

Estudio del impacto de la producción orgánica en planteos mixtos (agrícola-ganaderos) sobre algunos indicadores de calidad del suelo



Study of the impact of the extensive organic production over some soil quality indicators

De Siervi, Marcelo Silvano; Grandoli, Iván; Fabrizio de Iorio, Alicia

 De Siervi, Marcelo Silvano

desiervi@agro.uba.ar

FAUBA, Argentina

Grandoli, Iván

ivangrandoli@gmail.com

FAUBA, Argentina

Fabrizio de Iorio, Alicia

aiorio@agro.uba.ar

FAUBA, Argentina

Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias

Universidad Nacional del Litoral, Argentina

ISSN: 2346-9129

ISSN-e: 2346-9129

Periodicidad: Semestral

vol. 22, 2023

revistafave@fca.unl.edu.ar

Recepción: 19 Mayo 2022

Aprobación: 19 Septiembre 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/586/5863579004/>

DOI: <https://doi.org/10.14409/fa.2023.22.e0001>

Resumen: El análisis de indicadores de calidad de suelo en sistemas orgánicos mixtos de producción extensiva en nuestro país no ha sido estudiado en profundidad. La producción orgánica se basa en la aplicación de un conjunto de técnicas que permitan proteger a los cultivos y animales de plagas para que no provoquen daños económicos, sin aplicar ningún tipo de insumo de origen sintético. El recurso suelo representa para estos sistemas un capital fundamental para garantizar la sustentabilidad de la producción. El objetivo de este trabajo fue caracterizar algunos indicadores de calidad de suelo en lotes de un establecimiento agropecuario bajo producción orgánica para evaluar el impacto de las prácticas de manejo utilizadas. El muestreo se realizó en ocho lotes bajo rotación agrícola y ganadera desde hace más de veinte años. Se procedió a tomar muestras compuestas superficiales (0 – 20 cm) y se determinó: % de materia orgánica (MO), pH, conductividad eléctrica (CE), fósforo extractable (Pe) y nitrógeno (N) Kjeldhal. Los resultados obtenidos demostraron limitaciones químicas severa a la productividad por desbalance de pH lo cual podría tener relación directa con la disponibilidad de algunos nutrientes como el fósforo. Comparando con los niveles originales de Pe de estos suelos, se observó una caída significativa de este parámetro en los lotes en producción. Debido a la inexistente reposición de nutrientes, los rendimientos de los cultivos son reducidos y muy variables lo que implica una reducción en el aporte de rastrojos y determinarían que el balance de carbono durante el ciclo agrícola sea negativo.

Palabras clave: calidad de suelos, producción orgánica extensiva.

Abstract: *The analysis of soil quality indicators in extensive agricultural and livestock breeding under organic systems has not been deeply studied in our country. Organic production is based on the application of a set of techniques that protect crops and animals from pests so that they do not cause economic damage, without applying any type of input of synthetic origin. The soil resource represents for these systems a fundamental capital to guarantee the production sustainability. The objective of this work was to characterize some soil quality indicators in plots of an agricultural establishment under organic production to evaluate the impact of the management practices used. The sampling was carried out*

in eight lots under agricultural and livestock rotation for more than twenty years. Superficial composite samples (0-20 cm) were taken and the following were determined: % organic matter (OM), pH, electrical conductivity (EC), extractable phosphorus (Pe) and Kjeldhal nitrogen (N). The results obtained showed severe chemical limitations on productivity due to a pH imbalance, which could be directly related to the availability of some nutrients such as phosphorus. When compared with the original levels of Pe in these soils, a significant drop in this was observed. Due to the non-existent replacement of nutrients, crop yields are low and highly variable, which implies a reduction in the contribution of stubble and would determine that the carbon balance during the agricultural cycle is negative.

Keywords: *soil quality, organic production, extensive farming.*

INTRODUCCIÓN

La caracterización de los suelos y el análisis de indicadores de su calidad en relación al desarrollo sustentable en sistemas orgánicos mixtos (agricultura-ganadería) de producción extensiva en la Región Pampeana ha sido poco estudiada y podría resultar una herramienta útil para poder conocer el impacto de las prácticas de manejo sobre el recurso suelo. Los problemas ocasionados por el consumo de alimentos contaminados y las enfermedades asociadas a ellos, llevaron a los consumidores a comprar alimentos orgánicos porque creen que son más respetuosos con el medio ambiente, más saludables y con mejor sabor que los alimentos producidos convencionalmente (Verbeke et al., 2009; Stolz et al., 2011; Kriwy et al., 2011; Pino et al., 2012; Zanolli y Naspetti, 2002; Zagata, 2012). Los estudios integrales han mostrado claras ventajas para varios parámetros que describen una mayor calidad de los productos orgánicos en comparación a productos derivados de la agricultura convencional (Baker et al., 2002). Según la última Resolución expedida por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), se entiende por ecológico, biológico u orgánico a todo sistema de producción agropecuario a aquel sistema de producción sustentable que mediante el manejo racional de los recursos naturales y evitando el uso de los productos de síntesis química brinde productos sanos y mantiene o incrementa la fertilidad de los suelos (Resolución SENASA 374/16). Debido a algunos lineamientos descriptos en la citada resolución la mayoría de los productores agropecuarios que abastecen estos mercados han estado adaptando prácticas culturales que en algunos casos pueden afectar la sustentabilidad productiva de estos sistemas, ya que el control de malezas debe ser exclusivamente mecánico, por lo que el excesivo laboreo del suelo utilizando herramientas que generalmente han caído en desuso (escardillo, aporcadador, rolo, rastra de dientes, rastras rotativas, arados etc.). Estas producen una remoción superficial permanente de los primeros centímetros del suelo, exponiendo al recurso a los elementos (vientos y lluvia), reduciendo la cobertura superficial, y exacerbando la pérdida de carbono orgánico por respiración, que sumado a la textura franco arenosa predominante en estos suelos, aceleraría los procesos de degradación física y química de los mismos. Estas prácticas han impactado negativamente sobre algunos indicadores de calidad de suelo de los lotes bajo producción agrícola orgánica desde hace varias décadas.

Bockstaller y Girardin (2003) definen un indicador como una variable que brinda información sobre otras variables a las cuales es difícil acceder, y puede ser utilizada como banco de datos para la toma de decisiones. Un indicador no siempre cumple con un carácter predictivo, simulando las variables de un modelo, pero alcanza el objetivo de brindar información acerca del estado general del sistema. Así visto, los indicadores podrían ser desarrollados para diferentes tipos de condiciones, en función de la información disponible.



FIGURA 2 / FIGURE 2

Ubicación de los lotes muestreados y de las zonas de clausura. / *Sampled lots and closure areas position.*

La unidad Ald es un Haplustol éntico y la unidad Sa3 se encuentra compuesta por un 80 % de la Serie Santa Ana y 20% El Abolengo. El suelo de la serie Santa Ana es un Hapludol éntico y la serie El Abolengo está representado por un Hapludol típico. (Figura 3) (Tabla 1). Las Series fueron establecidas por la Unidad de Reconocimiento del Suelos (EEA.INTA- Castelar, 1991- Carta De Suelos de la República Argentina. Hoja 3363-29. ARIAS. INTA- Instituto de suelos-CIRN/ <http://suelos.cba.gov.ar/ARIAS/index.html#SA3>).

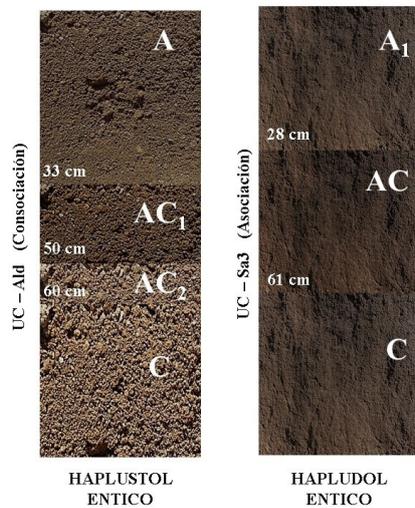


FIGURA 3 / FIGURE 3

Unidades cartográficas bajo estudio (Ald: Alejo Ledesma / Sa3: Santa Ana3). / *Cartographic units under study (Ald: Alejo Ledesma / Sa3: Santa Ana3).*

TABLA 1 / TABLE 1

Lotes muestreados indicando el cultivo al momento del muestreo, superficie y UC a la que pertenece (LNN: Liebres Sur Naciente, LSP: Liebres Sur Poniente, LNP: Liebres Norte Poniente, LSN: Liebres Sur Naciente) / *Sampled lots showing the existing crop at soil sampling, and to which Soil belong. (LNN: Liebres Sur Naciente, LSP: Liebres Sur Poniente, LNP: Liebres Norte Poniente, LSN: Liebres Sur Naciente), and the corresponding INTA Soil Map.*

LOTE	Cultivo	Ha.	UC
LNN	Soja	75,0	Ald
LSP	Girasol	84,0	Ald
LNP	Pastura ³	75,0	Ald
LSN	Pastura ⁴	84,5	Ald
Cañada C	Maíz	84,5	Ald
Cañada P	Trigo/Soja	42,5	Ald
Playosa B	Pastura ¹	56,0	Sa3
Plantel 4	Pastura ²	80,0	Ald

El superíndice que acompaña a los lotes bajo cultivo pastura indica años desde la siembra.

Actividad agropecuaria: las actividades agropecuarias que se desarrollan en el establecimiento son agricultura y ganadería extensiva bajo un sistema de producción orgánica certificada (PO) desde hace más de 20 años. La agricultura está representada por los siguientes cultivos: centeno (*Secale cereale*), trigo (*Triticum vulgare*), cebada (*Hordeum vulgare*) y avena (*Avena sativa*) en el periodo invernal y soja (*Glycine max*), maíz (*Zea mays*), girasol (*Helianthus annuus*) y sorgo (*Sorghum sp.*) en el estival. El sistema de laboreo utilizado es la labranza convencional, ya que se debe realizar el control de malezas en forma mecánica porque está prohibido el uso de herbicidas. Los lotes bajo estudio están incluidos en una rotación de cuatro años de agricultura y cuatro de ganadería. En la Tabla 1 pueden observarse los lotes muestreados, cultivo existente y UC a la cual pertenece (Alejo Ledesma: Ald o Estancia Santa Ana 3: Sa3)

Muestreo de suelo y variables analíticas: La caracterización físico-química de las muestras fue realizada por métodos estandarizados (Page, 1982). Se tomaron tres muestras compuestas superficiales (0–20 cm) de cada lote donde se analizó: textura utilizando el método del Hidrómetro (Bouyoucos, 1962). Este parámetro se utilizó para determinar el indicador MO/a+L. También fueron determinados la densidad aparente por el método del cilindro, pH (potenciométrico, agua 1:2,5), conductividad eléctrica (CE), materia orgánica por Walkley & Black, Nitrógeno por Kjeldahl (NKj), fósforo extractable (Bray & Kurtz N°1), y se determinó la relación C/N a partir del cociente entre el porcentaje de Carbono Orgánico Total (%MO /2,2) y el %NKj.

Análisis estadístico: se compararon las muestras de suelo obtenidas en los lotes agrícola-ganderos con las clausuras donde se encontraban los suelos prístinos pertenecientes a cada UC (Clausura Liebres –Ald-; Clausura Playosa B – Sa3-). Se aplicó una estadística descriptiva (media, desvío standard y coeficiente de variación en porcentaje). Para la comparación de medias se realizó el test de Tukey ($\alpha = 0,05$) utilizando el software INFOSTAT Versión Libre.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos luego de la caracterización físico-química de los suelos a una profundidad de 0-20 cm de los lotes de producción y las clausuras.

TABLA 2 / TABLE 2
Caracterización físico-química de los lotes y suelos de referencia bajo estudio (0-20 cm de profundidad) / *Physical and chemical characterization of lots and reference soils under study (0-20 cm deep)*

LOTE	pH	CE mS cm ⁻¹	MO Nkj		P Bray ppm	Textura (%)			Dap (Tn m ⁻³)
			%			A	a	L	
Cl. Liebres	4,5	0,19	3,54	0,190	29,9	43,1	10,0	46,9	0,99
Cañada C	4,9	0,09	1,46	0,067	5,4	43,1	8,8	48,1	1,05
Cañada P	5,7	0,05	2,57	0,130	3,7	44,4	8,8	46,9	1,03
LNP	5,5	0,11	1,86	0,102	4,6	46,9	8,1	46,9	0,95
LSN	6,2	0,06	2,03	0,096	2,6	43,8	8,8	47,5	0,99
LNN	5,5	0,12	2,85	0,150	7,2	44,4	8,1	47,5	1,00
LSP	6,0	0,09	2,14	0,114	5,9	46,9	8,1	45,0	0,98
Plantel IV	6,0	0,08	1,81	0,087	3,5	43,8	7,5	48,8	0,97
Cl. Playosa B	7,1	0,19	2,82	0,148	30,95	40,0	11,3	48,8	0,94
Playosa B	5,6	0,1	2,26	0,119	2,96	40,8	10,8	48,4	0,93

Nota: Textura (%); A: arena; a: arcilla; L: limo;

pH y Conductividad eléctrica: las diferencias encontradas no fueron significativas, aunque dentro de la UC Ald se puede apreciar una reacción muy fuertemente ácida del suelo de referencia (Clausura Liebres) con un valor registrado de 4,5, fuertemente ácida en Cañada C, moderadamente ácida en Parvas, LNN, LNP y débilmente ácida en LSN, LSP y Plantel IV. Si tomamos como referencia el valor de la carta INTA 3363-29 (1991) de 5,9 para la serie Alejo Ledesma, podemos deducir que hay cuatro lotes dentro de esta UC que presentan valores inferiores de pH (Cañada C, Parvas, LNP y LNN) con respecto al suelo de la carta. En la UC (Sa3) se registró también descenso en las unidades de pH del lote en rotación (Playosa B) con respecto al suelo de referencia (Clausura Playosa B). Campillo (1994) menciona que existen procesos naturales que provocan la acidificación de los suelos. Estos procesos pueden ser acelerados o retardados por la acción del hombre a través de las prácticas de manejo. El proceso natural de mayor incidencia en la acidificación de los suelos es la pérdida de los cationes básicos. Los resultados obtenidos pueden dar evidencia de la necesidad futura de incluir prácticas de agregado de enmiendas cálcicas para corregir el pH del suelo, con la intención de mejorar las condiciones del ambiente rizosférico e incidir positivamente sobre la disponibilidad de fósforo para los cultivos, entre otros aspectos. Con respecto a la CE (mS cm⁻¹), no se aprecian excesos de sales ni se infiere presencia de iones que puedan provocar toxicidad directa a los organismos del suelo y las plantas.

Materia Orgánica: Dentro de la UC Ald los lotes Plantel IV, Cañada C y LNP mostraron un contenido menor de MO respecto del suelo de referencia (Clausura Monte Liebres, 3,88 %) (Tabla 2). Según Álvarez (2005), si el agroecosistema tiene una baja tasa de erosión puede llegarse a un nuevo equilibrio en el nivel

de MO que es generalmente un 40-60 % del que tenía el suelo virgen, lo cual puede considerarse alcanzado en los lotes bajo estudio. Teniendo en cuenta esto, podemos observar que el lote Cañada C con 1,6 % de MO registró una pérdida del 58,7 %, seguido de LNP con un 52 % de pérdida y Plantel IV con un descenso del 48,9 % respecto del suelo de referencia. También se registró un descenso del orden del 11,07 % de MO entre el lote Playosa B con respecto a lo determinado en su suelo de referencia (Clausura Playosa B). En la Región Pampeana se han reportado pérdidas de entre 35-55% del contenido de C inicial en la capa de 0-20 cm de suelo (Sainz Rozas et al., 2011a). Las pérdidas de MO en labranza convencional respecto de la situación inicial fueron superiores a la descrita por Díaz Zorita (1999) para el mismo sistema de laboreo en un Argiudol típico del centro de Argentina. Estas diferencias son atribuibles, a que la textura y las condiciones ambientales favorecen la rápida mineralización del carbono en Hapludoles típicos con respecto a lo esperable en un Argiudol típico (Conti et al., 1992).

En la Figura 4 se observan los valores relativos de MO (Relación: % MO/a+L). Esa variable expone la importancia relativa de la pérdida de MO en función de la textura de cada lote con las clausuras testigo de cada tipo de suelo. Es destacable la tendencia observada en el % MO y la relación % MO/a+L. Al efectuar el análisis considerando la granulometría del suelo se observa que existen diferencias significativas entre los lotes y los testigos (clausuras). Esta variación corresponde a las fracciones lábiles de la materia orgánica que tienen injerencia en muchas funciones del suelo. Cuando se ha perdido gran parte de estas fracciones de la MO del suelo, las funciones más dinámicas se ven seriamente reducidas a pesar de que aun puedan mantenerse otras asociadas con las fracciones más recalcitrantes. Debido a la influencia de factores formadores estos suelos no pueden acumular gran cantidad de MO y presentan además una menor proporción de fracciones recalcitrantes (altamente protegidas), por lo que son más susceptibles a las consecuencias de balances negativos de carbono del sistema y tienden a perder más rápidamente su capacidad de desempeñar algunas funciones (Quiroga, 2015). La elevada tasa de extracción de nutrientes debida a los altos rendimientos agrícolas, determina una disminución del factor de capacidad de los suelos (Casas, 2001). Los bajos niveles de reposición de nutrientes han conducido a una disminución considerable de la fertilidad de los suelos y, por lo tanto, de la sustentabilidad física, económica y ambiental de las explotaciones agrícolas (García, 2001).

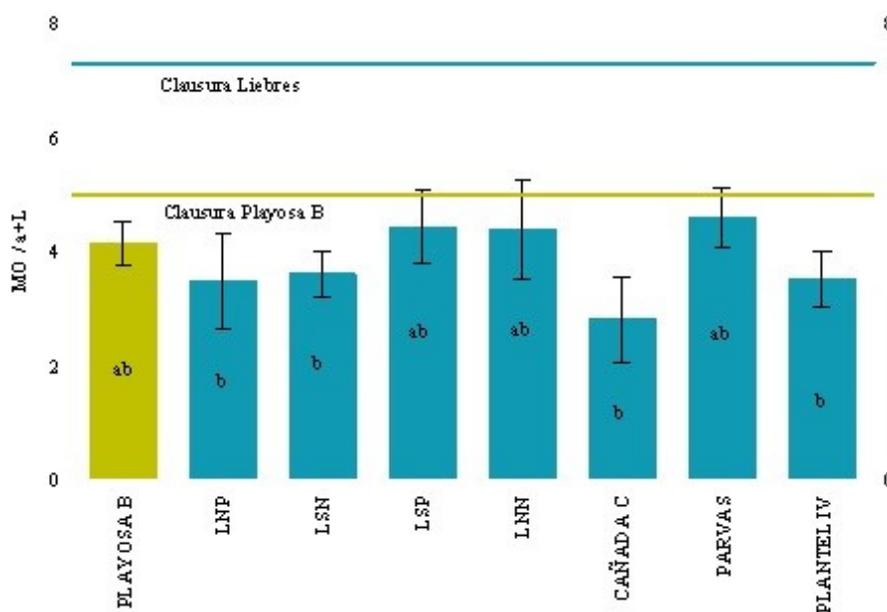


FIGURA 4 / FIGURE 4

Comparación de los valores relativos de MO (% MO/L+a) de cada lote con las Clausuras testigo de cada tipo de suelo. Letras iguales significa que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$). / *Relative values comparison of % OM (%OM/S+c) of each lot and the closure areas of the different types of soil. Same letter means no significant difference ($p > 0,05$).*

Nitrógeno (N): en la Tabla 2 se muestran los valores de nitrógeno Kjeldahl, en el caso de la UC Sa3 se registró una disminución en el nivel de N Kj del lote Playosa B con respecto al suelo de referencia (Clausura Playosa B). En cuanto a la UC Ald se aprecian contenidos bajos para los lotes LSN, LSP, Cañada C y Plantel IV en comparación al suelo de referencia (Clausura Monte Liebres). Sin embargo, no se registraron diferencias significativas para este parámetro entre los lotes bajo rotación pertenecientes a la UC Ald y la citada Clausura.

Relación C/N: el nivel de MO y la relación carbono/nitrógeno (C/N) proporcionan información sobre el nitrógeno asimilable que el suelo va a producir a lo largo del ciclo del cultivo. En la Figura 5 se observan los resultados de la proporción de carbono/nitrógeno que presentaron los suelos bajo estudio y sus referencias. Los lotes Cañada C, LSN y Plantel IV de la UC (Ald), registraron valores de relación C/N entre 10-12 lo que mostraría una correcta liberación de nitrógeno durante el ciclo del siguiente cultivo. Marelli (2005), menciona que los valores por encima o por debajo de esa cifra, provocarían liberaciones muy escasas o excesivas. La relación carbono/nitrógeno (C/N) es una interacción entre el contenido de carbono y de nitrógeno en una sustancia, que tiene un impacto importante en la descomposición de los rastrojos, la cobertura del suelo y la pérdida de nutrientes (predominantemente nitrógeno) (USDA, 2019). Por lo tanto, esta relación encontrada en la MO edáfica se construye en base a la dinámica del Nitrógeno paralelamente con el balance de Carbono orgánico. La importancia de este parámetro en los lotes estudiados reside en que el N liberado durante la mineralización de la MO es la única oferta de este nutriente disponible para los cultivos, debido a las razones anteriormente explicitadas.

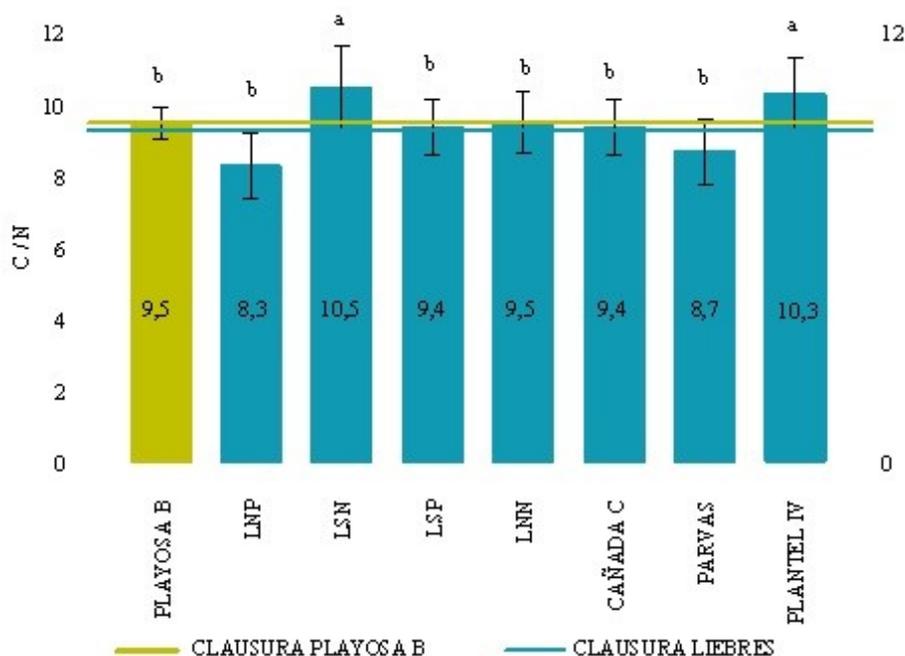


FIGURA 5 / FIGURE 5

Relación C/N (0-20 cm) de los suelos bajo estudio. Letras iguales significa que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$). / C/N Ratio (0-20 cm) of the soils under study. Same letter means no significant difference ($p > 0,05$).

Fósforo (P): las plantas se abastecen de P desde el compartimento inorgánico más soluble mediante mecanismos de difusión, cuyo movimiento es lento y está determinado por la diferencia de concentración. Debido a esto, resulta fundamental el desarrollo radical alcanzado por los cultivos para tener un mayor abastecimiento de P (Alvarez- Rimski Korsakov, 2016). Con respecto a la concentración de P extractable en los suelos, se encontraron diferencias significativas entre los lotes en rotación y los suelos de referencia para ambos tipos de suelo. En el caso de los suelos pertenecientes a la Serie Alejo Ledesma (Ald) la menor concentración de P extractable la presentó el lote LSN con un valor de 2,63 ppm, seguido de Plantel IV con 3,47 ppm y Parvas con 3,95 ppm de P Bray, lo cual representa una reducción de concentración del orden del 89,5 %, 84,6 % y 82,5 % respectivamente, en comparación al suelo de referencia (Clausura Liebres) (Figura 6). El lote Playosa B presentó diferencias del 90% de fósforo asimilable respecto al suelo de referencia (Clausura Playosa B). Según los autores de este trabajo, y teniendo como referencia a la bibliografía citada, las principales razones que explicarían los bajos niveles de fósforo extractable detectados en los lotes muestreados serían la falta de reposición de este nutriente y la extracción permanente durante más de veinte años de producción agrícola ganadera. Por otro lado, los elevados niveles de acidez encontrados en los lotes podrían haber reducido los niveles de fósforo disponible para los cultivos, debido a la precipitación de este elemento con Al y Fe en estos niveles de pH. Si bien la fertilidad nativa de los suelos de la Región Pampeana era originalmente alta (Sillampaa, 1982), la gradual reducción en sus reservas de nutrientes ha modificado dicha situación. El óptimo rango de pH del suelo dentro del cual se observan la máxima disponibilidad de fósforo se encuentra entre 6,5 y 7,5 (Sainz Rozas et al., 2011a). Las causas de este comportamiento se asocian fundamentalmente a que en este rango ocurre la máxima solubilidad de las formas de fósforo inorgánico del suelo. Se han fijado umbrales variables que generalmente se ubican entre el 15-25 ppm de P extractable en el estrato 0-20 cm de suelo (Álvarez et al., 2013). Según Gutiérrez Boem (2006) la respuesta de rendimiento en el caso de la soja no depende del potencial del sitio, sino del nivel de fósforo disponible en el suelo, donde sus cálculos establecen que la exportación media en región pampeana es de 5,5 kg de P por tonelada de grano cosechado, y menciona que si no se aplica este nutriente al suelo ocurrirá una deficiencia que se traducirá

en caída de rendimientos mayores al 10% en suelos con niveles de P extractable menores a 8 ppm. La caída de rendimientos ocurre debido a que la nutrición fosforada incide sobre la extensión del sistema radicular y sobre el índice de área foliar, obteniéndose un menor crecimiento entre floración y comienzo de llenado de grano, dando como resultado un menor número de granos ha⁻¹ y por ende menor rendimiento.



FIGURA 6 / FIGURE 6

Figura 6: Disponibilidad de P Bray (ppm) de los lotes muestreados en comparación con las Clausuras testigo. Letras iguales significa que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$). / *Extractable Phosphorous (PBray) in the sampled lots in contrast with the Closure áreas. Same letter means no significant difference ($p > 0,05$).*

Factor Antrópico. Impacto de las estrategias de manejo: la aplicación de prácticas de manejo que se apliquen en el suelo conducen a la modificación del ambiente edáfico y así a la regulación, orientación, inhibición, o estimulación de los procesos y mecanismos que ocurren en él (Power, 1994). Las prácticas de manejo que se apliquen marcan principalmente la dirección y el grado de los cambios en su salud del suelo, en el tiempo y en el espacio, constituyendo uno de los factores más importantes para contribuir al desarrollo de sistemas productivos sustentables (Lal, 2010).

Gran parte de las funciones del suelo y de su integridad y perdurabilidad, dependen en gran medida del contenido de MO edáfica. Para estimar el balance de carbono de una situación hace falta no solo estimar la mineralización de la MO humificada sino también los aportes de carbono que son transformados en humus (Álvarez, 1999), conjuntamente con las pérdidas por respiración radical y microbiana. Sobre estas estimaciones Álvarez (1999) estableció que un 83% del total de carbono respirado provenía de la MO de los primeros 30 cm de los suelos y se estimó un coeficiente de mineralización medio del humus del 5,7% anual. En la Tabla 3 son presentados los datos de rendimiento promedio (kg. ha⁻¹) durante las campañas agrícolas 2003-2013 del establecimiento para estimar la entrada promedio de carbono por cultivo durante la fase agrícola. Asimismo, se estimaron pérdidas de C-CO₂ por respiración radical y microbiana que se encuentra en relación directa con los niveles fertilidad que presenta cada lote. Para ello se aplicó el Método de Carbono Simplificado (Álvarez *et al.*, 2005), el cuál facilitó el cálculo de balance de carbono por cultivo y lote (Tn. ha⁻¹. año⁻¹). Los cálculos se realizaron utilizando la Ecuación 1:

$$\text{Balance de C (Tn. ha}^{-1}\text{ año}^{-1}) = R \cdot \text{CAH} - \text{CO} \cdot \text{CM}$$

[Ecuación 1.]

Dónde: R: rendimiento del cultivo: (Tn. ha⁻¹ año⁻¹ ha⁻¹ año⁻¹, 14% de agua).

CAH: Coeficiente de aporte (Ver Tabla 3 b)

CO: Carbono orgánico del suelo de 0 a 20 cm (Tn. C. ha⁻¹)

CM: Coeficiente de mineralización de la materia orgánica (0,057)

TABLA 3 / TABLE 3

Rendimiento promedio obtenido en 10 campañas (2003-2013) de los principales cultivos (Tn ha⁻¹ año⁻¹), coeficiente de aporte y aporte de carbono orgánico (Tn ha⁻¹ año⁻¹). / *Average yield in 10 years of agricultural campaigns (2003-2013) of the main crops (Tn ha⁻¹ year⁻¹), Input coefficient and Organic Carbon Input (Tn ha⁻¹ year⁻¹).*

LOTE	pH	CE mS cm ⁻¹	MO Nkj		P Bray ppm	Textura (%)			Dap (Tn m ⁻³)
			%			A	a	L	
Cl. Liebres	4,5	0,19	3,54	0,190	29,9	43,1	10,0	46,9	0,99
Cañada C	4,9	0,09	1,46	0,067	5,4	43,1	8,8	48,1	1,05
Cañada P	5,7	0,05	2,57	0,130	3,7	44,4	8,8	46,9	1,03
LNP	5,5	0,11	1,86	0,102	4,6	46,9	8,1	46,9	0,95
LSN	6,2	0,06	2,03	0,096	2,6	43,8	8,8	47,5	0,99
LNN	5,5	0,12	2,85	0,150	7,2	44,4	8,1	47,5	1,00
LSP	6,0	0,09	2,14	0,114	5,9	46,9	8,1	45,0	0,98
Plantel IV	6,0	0,08	1,81	0,087	3,5	43,8	7,5	48,8	0,97
Cl. Playosa B	7,1	0,19	2,82	0,148	30,95	40,0	11,3	48,8	0,94
Playosa B	5,6	0,1	2,26	0,119	2,96	40,8	10,8	48,4	0,93

Nota: Textura (%); A: arena; a: arcilla; L: limo;

Las estimaciones realizadas a partir del citado balance mostraron que en todos los lotes son esperables caídas en los niveles de materia orgánica durante los cuatro años del ciclo agrícola, bajo las rotaciones usualmente adoptadas. Esta reducción proyectada sobre los niveles de materia orgánica, estaría directamente relacionada con los bajos rendimientos promedio obtenidos durante el ciclo estudiado. Suelos con más MO edáfica podrían sufrir mayores pérdidas sin no se reponen los nutrientes extraídos por las cosechas. Los resultados que se observan en la Figura 7 demuestran que el rendimiento promedio alcanzado en los lotes muestreados resultaría en niveles de productividad insuficientes para compensar las salidas de C y por ende el balance de carbono para la mayoría de los lotes y cultivos es negativo. Esto podría ser explicado en parte, por la baja disponibilidad de algunos macronutrientes (C, P, N) que estarían limitando la productividad del sistema. A mayor fertilidad edáfica mayor productividad primaria neta que debe generar el sistema para sostener mayores volúmenes de biomasa microbiana y mantener el balance de carbono de cada suelo estabilizado mientras se encuentre bajo producción, evitando la caída de la productividad por degradación del recurso edáfico. La productividad está directamente relacionada con la magnitud del flujo, movilización

y conservación de nutrientes, lo que, a su vez, depende del suministro continuo de materia orgánica y la promoción de la actividad biológica del suelo (Altieri, 1987).

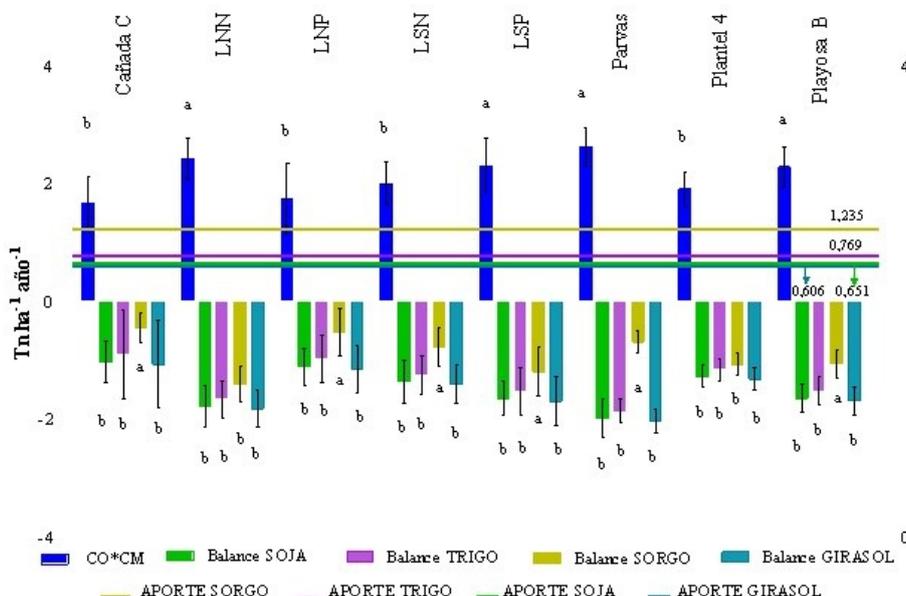


FIGURA 7 / FIGURE 7

Comparación de los aportes de carbono ($Tn\ ha^{-1}\ año^{-1}$) de distintos cultivos (SOJA, TRIGO, SORGO Y GIRASOL) con la Materia orgánica Mineralizada anualmente (CO.CM), y los Balances calculados para cada lote y para cada cultivo, basado en el Balance de Carbono Simplificado (Álvarez, et al., 2013). Letras iguales significa que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$). / *Organic Carbon Input Comparison ($Tn\ ha^{-1}\ year^{-1}$) of the main crops (SOY, WHEAT, SORGHUM, AND SUNFLOWER SEED) with the annually mineralized organic matter (CO.CM), and the calculated Balances for each lot and crop, based in the Simplified Carbon Balance (Álvarez, et al., 2013). Same letter means no significant difference ($p > 0,05$).*

La rotación trigo/soja presenta menores caídas de los contenidos de carbono ya que es el que mayores aportes de carbono realiza a la materia orgánica humificada. Asimismo, el sorgo significaría para estos suelos, y en referencia a los rendimientos esperables, la menor pérdida anual de todos los cultivos involucrados. Es necesario tener en cuenta que estos cálculos han sido realizados considerando los aportes de carbono de los cultivos al suelo y suponiendo un control total del crecimiento de la vegetación espontánea. En este tipo de sistemas productivos habría que sumar al aporte de carbono de los cultivos el aporte de las malezas, para el cual no se cuenta por el momento con métodos de estimación. Sin embargo, es evidente que los recursos utilizados por las malezas para producir tal biomasa (agua, nutrientes y radiación solar), son sustraídos a los cultivos de renta (cultivos de grano y forraje), genéticamente más eficientes para utilizarlos. La regulación de las ganancias y pérdidas de C del sistema suelo es quizás la herramienta más importante para regular los niveles de MO del mismo. A través de las prácticas de manejo no solo podría ajustarse directamente que cantidad de C a devolver al suelo y en qué momento, sino que además se podría tener control sobre aspectos que afectan la magnitud de los mecanismos de salida por su incidencia sobre la actividad biológica en el suelo y su exposición a los procesos de degradación (ej. erosión) (Quiroga, 2015). Este último autor encontró que la SD presentó importantes ventajas para mejorar el uso de agua por parte de los cultivos lo cual se relacionaría principalmente con los niveles de cobertura influenciados por el cultivo antecesor, el sistema de labranza y el uso de los residuos por la ganadería. Combinaciones de cultivos con alta frecuencia de aquellos que luego de la cosecha dejan en el sistema grandes cantidades de residuos (ej. gramíneas: sorgo, maíz y trigo) se asocian con menores caídas de la MO del suelo. Esto es debido a que el aporte de C por año (en promedio de la secuencia) estaría compensando mejor las salidas de C producidas por los mecanismos de pérdida, que aquellas combinaciones con mayor

frecuencia de otros cultivos (ej. soja y girasol) (Quiroga, 2015). La rotación agrícola-ganadera permite elevar el nivel de MO del suelo durante la fase de la pastura, lo cual ocurre en periodos cortos (3-4 años) en el caso bajo estudio, y no superan magnitudes del orden del 5-15%. En cambio, se producen aumentos muy considerables de las fracciones lábiles de la MO, las cuales varían rápidamente en los suelos y liberan nutrientes para los cultivos, estando en consecuencia relacionadas a la fertilidad edáfica (Álvarez *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

Analizando los resultados obtenidos, podríamos afirmar que el sistema de PO agrícola ganadero extensivo bajo un sistema de labranza convencional se provocaría degradación física y química de los suelos, principalmente en suelos con características similares a los estudiados.

En cuanto a las limitaciones de orden química se observa que constituye una limitante severa a la productividad por un desbalance de pH lo cual podría tener relación directa con la disponibilidad de algunos nutrientes como el fósforo. De tal forma, debido a los niveles de P extractable determinados en los lotes en producción, la productividad primaria neta requerida para compensar las salidas de carbono y tender a mantener un balance de carbono equilibrado estaría seriamente comprometida. En la medida que la producción no alcance dichos niveles, las concentraciones de carbono en los suelos bajo estudio se reducirán progresivamente comprometiendo algunas de sus funciones básicas, y sobre todo su productividad, poniendo en riesgo la sustentabilidad de todo el sistema. El manejo de la dinámica de la MO del suelo debería basarse entonces en tomar decisiones y proponer prácticas para regular los mecanismos que determinan los flujos de salida de C y aquellos que determinan los de entrada. Evidentemente se observa la necesidad de alguna estrategia agronómica que contemple la reposición de nutrientes extraídos del suelo en forma de granos, carne y forraje. Para esto se deberá recurrir a la investigación y creatividad, dado que los insumos disponibles en el mercado para la PO son escasos, dificultando la adopción de técnicas de fertilización de cultivos extensivos de PO. Resulta determinante conseguir una mejora en los indicadores de la calidad de estos suelos para garantizar la sustentabilidad productiva de estos sistemas desde el punto de vista edáfico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M.A. (1987) Agroecology, the scientific basis of alternative agriculture. *Westview Press, Boulder*. 227pp.
- Álvarez, R. (1999) Uso de modelos de balance para determinar los requerimientos de fertilizantes nitrogenado de trigo y maíz. EUDEBA. 58 pp.
- Álvarez, R. (2005a) Balance de carbono en suelos de la pampa ondulada: efecto de la rotación de cultivos y fertilización nitrogenada. *Actas Simposio Fertilidad 2005*, Argentina. 61-70 pp.
- Álvarez, R. (2005b) A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management*. 21: 38-52 pp.
- Álvarez, R., Lavado, R., Rodríguez, M., Steinbach, H., Zubillaga, M., (2005) *Fertilidad de suelos, Vol. 2*. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. Facultad de Agronomía, UBA, Argentina. 83 pp.
- Álvarez, R., Prystupa, P., Rodríguez, M. & Álvarez, C., (2013) *Fertilización de cultivos y pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana*. Ed. FAUBA-UBA. Buenos Aires. 652pp. ISBN: 978-987-27793-7-5.
- Álvarez, C.; Rimski-Korsakov. 2016. *Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos*. 1ra Edición. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Argentina. 167 pp.
- Andriulo, A., Rossel, A., Crespo, B. (1987) Effect of tillage on organic matter properties of a soil of central Argentina. *Science of The Total Environment*. 62: 453-456 pp.
- Baker, J., Parasuraman, A., Grewal, D., & Voss, G. B. (2002). The influence of multiple store environment cues on perceived merchandise value and patronage intentions. *Journal of Marketing*, 66(2), 120-141. <https://doi.org/10.1509/jmkg.66.2.120.18470>

- Bernier Villarroel, R., (2000) Diagnóstico de la fertilidad del suelo. Centro Regional de Investigación Remehue, (INIA). Sem: "Técnicas de diagnósticos de la fertilidad del suelo, fertilización de praderas, cultivos y mejoramiento de praderas". N°4: 1- 71 pp.
- Bockstaller, C., Girardin, P. (2003) How to validate environmental indicators, *Agric. Syst.* 76: 639-53 pp.
- Bouyoucos, G.J. (1962) Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils, *Agronomy Journal.* 54:464-465 pp.
- Brandt, K. & Molgaard, J.P. (2001) Organic Agriculture: Does It Enhance or Reduce the Nutritional Value of Plant Foods? *Journal of Science of Food and Agriculture*, 81, 924-931. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.903>
- Bray, RH & Kurtz, LT 1945, Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59: 39-45.
- Campillo, R. (1994) Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de la decimal región: Seminario, "Corrección de la fertilidad y uso de enmiendas en praderas y cultivos forrajeros". Serie Remehúe N°53, Estación Experimental Remehúe (INIA), Osorno, Chile. 23-40 pp.
- Casas, R. (2001) *La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas*. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Tomo LV. Buenos Aires.
- Conti, E., Palma, M., Arrigo, N., Giardina, E. (1992) Seasonal variations of the light organic fractions in soils under different agricultural management systems. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 1693-1704 pp.
- Díaz Zorita, M., (1999) *Efectos de seis años de labranzas en un hapludol del noroeste de Buenos Aires, Argentina*. EEA INTA Gral. Villegas, Soil Sci. 17 (1): 31-35 pp.
- Ferraris, G. (2001) Nutrición. La cosecha que se lleva el carretón del lote. Proyecto Fertilizar. INTA. *Revista Fertilizar* Año 6 N° 24.
- García, F. (2001) Hacia la sustentabilidad nutricional de los suelos. En: siembra directa: *resúmenes del primer seminario de AAPRESID para estudiantes*. AAPRESID. 101 pp.
- Gutiérrez Boem, F., Prystupa, P., Álvarez, C.R. (2006) Comparación de dos redes de ensayos de fertilización fosforada de soja en la región pampeana. *Informaciones Agronómicas* N°31.
- Hughner, R., McDonagh, P., Prothero, A. II, C. & Stanton, J. (2007). Who Are Organic Food Consumers? A Compilation and Review of Why People Purchase Organic Food. *Journal of Consumer Behaviour*. 6. 94 - 110. 10.1002/cb.210.
- Imbellone, P., Giménez, J., Panigatti, L. (2010) *Suelos de la Región Pampeana. Procesos de formación*. Ediciones INTA, C.A. Buenos Aires, Argentina.
- Infostat, (2004) Software Estadístico. *Estadística y Biometría y Diseño de Experimentos*. Fac. Ciencias Agropecuarias. UN Córdoba. Argentina. ISBN: 987- 9449-65-7.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA. Plan de mapa de suelos, (1991) Carta De Suelos de la República Argentina. Hoja 3363-29. ARIAS. INTA- Instituto de suelos-CIRN.
- Kjeldahl, J. (1883) "Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern" (New method for the determination of nitrogen in organic substances), *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22 (1) : 366-383.
- Koepke, N; Baten, J. (2005) The biological standard of living in Europe during the last two millennia, *European Review of Economic History*, Volume 9, Issue 1, April 2005, Pages 61–95, <https://doi.org/10.1017/S1361491604001388>
- Kriwy, Peter & Mecking, Rebecca-Ariane. (2011). Health and environmental consciousness, costs of behaviour and the purchase of organic food. *International Journal of Consumer Studies*. 36. 30 - 37. 10.1111/j.1470-6431.2011.01004.x.
- Lal, R., (2010) Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. *Crop Sci.* 50:S-120-S-131.
- Naspetti, Simona & Zanolli, Raffaele. (2004). Do consumers care about where they buy organic products? A means-end study with evidence from Italian data. 10.1142/9789812796622_0015.

- Padel, S. & Foster, C. (2005). Exploring the gap between attitudes and behaviour: Understanding why consumers buy or do not buy organic food. *British Food Journal*. 107. 10.1108/00070700510611002.
- Power, J. (1994) Understanding the nutrient cycling process. *J. Soil Sci.* 15:205-241 pp. Page, A., (1982) Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. American Society of agronomy, Inc. *Soil Science Society of America*, Inc. Wisconsin, USA. 1143 pp.
- País, M. (2002) El nacimiento de un nuevo mercado En. *La Producción Orgánica en la Argentina. Historia, evolución y perspectivas*, MAPO, Buenos Aires, Argentina. 43-50 pp.
- Pino, Giovanni & Peluso, Alessandro M. & Guido, Gianluigi. (2012). Determinants of Regular and Occasional Consumers' Intentions to Buy Organic Food. *Journal of Consumer Affairs*. 46. 10.1111/j.1745-6606.2012.01223.x.
- Quiroga, A. & Funaro, D. (2003) Indicadores de calidad de suelos. <http://www.aacrea.org.ar/soft/nro275.htm#notatapa>.
- Quiroga, A. & Studdert, A. (2015) Manejo del suelo e intensificación Agrícola: agua y material orgánica. En: Echeverría, h. & García, F. (eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. 73-100 pp.
- SAGyP – Res. N° 374- (2016) SENASA, Ref. Sistema de producción, comercialización, control y certificación de productos orgánicos. Ley 25.127 y sus decretos reglamentarios Dec.97/01, Dec. 206/01 y el Dec. 1585/96. SAGyP N° 0517626/2013.
- Sainz Rozas, H., Echeverría, E., Angelini, P. (2011a) Fósforo extractable en suelos agrícolas de las regiones pampeanas y extra pampeana de Argentina. *Informaciones Agronómicas*. 4: 14-18 pp.
- Sainz Rozas, H., Echeverría, E., Angelini, P. (2011b) Niveles de material orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extra pampeana Argentina. *Informaciones Agronómicas*. 2: 1-7 pp.
- Sillampaa, M. (1982) Micronutrient and the nutrient status of soils a global study. *FAO Soils Bolletim*, Rome, 44 pp.
- Stolz, H. & Stolze, Matthias & Janssen, Meike & Hamm, Ulrich. (2011). Preferences and Determinants for Organic, Conventional and Conventional-plus Products – The Case of Occasional Organic Consumers. *Food Quality and Preference - FOOD QUAL PREFERENCE*. 22. 772-779. 10.1016/j.foodqual.2011.06.011.
- Torjusen, H. & Sangstad Søresne, L. & O'Doherty Jensen, K. & Kjaernes, U. (2004). European consumers' conceptions of organic food: A review of available research.
- Tukey, John (1949). "Comparing Individual Means in the Analysis of Variance". *Biometrics*. 5 (2): 99–114. JSTOR 3001913.
- USDA. (2019). Carbon to Nitrogen Ratios in Cropping Systems. Recuperado de <http://www.nm.nrcs.usda.gov/Technical/tech-notes/agro/>
- Vernet, S., (1999) Comunidades vegetales en la estancia “Las Dos Hermanas”. Ed. Fundación Rachel & Pamela Schiele. 86 pp.
- Verbeke, W., Scholderer, J., & Lahteenmaki, L. (2009). Consumer appeal of nutrition and health claims in three existing product concepts. *APPETITE*, 52(3), 684–692.
- Walkley, A. & Black, I., (1934) An examination of the Degtjareff method for the determination soil organic matter and proposed modification of the chromic titration method. *Soil Science*. 37: 29-38 pp.
- Zagata, L. (2012). Consumers' Beliefs and Behavioural Intentions towards Organic Food: Evidence from the Czech Republic. *Appetite*. 59. 81-9. 10.1016/j.appet.2012.03.023.
- Zanoli, Raffaele & Naspetti, Simona. (2002). Consumer motivations in the purchase of organic food: A means-end approach. *British Food Journal*. 104. 643-653. 10.1108/00070700210425930.
- Zerpa, G. (2006) *Degradación de suelos en uso pastoril*, Tesis para obtener el grado de Magister en Manejo y Conservación de Recursos Naturales, FCA, UNR. 68 pp