad unitaria de granos.

La calidad de rotaciones (diversidad temporal) es menor que en los mixtos.

En los sistemas mixtos de cría (SMC) se observa una alta eficiencia energética por la elevada producción de granos y bajo costo energético de su ganadería (auto-reposición de animales y bajo uso de reservas). Presentan valores altos de diversidad y aportes superiores a los agrícolas, por una composición vegetal más diversa y el pastoreo directo de anuales y pasturas. La diversidad temporal indica rotaciones de mayor calidad que los agrícolas.

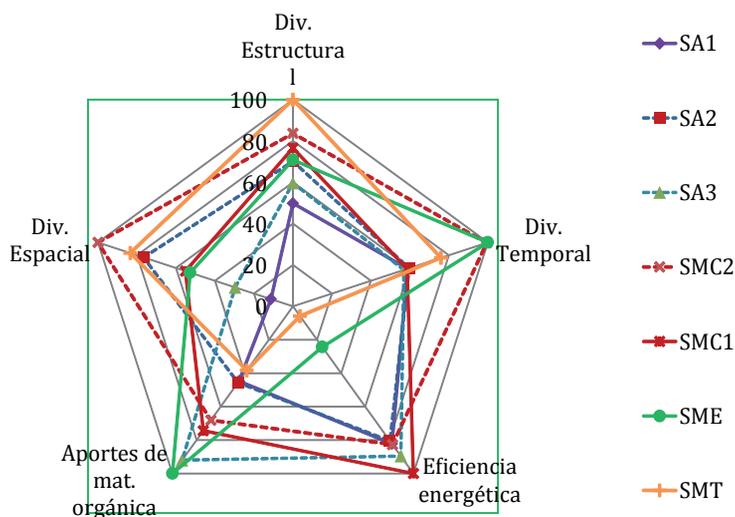


Figura 2. Diagrama radial de los 7 casos analizados donde se representan 3 dimensiones de la diversidad (Div.), eficiencia energética y aportes de materia (mat) orgánica al suelo.

Figure 2. Radial diagram 7 analyzed cases which represent 3 dimensions of diversity (div.), energy efficiency and contributions of material (mat) organic to the ground.

En el sistema mixto de engorde (SME), la diversidad estructural y espacial disminuyen debido al alto porcentaje de pastura, pero la diversidad temporal se optimiza por la rotación mixta (pastura-cultivos). Esto último permite lograr altos aportes de materia orgánica al suelo (restos vegetales y deyecciones originados por el pastoreo directo). Además de ello, se reciclan estiércoles a los lotes agrícolas lo que beneficia la conservación de suelos. La baja eficiencia energética deriva de una alta proporción de producción animal, alto costo energético en elaboración de reservas y compra de animales para engorde (terneros).

El sistema mixto de tambo (SMT) presenta alta diversidad estructural gracias a una mayor riqueza de especies y proporciones algo más equilibradas.

Aún así, la dominancia de maíz influye negativamente en la diversidad espacial. El índice temporal presenta el menor valor de todos los casos, debido a la baja proporción de pasturas que imposibilita una rotación mixta.

El manejo tecnológico aplicado en la alimentación animal donde se sustituyen pasturas por cultivos anuales para producción de reservas, excluye el pastoreo de campo y no se efectúa el reciclaje de estiércoles, produce muy bajos aportes de materia orgánica al suelo. La intensificación, en este caso, disminuye la calidad de las rotaciones, determina bajo aportes y aumenta el costo energético para la producción de alimentos, determinando una menor eficiencia energética.

Análisis de componentes principales

En los resultados del análisis de componentes principales se reafirma la tendencia observada en el análisis integral. La CP1 que explica un 47,9% de variabilidad, diferencia los casos principalmente según los índices de diversidad, % superficie ganadera, entradas de energía auxiliar y eficiencia energética, ubicando a

los SA en un cuadrante y a los SME y SMT en otro. Estos últimos presentan mayores valores en las 3 primeras variables y menor eficiencia energética. En el caso de la CP2 la variable más importante para discriminar los casos, es el aporte de materia orgánica, donde se destaca el SME, SMC2 y SA3, asociados a mayores valores.

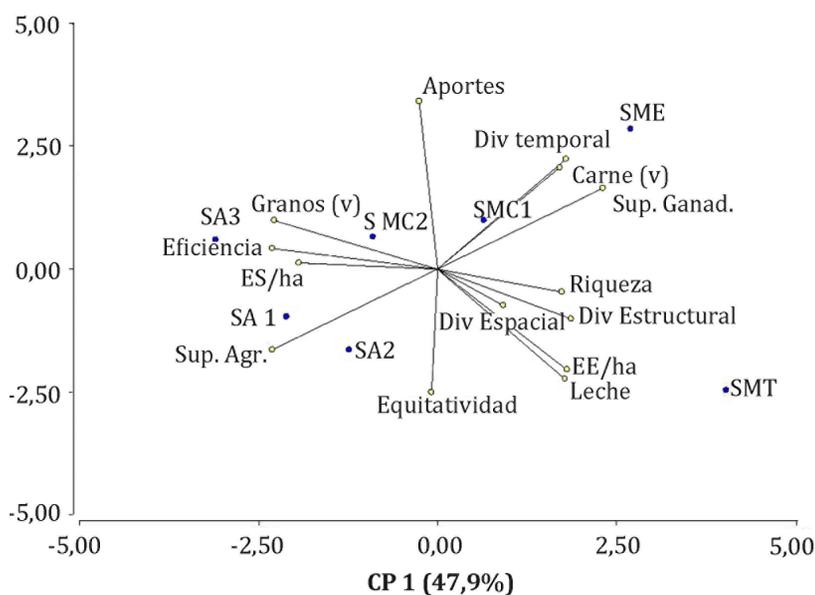


Figura 3. Análisis de componentes principales para los sistemas productivos estudiados.
Figure 3. Analysis of main components for the productive systems studied.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran la importancia de implementar estrategias que promuevan la diversificación productiva ya que la composición, proporción, ubicación y secuenciación de cultivos permiten regular la productividad y los aportes de restos orgánicos.

Los SA si bien muestran una alta eficiencia energética, poseen dominancia de soja que influye en una menor diversidad espacial y temporal y se refleja en un menor aporte de materia orgánica al suelo.

La incorporación de la producción ganadera de base pastoril mejora los índices de diversidad espacial y especialmente el de diversidad temporal por la presencia de pasturas que permiten realizar la rotación agrícola-ganadera, aumentando los aportes de materia orgánica. Este tipo de sistemas logra mantener alta eficiencia energética cuando las superficies de pasturas son moderadas ya que no existe un costo energético alto en la producción animal. Cuando aumenta la superficie destinada a la producción ganadera con base pastoril (SME) disminuye la eficiencia energética

pero se maximiza el aporte de restos, que reduce el uso de fertilizantes y permite una óptima conservación de suelos. La intensificación ganadera al reducir la superficie de pasturas por cultivos anuales para producción de reservas disminuye la calidad de las rotaciones y aumenta el costo energético para la producción y compra de alimentos para consumo animal, lo que disminuye considerablemente la eficiencia energética (SMT).

Los sistemas mixtos de cría logran una integración de la producción agrícola-ganadera favorable, alcanzando una alta eficiencia energética y buenos aportes de materia orgánica, manteniendo la base pastoril y la producción propia de terneros.

En este estudio, se ha verificado que tanto la diversificación productiva como la incorporación del componente ganadero, resultan estrategias alternativas al modelo de simplificación que benefician la sustentabilidad de los sistemas. Sin embargo, una fuerte intensificación ganadera que anula el pastoreo directo, resulta adversa a la sustentabilidad, tanto en la eficiencia energética como en la conservación del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alessandria, E.; Leguía, H.; Pietrarelli, L.; Sanchez, J.; Luque, S.; Arborna, M.; Zamar, J.; Rubin, D. 2001. La agrodiversidad en sistemas extensivos: El caso de Córdoba. *LEISA*. 16(4): 10-11.
2. Alessandria, E.; Arborna, M.; Leguía, H.; Luque, S. M.; Pietrarelli, L.; Sanchez, J. V.; Zamar, J. 2013. Aportes de la agroecología en sistemas extensivos de la región semiárida central de Córdoba. En: Ulle, J. (Ed.) Bases tecnológicas de sistemas de producción agroecológicos. Nodos agrícola ganadero, horticultura orgánica y cultivos perennes. Buenos Aires: INTA. p. 139-152.
3. Altieri, M.; Nicholls, C. 2012. Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología*. Murcia, España. 7(2): 65-83.
4. Andriulo, A.; Cordone, G. 1998. Impacto de las labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la Región Pampeana Húmeda. En: Panigatti, J. L.; Marelli, H.; Buschiazzo, D.; Gil, R. (eds.). Siembra directa. Buenos Aires. INTA. p. 65-96.
5. Basanta, A.; Alvarez, C. 2015. Manejo sustentable de sistemas agrícolas en la región central de Córdoba. Una experiencia de largo plazo en INTA EE Manfredi. *RIA*. Vol 41. N° 2.

6. Basco, M. 1993. Hacia una estrategia de desarrollo rural para la Argentina. Buenos Aires: IICA, Biblioteca Venezuela. 112 p.
7. Baudry, J.; Baudry-Burel, F. 1982. La mesure de la diversité spatiale. Relations avec la diversité spécifique. Utilisation dans la évaluations d'impact. *Oecología Applicata*. 3(2): 177-190.
8. Blandi, M. L.; Rigotto, R. M.; Sarandón, S. J. 2018. Influencia de factores contextuales en la adopción de modelos de agricultura insustentables. La incorporación del invernáculo en agricultores platenses. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 50(1): 203-216.
9. Bisang, R.; Sztulwark, S. 2006. Tramas productivas de alta tecnología y ocupación. El caso de la soja transgénica en la Argentina. En: *Especialización productiva, tramas y negociación colectiva*, Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social, Trabajo, ocupación y empleo. Buenos Aires. Serie Estudios. 4: 115-152.
10. Boetto, C.; Gomez, D. 2012. Balance de nutrientes para bovinos: 10 pasos. Córdoba: Universidad Católica de Córdoba. Educ. 2012. 106 p.
11. Bragachini, M.; Cattani, P.; Gallardo M.; Peiretti, J. 2008. Manual Técnico N° 6. EEA INTA Manfredi. Forrajes conservados de alta calidad y aspectos relacionados al manejo nutricional. INTA. 328 p.
12. Bragachini M.; Cattani, P.; Sanchez, F.; Savalía, G.; Giordano, J. 2016. Hélices *versus* segadoras en forrajes conservados: Tecnologías para producir carne, leche y bioenergía en origen. En *jornada nacional de forrajes conservados, Manfredi*. Libro de Resúmenes. Manfredi: INTA. p. 32-42.
13. Cieza, R.; Flores, C. 2007. Sustentabilidad económica y eficiencia energética de las estrategias de diversificación de sistemas productivos de la cuenca del Salado, Argentina. Resumen del II Congreso Brasileiro de Agroecología. *Rev. Bras. Agroecología*. Vol. 2. N° 1. Fev. 2007.
14. Creus, C. R.; Studdert, G. A.; Echeverría, H. E.; Sanchez, S. R. 1998. Descomposición de residuos de cosecha de maíz y dinámica del nitrógeno en el suelo. *Ciencia del suelo*. 16: 51-57.
15. Flores, C.; Sarandón, S. J. 2014. La energía en los agroecosistemas. En: Sarandón, S. J.; Flores, C. (Coord). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*, 1a ed. La Plata: UNLP. Cap.7. p. 190-210.
16. Gear, J. R. E. 2016. El cultivo del maíz en la Argentina. 2006. Disponible en: <<http://www.maizar.org.ar/pdf/Revista%20maizar%202.pdf>>. Acceso: 15 abril, 2016.
17. Gliessman, S. 2002. *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 359 p.
18. Guida Daza, C. 2002. Evolución del cultivo de soja en Argentina. INTA. Marcos Juárez. Argentina.
19. Iermanó, M. J. 2015. *Sistemas mixtos familiares de agricultura y ganadería pastoril de la región pampeana*. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. 307 p. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46343>. Acceso: septiembre de 2015.
20. Labrador, J. 2008. Manejo de suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica. SEAE. p. 47.
21. Magurran, A. 1983. *Ecological diversity and its measurements*. Chapman and Hall. London.
22. Martínez, H.; Fuentes, J. P.; Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006. Acceso: Octubre 2017.
23. Morón, A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. En: Díaz Rosello, R. (Coord.): *Siembra Directa en el cono sur*. Montevideo: Ediciones PROCISUR. p. 387- 405.
24. Muzlera, J. 2011. *Agricultura familiar y contratismo de maquinaria agrícola a comienzos del siglo*. En: López Castro N & G Prividera (comps.). *Repensar la agricultura familiar. Aportes para desentrañar la complejidad agraria pampeana*. Buenos Aires: CICCUS Ediciones. 265-286.
25. Nicholls, C. 2015. Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. *Agroecología*. V. 1. p. 37-48.
26. Odum, E. 1972. *Ecología*. Nueva Editorial Interamericana. 3ª edición. México. 639 p.

27. Ottman, G; Renzi, D.; Miretti, A.; Spiaggi, Y. E. 2009. La sustentabilidad del modelo del desarrollo rural en la provincia de Santa Fe: determinación de indicadores para sistemas productivos de diferentes ecorregiones. X Simposio Internacional y V Congreso Nacional de Agricultura Sostenible Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez. Chiapas.
28. Pengue, W. 2009. Cuestiones económico-ambientales de las transformaciones agrícolas en las pampas. Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía. Vol. 40. N° 157.
29. Pereira Dos Santos, H.; Tomm, G.; Spera, S.; Avila, A. 2007. Efeito de práticas culturais na conversão en no balance energéticos. *Bragantia*. 66(2): 299-306.
30. Perez Casar, L. 2015. Un sistema de manejo conservacionista. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 41(2). Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86441580002>>. Acceso: septiembre 2017.
31. Pietrarelli, L. 2009. Transformación tecnológica-productiva de sistemas agropecuarios de la región central de la Provincia de Córdoba entre 1997 y 2004. Tesis de maestría en Gestión Ambiental Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. 133 p.
32. Pietrarelli, L.; Leguía, H.; Fontanini, L. 2015. Efecto de las transformaciones tecnológico-productivas de sistemas agrícolas en la región central de Córdoba, en su agrodiversidad y eficiencia energética. En: V Congreso Latinoamericano de Agroecología (SOCLA). La Plata.
33. Pimentel, D.; Berardi, G.; Fast, S. 1991. Energy efficiencies of farming wheat, corn, and potatoes organically. En: Organic farming current technology, its role in sustainable agriculture. Madison: ASA. USA. Special publication. 46: 151-161.
34. Rabinovich J.; Torres, F. 2004. Caracterización de los síndromes de sostenibilidad del desarrollo. El caso de Argentina. Santiago de Chile: CEPAL Serie seminarios y conferencias 38. 97 p.
35. Reborá, C.; Ibarguren, L.; Barros, A.; Bertona, A.; Antonini, C.; Arenas, F.; Calderón, M.; Guerrero, D. 2018. Corn silage production in the northern oasis of Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 50(2): 369-375.
36. Sole R. V.; Goodwin, B. 2001. Signs of life. How complexity pervades biology. Basic Books Harper and Collins. New York. 340 p.
37. Spiaggi, E.; Ottmann, G. 2010. Evaluación agroecológica mediante la utilización de indicadores de sustentabilidad de cinco establecimientos productivos de la Provincia de Santa Fe, Argentina. Ponencia presentada al VIII Congreso Latinoamericano de Sociología Rural. Porto Galinhas 2010. Disponible en: <http://www.alasru.org/wp-content/uploads/2011/07/GT2-Eduardo-Spiaggi.pdf>. Acceso: mayo 2016.
38. Vallés, M. 1997. Técnicas cualitativas de Investigación Social. Editorial Síntesis. Madrid. España. 430 p.
39. Yacuzzi, E. 2005. El estudio de caso como metodología de investigación: Teoría, mecanismos causales, validación. Serie Documentos de Trabajo. Universidad del CEMA. p. 1-37.

AGRADECIMIENTOS

A la SECyT de la UNC, que financió estos estudios.

A los Productores Agropecuarios que cedieron su tiempo y conocimiento en estos estudios de caso.

A los docentes e investigadores de la FCA y otras Instituciones, por su colaboración y sugerencias.