

Trabajo científico - Manejo y Conservación de Suelos y Agua. Riego y Drenaje

EFFECTO DE UNA TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO EN EL OESTE BONAERENSE

Lucila Álvarez¹ , Florencia Gómez^{1,2} , Josefina Neira Herrera¹, Facundo Fritz¹, Elke Noellemeyer^{1,*} 

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

² CONICET, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

RESUMEN

En la región pampeana se han registrado pérdidas de entre 26 y 34% de materia orgánica respecto a suelos prístinos y una de las estrategias que permitiría revertir el impacto es la transición de la "agricultura industrial" a la "agroecología". Los métodos de evaluación visual son herramientas factibles que pueden proporcionar información semicuantitativa rápida sobre el estado del suelo. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de un sistema en transición agroecológica sobre la condición del suelo a través de la evaluación visual y analizar cómo esta metodología refleja las diferencias entre los sistemas y se correlaciona con otras propiedades edáficas. El estudio se llevó a cabo en un establecimiento agropecuario cercano a la localidad de 30 de Agosto (Prov. de Buenos Aires) donde desde hace cuatro años 710 hectáreas se encuentran en transición agroecológica. Se determinaron tres situaciones de manejo en la zona de altimetría media del establecimiento: Agrícola agroecológico (AA), Agrícola Convencional (AC), y Pastura polifítica (Pa). El manejo AA presentó un menor valor de densidad aparente y mayor contenido de materia orgánica que AC en 0-10 cm. El Índice de materia orgánica (IMO) detectó una influencia del manejo, donde tanto AA como Pa presentaron valores superiores a 4,5 indicando una buena condición mientras que en AC el IMO fue significativamente menor. La metodología de evaluación visual de la calidad del suelo también permitió diferenciar AA y Pa de AC. Los indicadores visuales que mejor diferenciaron los manejos fueron estructura, porosidad, color y compactación. El manejo AA no se diferenció en su evaluación visual y en otros indicadores como el IMO de aquel con pasturas polifíticas destinado a ganadería, a partir de lo cual podría concluirse que ambos sistemas contribuyen de manera similar al manejo sustentable del suelo.

Palabras clave: evaluación visual del suelo, pasturas polifíticas, índice de materia orgánica

* Autor de contacto:
noellemeyer@agro.unlpam.edu.ar
enoellemeyer@gmail.com

Recibido:
08-09-24

Recibido con revisiones:
26-12-24

Aceptado:
29-01-25

Este artículo está bajo
licencia internacional



La titularidad del derecho de autor/a es de los/as Autores/as.

EFFECTS OF AN AGROECOLOGICAL TRANSITION MANAGEMENT ON SOIL QUALITY IN THE WEST OF BUENOS AIRES PROVINCE

ABSTRACT

In the Pampas region, losses of 26 to 34% of organic matter have been recorded compared to pristine soils. One of the strategies that would reverse the impact of organic matter loss is the transition from the so-called industrial agriculture to an agroecological management. Visual assessment methods are viable tools that can provide rapid semi-quantitative information on soil condition. The objective of the study was to assess the effect of an agroecological transition on soil condition through visual evaluation and to analyze how this methodology reflects differences among systems in soil physical and biological parameters and

correlates with other edaphic properties. The study was carried out in an agricultural establishment near the town of 30 de Agosto (Buenos Aires province) with 710 hectares under an agroecological transition for four years. Three soil management systems were determined in the average altimetry zone of the establishment: Agroecological Agricultural management (AA), Conventional Agricultural management (AC), and Multispecies Pasture (Pa). Soils under AA management presented a lower bulk density value and higher organic matter content than under CA in 0-10 cm. The Organic Matter Index (IMO) detected an influence of management practices on soil quality. AA and Pa presented IMO values greater than 4.5, indicating a good soil condition, while the IMO value was significantly lower under AC. Through visual assessment of soil quality, it was also possible to differentiate AA and Pa from AC. The visual indicators that best differentiated treatments were structure, porosity, color and compaction. No significant differences were observed between AA management and Pa intended for livestock using either visual evaluation or other indicators such as the IMO, from which it could be concluded that both systems contribute to sustainable soil management in a similar way.

Keywords: visual evaluation of soil; multi-species pastures; organic matter index

INTRODUCCIÓN

El suelo cumple un rol fundamental en los servicios ecosistémicos que la naturaleza brinda a la humanidad, los cuales incluyen no sólo servicios de aprovisionamiento, sino también otros no tangibles como los servicios de regulación, soporte y culturales (Costanza et al., 1997).

La calidad del suelo se define como la aptitud de éste para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, y poder sostener la productividad animal y vegetal, manteniendo o mejorando la calidad del agua y el aire, y ser un soporte para la salud y vida humana (Robinson et al., 2012). Este concepto incluye, además, la evaluación de propiedades del suelo asociadas a su capacidad para funcionar eficazmente como componente de un ecosistema sano (Bünemann et al., 2018). Uno de los problemas con mayor impacto negativo es la conversión de tierras naturales en tierras de cultivo, con la consiguiente degradación del recurso por disminución de la materia orgánica, fertilidad y erosión. En este sentido, para la región pampeana Sainz Rozas et al. (2019) reportaron pérdidas de entre 26 y 34% de materia orgánica respecto a su contenido en suelos prístinos. En las últimas décadas, se plantearon y evaluaron estrategias tendientes a revertir estos procesos de degradación destacando a la diversificación del sistema mediante la rotación de cultivos y sobre todo de la inclusión de pasturas como una alternativa que permite recuperar o mantener la calidad del suelo (Fernández et al., 2020). Otra alternativa, es la transición de la “agricultura industrial” a la “agroecología”, la cual tiene por objetivo promover la seguridad y soberanía alimentaria en concordancia con el cuidado del ambiente (Bezner Kerr et al., 2021). El enfoque de la agroecología surgió en la década del 70 en respuesta a la intensa degradación como consecuencia de las actividades agropecuarias basadas en la simplificación productiva, extractivista y contaminante (Iturralde, 2020). Altieri y Toledo (2011) mencionan como principios básicos de la agroecología el ciclado de nutrientes y energía, la sustitución de insumos externos; el incremento de la materia orgánica y la actividad biológica del suelo; la diversificación de las especies vegetales y los recursos genéticos de los agroecosistemas en tiempo y espacio; la integración de los cultivos con la ganadería, y la optimización de las interacciones y la productividad del sistema agrícola en su totalidad, en lugar de los rendimientos aislados de las distintas especies.

Disponer de indicadores que muestren la degradación de los suelos o el efecto positivo de prácticas de manejo sustentable, es de gran importancia (Malone et al., 2023). Los métodos de evaluación visual son herramientas factibles que pueden proporcionar información semicuantitativa rápida sobre el estado de la calidad física y la fertilidad del suelo (Endale et al., 2024). En la guía de evaluación visual de la calidad del suelo, Noellemeyer et al. (2021) establecen un método rápido y simple para caracterizar su condición e identificar limitantes para el rendimiento de los cultivos. Por otro lado, se busca que estos indicadores guarden una cierta correlación con otras propiedades del suelo que den cuenta de su calidad, como el indicador de materia orgánica (Quiroga et al., 2006).

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto sobre la condición del suelo, de un sistema en transición agroecológica mediante la metodología de evaluación visual y su correlación con otras propiedades edáficas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se situó en el partido de Trenque Lauquen (Buenos Aires), en el establecimiento "La Juanita" (latitud: $-36^{\circ}05'19.23''$ S; longitud: $-62^{\circ}14'22.17''$ O), ubicado a 35 kilómetros al noreste de la localidad de 30 de Agosto (Figura 1). En el mismo se realiza ganadería de carne en ciclo completo (cría, recría y engorde), actividad lechera y agricultura. Desde hace cuatro años se trabajan 710 hectáreas en transición agroecológica.

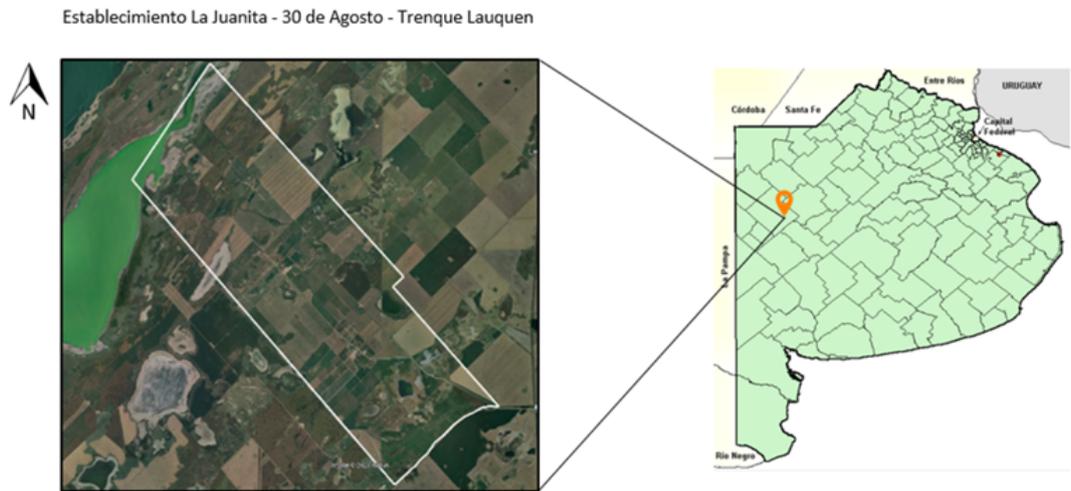


Figura 1. Mapa de la Provincia de Buenos Aires con la ubicación y delimitación del establecimiento "La Juanita".

Figure 1. Map of Buenos Aires province with the location and delimitation of "La Juanita" farm.

Se realizó una ambientación del establecimiento, teniendo en cuenta, en primera instancia, la altimetría del mismo. Para ello se obtuvo un Modelo Digital del Terreno (MDT) con una resolución espacial de 30 m. Los datos de MDT se extrajeron desde la página www.ign.gov.ar mediante la malla 3763-5 que posee una superficie de 170.000 ha y contiene los límites del establecimiento bajo estudio. Para la realización del trabajo de gabinete se utilizó el software Qgis versión 3.22 (www.quantungis.org). Posteriormente se utilizó la herramienta de creación de máscara para obtener el raster que le corresponde al establecimiento. Una vez determinada la máscara, mediante la herramienta Clip raster by mask layer se obtuvo la altimetría del establecimiento con valores entre 80 y 92 m. Se obtuvo un Modelo Digital de Elevación (DEM) del establecimiento y mediante la herramienta Reclassify for table se determinaron tres clases utilizando los siguientes rangos de altimetría: Clase 1, < 81 msnm; Clase 2, 81- 88 msnm; Clase 3, < 88 msnm. Se seleccionó la zona de altimetría media "clase 2", donde los suelos fueron clasificados como Hapludoles énticos, pertenecientes a la Serie Bolívar según las cartas de suelo 1:50.000 de la Provincia de Buenos Aires (INTA - Instituto de Suelos – CIRN, 2023), y se superpuso un vector de uso del suelo al mapa de zonas, considerando los siguientes manejos:

1. Agrícola Convencional (AC) (Tabla 1)
2. Agrícola agroecológico (AA) (Tabla 2)
3. Pastura polifítica (Pa) establecido como sistema de referencia (Tabla 3)

Tabla 1. Secuencia de cultivos, labores, insumos, destino de la producción y rinde desde el año 2019 al 2022 para agricultura convencional (AC).**Table 1.** Crops sequences, cultural management, inputs, product destination and yield from 2019 to 2022 for conventional agriculture (AC)

Fecha	Cultivo	Labor	AC	
			Insumos	Producto/ Rinde
2019	Trigo	Siembra directa	120 kg/ha	Picado 22000 kg/ha MV
		Fertilización	MAP (80 kg/ha) Urea (105 kg/ha)	
		Aplicaciones	Fungicidas, herbicidas, insecticidas	
	Maíz	Siembra directa	60000 pl/ha	Picado 25000 kg/ha MV
		Fertilización	MAP (80 kg/ha) Urea (100 kg/ha)	
		Aplicaciones	Fungicidas, herbicidas, insecticidas	
2020	Centeno	Siembra directa	60 kg/ha	Rollos 14
		Fertilización	MAP (100 kg/ha)	
		Aplicaciones	Fungicidas, herbicidas, insecticidas	
	Soja	Siembra directa	100 kg/ha	Grano 1216 kg/ha
		Fertilización	MAP (40 kg/ha)	
		Aplicaciones	Fungicidas, herbicidas, insecticidas	
2021	Avena y Vicia	Siembra directa	25 kg/ha avena; 25 kg/ha vicia	Picado 20000 kg/ha MV
		Fertilización	MAP (80 kg/ha)	
		Aplicaciones	Herbicidas	
	Maíz	Siembra directa	65000 pl/ha	Grano 7305 kg/ha
		Fertilización	MAP (80 kg/ha) SolMix (400 l/ha)	
		Aplicaciones	Fungicidas, herbicidas, insecticidas	
2022	Centeno	Siembra al voleo	135 kg/ha	Forraje 6000 kg/ha MS
	Soja	Siembra directa	85 kg/ha	Grano 1436 kg/ha
		Fertilización	MAP (85 kg/ha)	
		Aplicaciones	Fungicidas, herbicidas, insecticidas	

Tabla 2. Secuencia de cultivos, labores, insumos, destino de la producción y rinde desde el año 2019 al 2022 para agricultura agroecológica (AA).**Table 2.** Crops sequences, cultural management, inputs, products destination and yield from 2019 to 2022 for agroecological agriculture (AA).

Fecha	Cultivo	Labor	AA	
			Insumos	Producto/ Rinde
2019	Vicia villosa	Siembra directa	400 kg/ha	Semilla 400 kg/ha
		Fertilización	MAP (50 kg/ha)	
2020	Girasol, Maíz, Moha y Soja	Siembra	3 kg/ha; 25 kg/ha; 10 kg/ha; 25 kg/ha (respectivamente)	Forraje 6000 kg/ha MS
	Vicia villosa	Siembra	30 kg/ha	Cultivo de cobertura
	Maíz	Siembra directa	60000 pl/ha	Forraje 6000 kg/ha MS
		Fertilización	MAP (50 kg/ha)	
2021	Centeno	Rastra de discos/ Rolo	-	Grano 1413 kg/ha
		Siembra		
2022	Girasol y soja	Rastra de discos/ Rolo	-	Grano 1295 kg/ha
		Siembra		
	Centeno	Siembra	135 kg/ha	Forraje 2500 kg/ha MS
		Rolado	-	
Soja	Siembra directa	160 kg/ha	Forraje 2500 kg/ha MS	

Tabla 3. Secuencia de cultivos, labores, insumos, destino de la producción y rinde desde el año 2018 al 2022 para pastura polifítica (Pa).

Table 3. Crops sequences, cultural management, inputs, products destination and yield from 2019 to 2022 for multispecies pasture (Pa).

Pa				
Fecha	Cultivo	Labor	Insumos	Producto/ Rinde
2018	Pastura polifítica	Labranza convencional y Siembra	8 kg/ha alfalfa;	Forraje 6000 kg/ha MS
			8 kg/ha pasto ovillo;	
			7 kg/ha trebol rojo;	
			0,5 kg/ha trebol blanco;	
			7 kg/ha ryegrass;	
			3 kg/ha cebadilla	
	Fertilización	MAP (50 kg/ha)		

Protocolo de muestreo y evaluación visual de la calidad del suelo

Para la determinación de las variables edáficas y la evaluación visual de la calidad del suelo se siguió el protocolo propuesto por Noellemeyer et al. (2024). Tal como indica el mismo, se determinaron ambientes homogéneos en calidad y manejo del suelo para reducir la variabilidad de los parámetros edáficos. Posteriormente, se procedió a la distribución de los puntos de muestreo y su georreferenciación, definiéndose cinco puntos en cada una de las tres situaciones de manejo, en los cuales se realizó la evaluación visual de la calidad del suelo de acuerdo con Noellemeyer et al. (2021). Se abrió una calicata donde se realizó la evaluación visual de los 12 indicadores de calidad de suelo que figuran en la guía: textura, estructura, porosidad, color, compactación, profundidad potencial potencial de enraizamiento, encharcamiento, moteados, erosión eólica/hídrica, presencia de lombrices, costra/cobertura vegetal y salinidad/alcalinidad. Cada uno de estos indicadores se calificó con un valor entre 2 (condición buena) y 0 (condición pobre), que luego fue ponderado tal como lo define el procedimiento. Con la sumatoria de los indicadores ponderados se llegó a un puntaje final, con el cual se obtuvo un Índice de Calidad del Suelo, considerado como pobre (<30), moderado (30-45) o bueno (>45). Por otro lado, en cada uno de estos puntos se tomaron muestras compuestas por 8 submuestras en las profundidades de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm para realizar las determinaciones que se detallan en el siguiente apartado.

Determinaciones fisicoquímicas

Se determinó el contenido de carbono orgánico (CO) mediante la técnica de Walkley y Black (IRAM-SAGyP 29571-2), textura por el método del Hidrómetro de Bouyoucos (ISO 17892-4), P extractable (Pe) mediante el método de Bray-Kurtz N°1 (IRAM-SAGyP 29570-1) y se midió potenciométricamente el pH en una relación suelo: agua de 1:2,5 (IRAM-SAGyP 29574). Además, se tomaron tres muestras de 0-10 cm y de 10-20 cm de profundidad, por sitio de muestro, para determinar densidad aparente (Dap) mediante el método del cilindro. Se calculó el Índice de Materia Orgánica (IMO) (Quiroga et al., 2006) como el cociente entre el contenido de materia orgánica y el contenido de partículas finas (limo más arcilla). Además, se calculó el stock de carbono por hectárea a través de la siguiente fórmula: $Dap (Mg m^{-3}) * 10.000 m^2 * 0.10 m * C (g kg^{-1}) / 1000$.

Análisis estadístico

Se utilizó el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2020) y se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) mediante el Test de Tukey con un valor $P < 0,05$ para comparar los tres manejos, previa comprobación de los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia. Se realizó un análisis de correlación entre las variables edáficas estudiadas, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson e indicando el nivel de significancia en cada caso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, el manejo tuvo influencia sólo en los primeros 10 cm del suelo, similar a lo hallado por otros autores que también observaron cambios en los estratos más superficiales (Aparicio et al., 2018; Fernández et al., 2020; Frasier et al., 2016). En este estrato se determinó una densidad aparente significativamente menor en AA respecto a AC y Pa (Tabla 4). Otros autores han documentado una mejora en la fertilidad en sistemas en transición agroecológica, hallando también disminuciones en la densidad aparente e incrementos en el contenido de materia orgánica (Aparicio et al., 2018), como también se observó al comparar AA con AC. En el manejo AA, además, el uso en algunas ocasiones de la rastra de discos puede haber generado una disminución de la densidad aparente, respecto a AC donde se realiza siembra directa y a Pa, donde el pisoteo animal podría haber provocado una densificación superficial. Respecto al contenido de carbono orgánico, el manejo agroecológico conduce a un aumento en las actividades de enzimas involucradas en el ciclo del carbono, en el carbono de la biomasa microbiana, y en la diversidad y riqueza de la comunidad bacteriana, indicando un uso más eficiente del carbono en estos sistemas (Ortiz et al., 2023). La diversidad de especies tanto en el manejo AA como en Pa sería un factor clave para la mejora en la calidad del suelo y la sostenibilidad de los sistemas. Por ejemplo, la combinación de leguminosas con cereales reduce la competencia interespecífica al mejorar los procesos de complementariedad/ facilitación, y promueven la abundancia y diversidad microbiana, mejorando así la explotación de los recursos (Frasier et al., 2016). El IMO ha sido desarrollado como un indicador de degradación del suelo para la región pampeana (Quiroga et al., 2006), y resulta de utilidad para comparar niveles de materia orgánica, ya que permite independizarse de la textura, expresando el contenido de materia orgánica por unidad de partículas finas (arcilla más limo), ya que el secuestro de carbono está condicionado por el tipo de suelo (Frasier et al., 2019; Mao et al., 2024). En este caso, el IMO logró detectar una influencia del manejo diferenciando AC de AA y Pa con valores de IMO promedio de 0-20 cm en AA de 5,6 (DE= 0,6) y en Pa de 5,9 (DE= 0,6), los cuales fueron superiores al valor umbral (4,5) a partir del cual se considera que el suelo se halla en una buena condición. Si bien en AC el promedio de 0-20 cm arrojó un valor significativamente menor (4,4; DE=0,5), este fue cercano al umbral. La inclusión de pasturas en la rotación contribuye de manera significativa sobre las propiedades estructurales determinantes de la calidad del suelo, mejorando su fertilidad física y biológica (Fernández et al., 2021). Si bien queda en evidencia la mejora en la calidad del suelo en AA y Pa, en los niveles de fósforo no se observó la misma tendencia, hallándose en los primeros 10 cm valores más altos en AC respecto a AA y Pa, asociándose a la mayor tasa de aplicación de fertilizantes fosforados en AC. Sin embargo, en los tres casos, los niveles de Pe se hallaron por encima de los valores umbrales necesario para los cultivos representativos de la zona.

Tabla 4. Contenido de arcilla, limo, arena, densidad aparente (Dap), carbono orgánico (CO), P Bray- Kurtz 1 (Pe), pH, indicador de materia orgánica (IMO) y stock de carbono en agricultura Agroecológica (AA), agricultura Convencional (AC) y pastura polifítica (Pa) en dos profundidades (0-10 cm y 10-20 cm).

Table 4. Clay, silt and sand contents, bulk density (Dap), organic carbon content (CO), P Bray- Kurtz 1 (Pe), pH, organic matter indicator (IMO), and carbon stock under agroecological agriculture (AA), conventional agriculture (AC) and multispecies pasture (Pa) at two depths (0-10 and 10-20 cm).

Variables edáficas/Manejo	AA	AC	Pa	AA	AC	Pa
		0-10 cm			10-20 cm	
Arcilla (g kg ⁻¹)	92a	96a	33b	100a	112a	40b
Limo (g kg ⁻¹)	420a	396a	413a	412a	396ab	409a
Arena (g kg ⁻¹)	487a	507a	552a	487a	491a	549a
Dap (Mg m ⁻³)	1,08b	1,16a	1,14a	1,23a	1,27a	1,24a
CO (g kg ⁻¹)	20,5a	16,1b	17,8ab	12,7a	9,8a	12,9a
Pe (mg kg ⁻¹)	42,1b	52,7a	40,3b	17,7a	18,5a	17,1a
pH	5,8a	5,6a	5,6a	5,9a	6,3a	6,0a
IMO	6,9a	5,6 b	6,8a	4,3a	3,3b	5,0a
Stock de C (Mg ha ⁻¹)	22,2a	18,6a	20,0a	24,0a	19,0a	21,3a

Letras diferentes indican diferencias significativas entre AA, AC y Pa, para cada profundidad (P< 0,05)

Different letters indicate significant differences between AA, AC and Pa for each depth (P<0.05).

La metodología de evaluación visual de la calidad del suelo permitió diferenciar el manejo AA y Pa del AC (Figura 2).



Figura 2. Imágenes de la evaluación visual bajo los tres manejos. A - agricultura agroecológica, B - agricultura convencional, C - pastura polifítica.

Figure 2. Images of the visual evaluation under all three systems. A -agroecological agriculture, B - conventional agriculture, C - multispecies pasture.

Los valores de la evaluación visual (Tabla 5) arrojaron diferencias significativas entre los manejos, obteniendo una calificación “buena” tanto para AA como para Pa y “moderada” para AC. La mayoría de los indicadores presentaron un valor superior a 1, lo cual indica condiciones de calidad de suelo de moderadas a buenas, excepto en el indicador de lombrices, en el cual todos se acercaron a la condición pobre. El indicador IMO presentó una correlación significativa ($r = 0,60$) con el puntaje final de evaluación visual, similar a lo hallado por Noellemeyer et al. (2024). Los indicadores que mejor diferenciaron el manejo AA y Pa del AC fueron estructura, porosidad, color y compactación, los cuales están asociados al contenido de MO del suelo. Quiroga et al. (2017) ponen en evidencia la importante influencia que la MO posee sobre la sostenibilidad de los suelos al incidir sobre propiedades físicas como densidad aparente y la susceptibilidad a la compactación. El indicador de estructura registró diferencias significativas al comparar los sitios AA y Pa con AC, observándose en los dos primeros una estructura en bloques subangulares con presencia de raíces, mientras que, en AC, se observó una estructura en bloques angulares, con agregados que mostraron caras más lisas y menor presencia de raíces. El indicador de porosidad siguió una tendencia muy similar, con valores altos en AA y Pa donde los agregados mostraron una mayor presencia de macroporos, respecto a AC, donde los agregados se vieron más compactos.

Tabla 5. Puntaje de evaluación visual de los indicadores de calidad de suelo, puntaje final y condición de calidad de suelo en los manejos agrícola agroecológico (AA), agrícola convencional (AC) y pastura polifítica (Pa).

Table 5. Visual evaluation score of soil quality, final score and soil quality condition under agroecological agriculture (AA), conventional agriculture (AC) and multi-species pasture (Pa).

Indicadores de evaluación visual	Manejo		
	AA	AC	Pa
Textura	1,8a	1,8a	1,5b
Estructura	1,8a	0,9b	1,6a
Porosidad	1,8a	0,8b	1,6a
Color	1,4a	1,0b	1,5a
Moteados	1,6a	1,6a	1,8a
Lombrices	0,5a	0,4a	0,3a
Profundidad potencial	1,7a	1,7a	1,9a
Compactación	1,8a	1,3b	1,6a
Encharcamiento	1,8a	1,2b	1,8a
Costra/cobertura	1,7a	1,1b	1,9a
Erosión eólica/hídrica	1,8a	1,4b	1,8a
Salinidad/alcalinidad	1,8a	1,7a	1,7a
Puntaje de Evaluación visual	48,3a	37,6b	46,2a
Índice de calidad	Bueno	Moderado	Bueno

Letras diferentes indican diferencias significativas entre AA, AC y Pa ($p < 0,05$).

Different letters indicate significant differences between AA, AC, and Pa ($p < 0.05$).

Endale et al. (2024) sugieren que las técnicas visuales pueden brindar una evaluación integral de la compactación del suelo. En este caso, el indicador de compactación detectó diferencias entre los manejos, donde se observaron los puntajes más altos en AA y Pa al no observarse presencia de capas duras, mientras que en AC se detectó una capa de mayor dureza entre los 20 y los 32 cm de profundidad que, si bien esta no pareció ser un problema grave para el desarrollo radicular ya que se observaron raíces por debajo de la misa, resultó en un puntaje significativamente menor (Tabla 5). En el mismo sentido, el indicador de color, el cual puede asociarse al proceso de melanización y al nivel de materia orgánica, obtuvo puntajes de moderados a buenos en AA y Pa, mientras que en AC fue calificado como moderado. Mueller et al. (2013) encontraron correlaciones significativas entre indicadores visuales de estructura y el rendimiento de los cultivos, así como otros autores también confirman una alta correlación entre indicadores visuales de estructura con propiedades físicas del suelo (Mutuku et al., 2021).

Por otro lado, los indicadores que pueden observarse a nivel de superficie del suelo, como costra/cobertura, erosión hídrica/eólica y encharcamiento, siguieron la misma tendencia, diferenciando AA y Pa de AC. Los indicadores moteados, profundidad potencial y salinidad/alcalinidad no registraron diferencias significativas entre manejos, con puntajes de moderados a buenos, lo cual confirma que el ambiente de altimetría media seleccionado es homogéneo en cuanto a la profundidad del perfil y la incidencia de la capa freática que sí pudo observarse en la zona descartada de menor altimetría.

El indicador IMO se correlacionó con estos indicadores visuales (Tabla 6). Valores más altos de IMO, estuvieron asociados con mejores puntajes de estructura y color, ambas propiedades muy ligadas al contenido de materia orgánica del suelo y con indicadores observables a nivel de superficie como encharcamiento, costra/cobertura y erosión. El nivel de cobertura más alto tanto en AA como en Pa, podría indicar también un mayor aporte de raíces, clave para el secuestro de carbono (Frasier et al., 2022).

Tabla 6. Coeficientes de correlación de Pearson y probabilidad asociada entre variables edáficas e indicadores visuales de la calidad del suelo.**Table 6.** Pearson's correlation coefficients and associated probability between soil variables and visual indicators of soil quality.

Indicadores visuales/ Variables edáficas	IMO	Dap	Arcilla	Limo	Arena	CO	Pe	pH
Puntaje de evaluación visual	0,60*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Textura	0,48*	ns	0,80**	ns	-0,88**	ns	ns	ns
Estructura	0,49*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Porosidad	ns	ns	0,78*	ns	ns	ns	ns	ns
Color	0,60*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Moteados	ns	ns	-0,68*	ns	0,68*	ns	ns	ns
Lombrices	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Prof. potencial	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Compactación	ns	-0,46*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Encharcamiento	0,72**	-0,45*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Costra/Cobertura	0,65**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Erosión	0,62*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Salinidad/Alcalinidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns: no significativo; * P < 0,5; ** P < 0,001

Índice de materia orgánica (IMO); Densidad aparente (Dap); CO (carbono orgánico); P Bray Kurtz 1 (Pe)

La macrofauna del suelo, particularmente las lombrices, tiene un importante rol en el ciclo del carbono y la mejora de la estructura del suelo (Escudero et al., 2023; Lavelle et al., 2020). El manejo del suelo, la humedad y la ubicación geográfica tienen influencia sobre la macrofauna (Domínguez et al., 2018). El indicador de lombrices presentó los puntajes más bajos en los tres manejos, sin lograr distinguirlos, a diferencia de la mayoría de los indicadores. La baja cantidad de lombrices observada pudo estar limitada por la humedad del suelo, que como se mencionó anteriormente es un factor determinante sobre la presencia de la macrofauna. Por otro lado, Mueller et al. (2009) encontraron que indicadores biológicos como la presencia de lombrices eran menos confiables. Sin embargo, existen trabajos que han documentado un efecto del manejo sobre la población de lombrices. Por ejemplo, Domínguez et al. (2024) hallaron, en la región pampeana, ocho veces más biomasa de lombrices en un suelo con manejo agroecológico y dos veces más en una rotación con pasturas, que en un suelo bajo agricultura convencional o industrial. El aumento en la abundancia de lombrices promueve una mayor producción de agregados biogénicos que son más ricos en materia orgánica y más estables en agua que el suelo circundante (Bedano et al., 2019). Incluir la observación de este tipo de agregados, podría mejorar la valoración de este indicador.

CONCLUSIONES

La metodología de evaluación visual de la calidad del suelo permitió diferenciar el manejo AA y Pa, de AC, lo cual además se vio reflejado en algunas propiedades edáficas como la densidad aparente, el CO y el IMO, constituyendo de esta manera una herramienta sencilla y práctica para la evaluación de la condición del suelo. Sin embargo, el indicador de lombrices sería un punto a tener en cuenta para ajustar la metodología, por ejemplo, a través de la observación y valoración de la presencia de agregados biogénicos. En cuanto a la condición del suelo evaluado a partir de la observación a campo y de indicadores como el IMO, el manejo agrícola agroecológico no se diferenció del manejo con pasturas polifíticas destinado a ganadería, a partir de lo cual podría concluirse que ambos sistemas contribuyen de manera similar al manejo sustentable del suelo.

REFERENCIAS

- Altieri, M. A., y Toledo, V. M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587–612. <https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947>
- Aparicio, V. C., Zamora, M., Barbera, A., Castro-Franco, M., Domenech, M., De Gerónimo, E., y Costa, J. L. (2018). Industrial agriculture and agroecological transition systems: A comparative analysis of productivity results, organic matter and glyphosate in soil. *Agricultural Systems*, 167(November 2017), 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.09.005>
- Bedano, J. C., Vaquero, F., Domínguez, A., Rodríguez, M. P., Wall, L., y Lavelle, P. (2019). Earthworms contribute to ecosystem process in no-till systems with high crop rotation intensity in Argentina. *Acta Oecologica*, 98, 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.05.003>
- Bezner Kerr, R., Madsen, S., Stüber, M., Liebert, J., Enloe, S., Borghino, N., Parros, P., Mutyambai, D. M., Prudhon, M., y Wezel, A. (2021). Can agroecology improve food security and nutrition? A review. *Global Food Security*, 29, 100540. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100540>
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Flesskens, L., Geissen, V., Kuypers, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., y Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2018.01.030>
- Costanza, R., Arge, R., Groot, R. De, Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Neill, R. V. O., Paruelo, J., Raskin, R. G., y Sutton, P. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(May), 253–260. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(98\)00020-2](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00020-2)
- Di Rienzo, J. A. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G. G., González, L., Tablada, M., Robledo, C. W. W., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. W. (2020). *Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*.
- Domínguez, A., Jiménez, J. J., Ortíz, C. E., y Bedano, J. C. (2018). Soil macrofauna diversity as a key element for building sustainable agriculture in Argentine Pampas. *Acta Oecologica*, 92, 102–116. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2018.08.012>
- Domínguez, A., Escudero, H. J., Rodríguez, M. P., Ortíz, C. E., Arolfo, R. V., y Bedano, J. C. (2024). Agroecology and organic farming foster soil health by promoting soil fauna. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 22061–22084. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02885-4>
- Endale, T., Diels, J., Tsegaye, D., Kasaye, A., Gulie, G., Leta, G., Olivier, D., Belayneh, L., y Verdoodt, A. (2024). Applicability of visual and analytical soil quality indicators in environmentally diverse catchments of the Ethiopian Rift. *Soil and Tillage Research*, 240, 106072. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106072>
- Escudero, H. J., Domínguez, A., y Bedano, J. C. (2023). Large-scale ecologically-based farming systems foster earthworm communities and their contribution to ecosystem processes. *Applied Soil Ecology*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104800>
- Fernández, R., Belmonte, V., Quiroga, A., Lobartini, C., y Noellemeyer, E. (2021). Land-use change affects soil hydro-physical properties in Mollisols of semiarid Central Argentina. *Geoderma Regional*, 25, e00394. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00394>
- Fernández, R., Ezequiel Furch, N., Bissolino, M., Frasier, I., Scherger, E. D., y Quiroga, A. R. (2020). Effect of perennial pastures in physical and biological fertility in mollisols of the semiarid Pampas region. *Ciencia del Suelo (Argentina)*, 38(1), 133–148.
- Frasier, I., Noellemeyer, E., Gili, A., Florencia Gómez, M., Uhaldegaray, M., Quiroga, A., Fernandez, R., y Alvarez, L. (2022). Soil type affects biological phosphorus cycling more than soil management. *Geoderma*, 426, 116092. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2022.116092>
- Frasier, I., Quiroga, A., Fernández, R., Álvarez, C., Gómez, F., Scherger, E., Gili, A., y Noellemeyer, E. (2019). Soil type, land-use and -management as drivers of root-C inputs and soil C storage in the semiarid pampa region, Argentina. *Soil and Tillage Research*, 192, 134–143. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2019.05.010>
- Frasier, I., Noellemeyer, E., Figuerola, E., Erijman, L., Permingeat, H., y Quiroga, A. (2016). High quality residues from cover crops favor changes in microbial community and enhance C and N sequestration. *Global Ecology and Conservation*, 6, 242–256. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.03.009>
- INTA, Instituto de Suelos, CIRN. (2023). *Cartas de Suelos República Argentina - Provincia de Buenos Aires (2.0) [Data set]*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7837681>
- Iturralde, R. S. (2020). *¿Del agronegocio a la agroecología? Un estudio de caso en la ciudad de Trenque Lauquen, provincia de Buenos Aires, sobre la implementación de una ordenanza municipal de regulación general de agroquímicos [Tesis Doctoral]*. Universidad de Buenos Aires.
- Lavelle, P., Spain, A., Fonte, S., Bedano, J. C., Blanchart, E., Galindo, V., Grimaldi, M., Jimenez, J. J., Velasquez, E., y Zangerlé, A. (2020). Soil aggregation, ecosystem engineers and the C cycle. *Acta Oecologica*, 105. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103561>
- Malone, L. C., Ruark, M. D., Kucharik, C. J., Whitman, T., y Conley, S. P. (2023). Linking soil health indicators to management history and soybean yield. *Field Crops Research*, 297, 108951. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108951>
- Mao, H.-R., Cotrufo, M. F., Hart, S. C., Sullivan, B. W., Zhu, X., Zhang, J., Liang, C., y Zhu, M. (2024). Dual role of silt and clay in the formation and accrual of stabilized soil organic carbon. *Soil Biology and Biochemistry*, 192, 109390. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109390>
- Mueller, L., Shepherd, G., Schindler, U., Ball, B. C., Munkholm, L. J., Hennings, V., Smolentseva, E., Rukhovich, O., Lukin, S., y Hu, C. (2013). Evaluation of soil structure in the framework of an overall soil quality rating. *Soil and Tillage Research*, 127, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.03.002>

- Mueller, L., Kay, B. D., Hu, C., Li, Y., Schindler, U., Behrendt, A., Shepherd, T. G., y Ball, B. C. (2009). Visual assessment of soil structure: Evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany. Part I: Comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. *Soil and Tillage Research*, 103(1), 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.12.015>
- Mutuku, E. A., Vanlauwe, B., Roobroeck, D., Boeckx, P., y Cornelis, W. M. (2021). Visual soil examination and evaluation in the sub-humid and semi-arid regions of Kenya. *Soil and Tillage Research*, 213, 105135. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105135>
- Noellemeyer, E., Álvarez, L., Álvarez, C., Dillchneider, A., Farrell, M., Fernández, R., Buss, E. F., Frasier, I., Gaggioli, C., Gili, A., Gómez, F., Lara, G., Leizica, E., Lorda, M., Quiroga, A., y Rainhart, L. (2024). From science to practice: The AGSUS protocol for monitoring and certification of sustainable soil management and carbon sequestration. *Soil and Tillage Research*, 241, 106102. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106102>
- Noellemeyer, E., Álvarez, L., Leizica, E., Gómez, F., Fernández, R., Frasier, I., Álvarez, C., y Quiroga, A. (2021). *Guía para la evaluación visual de la calidad del suelo*. EdUNLPam.
- Ortiz, J., Faggioli, V., Zamora, M., Boccolini, M., Lorenzon, C., Pegoraro, V., y Gabbarini, L. (2023). Crop diversity improves carbon, nitrogen and soil biological functions in an agroecological system. *Ciencia del Suelo*, 41(2), 144-156.
- Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeyer, E., y Peinemann, N. (2006). Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research*, 90(1–2), 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.08.019>
- Robinson, D. A., Hockley, N., Cooper, D. M., Emmett, B. a., Keith, a. M., Lebron, I., Reynolds, B., Tipping, E., Tye, a. M., Watts, C. W., Whalley, W. R., Black, H. I. J., Warren, G. P., y Robinson, J. S. (2012). Natural capital and ecosystem services, developing an appropriate soils framework as a basis for valuation. *Soil Biology and Biochemistry*, 57(September), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.09.008>
- Sainz Rozas, H., Eyherabide, M., Larrea, G., Martínez Cuesta, N., Angelini, H., Reussi Calvo, N y Wyngaard, N. (2019). Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. En: F. O. García (ed.) *Simposio Fertilidad 2019*. Fertilizar, Rosario.