



FACULTAD DE AGRONOMÍA
Universidad Nacional de La Pampa

EVALUACIÓN VISUAL DE LA CALIDAD DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

“Trabajo final de graduación presentado para obtener el título de Ingeniero/a Agrónomo/a”

Autores: Fritz, Facundo José; Neira Herrera, Josefina

Directora: Dra. Alvarez, María Lucila
Cátedra de Edafología y Manejo de suelos

Co-directora: Ing. RNMA. Gómez, María Florencia
Becaria doctoral CONICET

Evaluadoras:

Dra. Fernández, Romina
Cátedra de Manejo de Suelos
Dra. Noellemeyer, Elke
Cátedra de Edafología y Manejo de Suelos

FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Santa Rosa (La Pampa) - Argentina 2024

INDICE

Introducción	4
Hipótesis general	6
Hipótesis específicas	6
Objetivo	6
Materiales y métodos.....	7
Área de estudio	7
Determinación y descripción de los ambientes	8
Protocolo de muestreo y Evaluación Visual de la Calidad del Suelo	9
Determinaciones físico-químicas.....	10
Análisis estadístico.....	10
Resultados y discusión.....	10
Conclusiones	16
Bibliografía	17
Anexo.....	21

RESUMEN

Los métodos de evaluación visual son herramientas que pueden proporcionar información semi-cuantitativa rápida sobre el estado del suelo. El objetivo del trabajo fue determinar la calidad y “salud” de suelos bajo distintos sistemas de manejo a través de la evaluación visual, y analizar cómo esta se relaciona con otros indicadores y propiedades edáficas. El estudio se llevó a cabo en un establecimiento agropecuario cercano a la localidad de 30 de Agosto (Buenos Aires). Se determinaron tres ambientes: Agrícola agroecológico (AA), Agrícola Convencional (AC), y Pastura polifítica (Pa). 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 en AA y Pa fue superior a 4,5 indicando una buena condición, mientras que en AC fue inferior. La metodología de evaluación visual permitió diferenciar AA y Pa de AC y los indicadores visuales que mejor lo hicieron fueron estructura, porosidad, color y compactación. En general, AA no se diferenció Pa, por lo cual podría concluirse que ambos sistemas contribuyen al manejo sustentable del suelo. La metodología de evaluación visual resultó en una herramienta útil que permitió diferenciar sistemas de manejo en la misma línea que otros indicadores.

Palabras clave: agroecología, agricultura, pasturas polifíticas, índice de materia orgánica

ABSTRACT

Visual assessment methods are tools that can provide rapid semi-quantitative information on soil condition. The objective of this research was to determine soils quality and health, under different management systems through visual evaluation and analyze how this relates to other indicators and edaphic properties. The study was carried out in an agricultural establishment near the town of 30 de Agosto (Buenos Aires). Three zones were determined: Agroecological Agricultural (AA), Conventional Agricultural (AC), and Polyphytic Pasture (Pa). AA presented

a lower bulk density value and higher organic matter content than AC in 0-10 cm. The organic matter index in AA and Pa was greater than 4.5, indicating a good condition. In the same sense, the visual evaluation methodology made it possible to differentiate AA and Pa from AC and the visual indicators that did so best were structure, porosity, color, and compaction. In general, AA did not differ from Pa, so it could be concluded that both systems contribute to sustainable soil management. The visual evaluation methodology resulted in a useful tool that allowed differentiation of management systems along the same lines as other indicators.

Key words: agroecology, agriculture, polyphytic 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 (Constanza 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 (Arshad & Martin, 2002). 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).

En las últimas décadas, en la región pampeana la intensificación del uso agrícola ha generado diversas alteraciones en las propiedades de los suelos como disminución del contenido de carbono orgánico total (COT), disminución de la disponibilidad de nutrientes y cambios en la estructura (Ferrerías et al., 2007, Sainz Rozas et. al. 2019). La adopción de la siembra directa resultó en una alternativa para mitigar la degradación de los suelos, mejorando diferentes

propiedades como por ejemplo la estabilidad estructural, sin embargo, no siempre contribuye en una evolución positiva (Strudley et al., 2008; Schmidt & Amiotti, 2015). La diversificación del sistema a través de la rotación de cultivos y sobre todo de la inclusión de pasturas es una alternativa que permite recuperar o mantener la calidad del suelo (Fernández et al., 2020). Otra alternativa más radical es la transición de la “agricultura industrial” a la “agroecología” (Bezner Kerr et al., 2021, 2023). 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 de plantas 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 (Zhang et al., 2024). Las metodologías de evaluación visual del suelo han ganado popularidad en los últimos años, incrementándose su uso en agricultura, ya que son herramientas factibles que pueden proporcionar información semi- cuantitativa rápida sobre el estado de la calidad física y la fertilidad del suelo (Ball et al., 2017; van Leeuwen et al., 2018). Noellemeyer et al. (2021) desarrollaron una guía que establece un método rápido y simple para evaluar la condición del suelo e identificar limitantes para el rendimiento de los cultivos, donde la sensibilidad de los indicadores proporcionaría una herramienta de seguimiento y monitoreo de la condición del suelo. Por otro lado, se busca que

estos indicadores sencillos de evaluar guarden una cierta correlación con otras propiedades del suelo que dan cuenta de su calidad, como el indicador de materia orgánica (Quiroga et al, 2006).

Por este motivo, en el presente trabajo se tuvieron en cuenta tres situaciones de manejo, dentro de las cuales se incluyó una transición agroecológica, con el objetivo de evaluar su efecto sobre la calidad del suelo, a través de una metodología de evaluación visual y, al mismo tiempo, evaluar la correlación entre esta y algunas propiedades edáficas determinadas en el laboratorio.

HIPÓTESIS GENERAL

El método de Evaluación Visual de la Calidad del Suelo refleja la condición del mismo y permite distinguir sistemas de manejo.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. Los suelos bajo uso agrícola y manejo agroecológico se encuentran en un mejor “estado de salud” que los suelos agrícolas con manejo convencional.
2. Los indicadores visuales de calidad del suelo se correlacionan con otras propiedades edáficas determinadas en laboratorio y con el índice de materia orgánica.

OBJETIVO

Determinar la calidad y el “estado de salud” de suelos bajo distintos sistemas de manejo a través de la evaluación visual de la calidad del suelo y analizar cómo esta se relaciona con otros indicadores y propiedades edáficas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo se desarrolló en el partido de Trenque Lauquen, Provincia de 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).

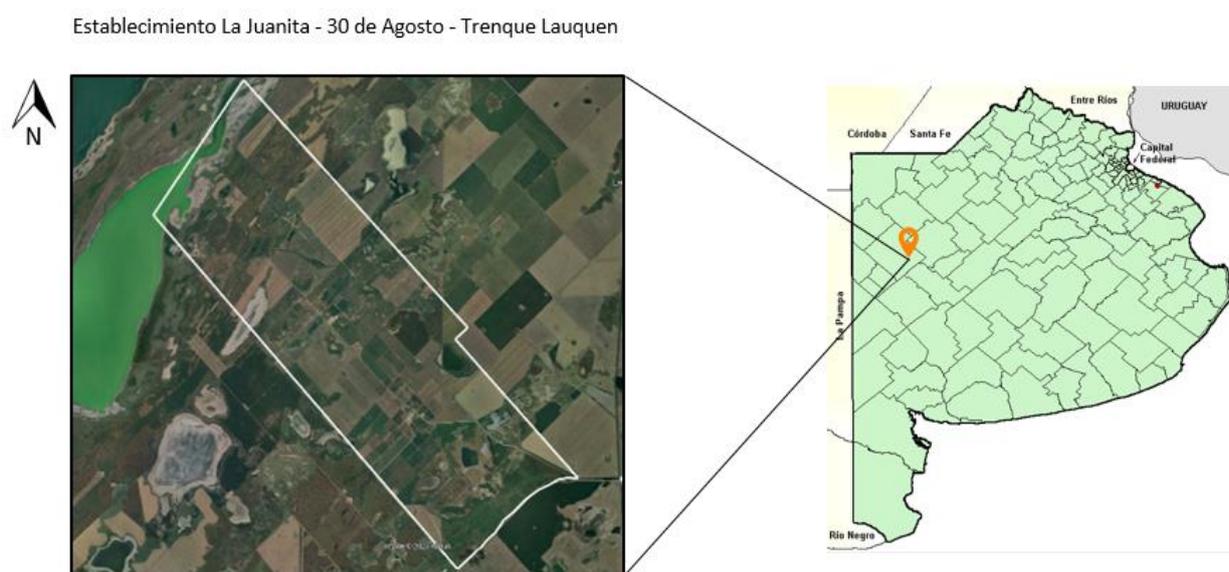


Figura 1. Mapa de la Provincia de Buenos Aires con la ubicación del establecimiento “La Juanita” y delimitación del mismo.

El área corresponde a una región arreica, con suelos predominantemente franco-arenosos, de capacidad de uso agrícola-ganadero en su mayoría. El clima es templado continental, con precipitaciones medias de 900 mm. En cuanto a las temperaturas, la mínima media es de $9,5^{\circ}\text{C}$ y la máxima media de $23,6^{\circ}\text{C}$. El periodo libre de heladas es de 160 días, con fecha de primera helada del 1 al 15 de mayo y fecha de última helada 1 al 15 de septiembre.

El establecimiento agropecuario se dedica a la producción agrícola y ganadera, y consta de una superficie de 4.240 hectáreas, de las cuales se utiliza el 40% para agricultura y cerca del 60%

se destina a ganadería. Se realiza ganadería de carne en ciclo completo (cría, recria y engorde) y actividad lechera, para la cual cuenta con dos tambos con 2000 vacas en producción. A su vez, forma parte del grupo de Cambio Rural “Suelo Vivo”, formado en 2019 e integrado por ocho productores agropecuarios de la localidad. El grupo se creó con la finalidad de transicionar hacia el enfoque teórico y metodológico de la *agroecología*. Desde hace cuatro años se trabajan 710 hectáreas de esta manera.

Determinación y descripción de los ambientes

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.gob.ar mediante la malla 3763-5 que contiene los límites del establecimiento bajo estudio. Esta posee una superficie de 170.000 ha. 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 83 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 m; Clase 2, 81- 88 m; Clase 3, <88 m. Se seleccionó la zona de altimetría media “clase 2” y se superpuso un vector de uso del suelo al mapa de zonas, considerando dos sistemas de manejo (Agroecológico y Convencional) y dos usos de suelo (Pastura y Agricultura). En las tablas 1, 2 y 3 del Anexo se detalla el manejo en cada caso. De esta manera quedaron definidos tres ambientes:

1. Agrícola Convencional (AC) (Tabla 1- Anexo)

2. Agrícola Agroecológico (AA) (Tabla 2- Anexo)

3. Pastura polifítica (Pa) (Tabla 3- Anexo)

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). El mismo tiene por objetivo proveer un marco de referencia y una guía que ordene las actividades que se deben ejecutar para asegurar un programa exitoso de monitoreo, muestreo, medición y certificación de manejo sustentable de suelos y secuestro de carbono en suelos bajo producción agropecuaria de la Región Pampeana Argentina. De manera resumida, este consiste, en primera instancia, en determinar ambientes homogéneos de calidad y manejo del suelo para reducir la variabilidad de los parámetros edáficos. Con los ambientes definidos, se procede a la distribución de los puntos de muestreo y su georreferenciación. En este caso, y de acuerdo con el protocolo, se determinaron cinco puntos en cada uno de los tres ambientes en los cuales se realizó la evaluación visual de la calidad del suelo de acuerdo con Noellemeyer et al. (2021). En primera instancia se debe abrir una calicata donde se realiza una evaluación visual a campo de 12 indicadores de calidad de suelo: textura, estructura, porosidad, color, compactación, profundidad potencial de enraizamiento, encharcamiento, moteados, erosión eólica/hídrica, presencia de lombrices, costra/cobertura vegetal y salinidad/alcalinidad. Cada uno de estos indicadores es calificado con un valor entre 2 (condición buena) y 0 (condición pobre), y luego ponderado según su grado de importancia. Con la sumatoria de los indicadores ponderados se llega a un puntaje final, con el cual se obtiene 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 toman muestras compuestas por 8 sub-muestras 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 físico-químicas

Se determinó el contenido de carbono orgánico (CO) mediante la técnica de Walkley and Black, textura por el método del Hidrómetro de Bouyoucos, P extractable (Pe) mediante el método de Bray-Kurtz N°1 y se midió potenciométricamente el pH en una relación suelo: agua de 1:2,5. Además, se tomaron muestras para determinar densidad aparente (Dap) mediante el método del cilindro. Se calculó el Índice de Materia Orgánica (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. 2016) y se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) mediante el Test de Tukey con un p- valor <0,05 para comparar los tres ambientes. 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 (1,08 Mg m⁻³) respecto a AC (1,16 Mg m⁻³) en 0-10 cm y un mayor contenido de materia orgánica en AA, con 35,5 g kg⁻¹ con respecto a AC con 27,7 g kg⁻¹. 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). 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 (Teixeira et al., 2021). 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 (Duchene et al., 2017). 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 MO, ya que permite independizarse de la textura, expresando el contenido de MO por unidad de partículas finas (arcilla+ 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 en ambas profundidades, diferenciando AC de AA y Pa. Los valores de IMO promedio de 0-20 cm en AA y Pa fueron superiores a 4,5, valor 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 más bajo, este fue de 4,45, cercano al valor 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 (52,7 Mg kg⁻¹), respecto a AA y Pa (42,1 y 40,3 Mg kg⁻¹), respectivamente, asociándose a la mayor tasa de aplicación

de fertilizantes fosforados en AC. Sin embargo, en los tres casos, los niveles de P Bray se hallaron por encima de los valores umbrales de los cultivos representativos de la zona.

Tabla 1. Contenido de arcilla, limo, arena, densidad aparente (Dap), carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO), P Bray Kurtz 1, pH, densidad aparente, indicador de materia orgánica (IMO) y stock de carbono en el ambiente AA, AC y Pa en dos profundidades (0-10 cm y 10-20 cm).

Variables edáficas/Ambiente	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
MO (g kg ⁻¹)	35,5a	27,7b	30,7ab	21,9a	16,9a	22,4a
P (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)	22,19a	18,59a	20,01a	24,03a	19,05a	21,35a

**Letras diferentes indican diferencias significativas entre AA, AC y Pa, para cada profundidad. (p < 0.05).*

La metodología de evaluación visual de la calidad del suelo permitió diferenciar, el manejo AA del AC, obteniendo una calificación “buena” tanto para AA como también para Pa y, “moderada” para AC (Tabla 2). En las figuras 1, 2, 3 y 4 del Anexo pueden observarse imágenes de los indicadores visuales, representativas de cada uno de los tres ambientes. 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 (0,60) con el puntaje final de EV, 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. Estos parámetros están asociados al contenido de MO del suelo y su estado de salud. 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, hallándose valores de 1,8 y 1,6 en los dos primeros, descendiendo a 0,9 en AC. El indicador de porosidad siguió una tendencia muy similar, con valores de 1,8 y 1,6 en AA y Pa, respectivamente, bajando significativamente a 0,8 en AC. 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 con 1,8 y Pa con 1,6, mientras que en AC desciende significativamente a 1,3. 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). En el mismo sentido, el indicador de color obtuvo puntajes más altos en AA con 1,4 y Pa con 1,5, respecto a AC que obtuvo un valor de 1,0. El indicador IMO se correlacionó con estos indicadores visuales (Tabla 3). Valores más altos de IMO, estuvieron asociados con mejores puntajes de textura (0,48), estructura (0,49) y color (0,60). 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. En el caso de

encharcamiento, se observó el mismo patrón, con un puntaje de 1,8 tanto para AA como para Pa, y de 1,2 en AC. De manera similar, el indicador de costra/cobertura registró mayores puntajes en AA (1,7) y Pa (1,9), disminuyendo significativamente en AC (1,1). El indicador de erosión hídrica/eólica siguió la misma tendencia, con puntajes significativamente superiores en AA y Pa, 1,8 en ambos casos, respecto a AC que obtuvo un puntaje de 1,4. El IMO también se asoció positivamente con los indicadores de encharcamiento (0,72), costra/cobertura (0,65) y erosión (0,62). 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). Los indicadores moteados, profundidad de raíces y salinidad/alcalinidad no registraron diferencias significativas entre manejos, con puntajes de moderados a buenos.

La macrofauna del suelo, particularmente las lombrices, tienen 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, hallándose estos entre 0,3 y 0,5, sin lograr distinguirse, a diferencia de la mayoría de los indicadores. Mueller et al. (2009) encontraron que indicadores biológicos como la presencia de lombrices eran indicadores menos confiables. Sin embargo, existen trabajos que han documentado un efecto del manejo sobre la población de lombrices. Por ejemplo Domínguez et al. (2023) 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 como lo llaman estos autores. 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.

Tabla 2. Puntaje de evaluación visual de los indicadores de calidad de suelo (textura, estructura, porosidad, color, moteados, lombrices, profundidad potencial de enraizamiento, compactación, encharcamiento, costra/cobertura, erosión eólica/hídrica, salinidad/alcalinidad), puntaje final y condición de calidad de suelo en los tres ambientes (AA, AC y Pa).

Indicadores de evaluación visual	Ambiente		
	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 de raíces	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 ($p < 0.05$).*

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson y probabilidad asociada entre variables edáficas e indicadores visuales de la calidad del suelo.

Indicadores visuales/ Variables edáficas	IMO	Dap	Arcilla	Limo	Arena	CO	Pe	pH
EV	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. Raíces	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

CONCLUSIONES

La metodología de evaluación visual de la calidad del suelo permitió diferenciar el manejo agroecológico y la pastura de la agricultura convencional, lo cual además se vio reflejado en algunas propiedades del suelo como la densidad aparente, la MO y el IMO, constituyendo de esta manera una herramienta sencilla y práctica, que permite acercar la ciencia a la práctica. 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 al estado de salud del suelo, 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 al manejo sustentable del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

Altieri, M. & V.M. Toledo. 2011. The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies* XX.

Aparicio, V., Zamora, M., Barbera, A., Castro Franco, M., Domenech, M., De Gerónimo, E., & Costa, J. (2018). Industrial agriculture and agroecological transition systems: A comparative analysis of productivity results, organic matter and glyphosate in soil. *Agricultural Systems*, 167, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.09.005>

Arshad, M. A., & Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 153–160. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00252-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00252-3)

Ball, B. C., Guimarães, R. M. L., Cloy, J. M., Hargreaves, P. R., Shepherd, T. G., & McKenzie, B. M. (2017). Visual soil evaluation: A summary of some applications and potential developments for agriculture. *Soil and Tillage Research*, 173, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.006>

Bedano, J. C., Vaquero, F., Domínguez, A., Rodríguez, M. P., Wall, L., & 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., & 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>

Bezner Kerr, R., Postigo, J. C., Smith, P., Cowie, A., Singh, P. K., Rivera-Ferre, M., Tirado-von der Pahlen, M. C., Campbell, D., & Neufeldt, H. (2023). Agroecology as a transformative approach to tackle climatic, food, and ecosystemic crises. In *Current Opinion in Environmental Sustainability* (Vol. 62). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101275>

Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>

Costanza, R., de Groot, R., Farberk, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Suttonkk, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. In *NATURE* (Vol. 387).

Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada y C.W. Robledo. 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Domínguez, A., Escudero, H. J., Rodríguez, M. P., Ortiz, C. E., Arolfo, R. V., & Bedano, J. C. (2023). Agroecology and organic farming foster soil health by promoting soil fauna. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02885-4>

Domínguez, A., Jiménez, J. J., Ortiz, C. E., & 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>

Duchene, O., Vian, J. F., & Celette, F. (2017). Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. In *Agriculture, Ecosystems and Environment* (Vol. 240, pp. 148–161). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.019>

Endale, T., Diels, J., Tsegaye, D., Kasaye, A., Gulie, G., Leta, G., Olivier, D., Belayneh, L., & 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., & 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., Furch, N., Bissolino, M., Frasier, I., Scherger, E., & Quiroga, A. (2020). Efecto de las pasturas perennes en la fertilidad física y biológica en molisoles de la región semiárida pampeana. *Ciencia Del Suelo*, 38, 133–148.

Fernández, R., Lucas, M. M. R., Painemilla, L. de los A., Quiroga, A., Fernández, R., Lucas, M. M. R., Painemilla, L. de los A., & Quiroga, A. (2021). Efecto de las pasturas perennes en la estructura de molisoles, de la región semiárida pampeana. Parte II. *Ciencia Del Suelo*, 39(2), 84–105. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672021000200084&lng=es&nrm=iso&tlng=

Ferreras, L., Magra, G., Besson, P., Kovalevski, E., & Garcia, F. (2007). Physical quality indicators in soils from the Northern Pampa region of Argentina under no till management. *Ciencia Del Suelo*, 25, 159–172.

Frasier, I., Barbero, F., Perez Brandan, C., Gómez, M., Fernández, R., Quiroga, A., Posse, G., Restovich, S., Meriles, J., Serri, D. L., Figuerola, E., Noellemeyer, E., & Vargas-Gil, S. (2022). Roots are the Key for Soil C Restoration: A Comparison of Land Management in the Semiarid Argentinean Pampa. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4312920>

Frasier, I., Quiroga, A., Fernández, R., Álvarez, C., Gómez, F., Scherger, E., Gili, A., & 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., Quiroga, A., & Noellemeyer, E. (2016). Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Science of the Total Environment*, 562, 628–639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.058>

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 doctorado. Universidad de Buenos Aires. 127 pp.

Lavelle, P., Spain, A., Fonte, S., Bedano, J. C., Blanchart, E., Galindo, V., Grimaldi, M., Jimenez, J. J., Velasquez, E., & Zangerlé, A. (2020). Soil aggregation, ecosystem engineers and the C cycle. *Acta Oecologica*, 105. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103561>

Mao, H.-R., Cotrufo, M. F., Hart, S. C., Sullivan, B. W., Zhu, X., Zhang, J., Liang, C., & 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., Kay, B. D., Hu, C., Li, Y., Schindler, U., Behrendt, A., Shepherd, T. G., & 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>

Mueller, L., Shepherd, G., Schindler, U., Ball, B. C., Munkholm, L. J., Hennings, V., Smolentseva, E., Rukhovic, O., Lukin, S., & 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>

Mutuku, E. A., Vanlauwe, B., Roobroeck, D., Boeckx, P., & 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, Elke Johanna; Alvarez, María Lucila; Leizica, Jesús Emmanuel; Gómez, Florencia; Quiroga, Alberto; et al.; Guía para la evaluación visual de la calidad de suelo; Asociación Argentina Ciencia del Suelo; *Nuestro Suelo*; 6; 10-2021; 5-6

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., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106102>

Ortiz, J., Faggioli, V., Zamora, M., Boccolini, M., Lorenzon, C., Pegoraro, V., & Gabbarini, L. (2023). Crop diversity improves carbon, nitrogen and soil biological functions in an agroecological system. In *crop diversity in an agroecological system*. *Cienc. Suelo* (Vol. 41, Issue 2).

Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeyer, E., & 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>

Quiroga, A., Oderiz, J., Uhaldegaray, M., Alvarez, C., Scherger, E., Fernandez, R., & Frasier, I. (2017). Influencia del uso de suelos sobre indicadores físicos de compactación. *Semiárida: Revista de La Facultad de Agronomía UNLPam*, 26(2), 19–26. [https://doi.org/10.19137/semiarida.2016\(02\).19-26](https://doi.org/10.19137/semiarida.2016(02).19-26)

Sainz Rozas H; M Eyherabide; G Larrea; N Martínez Cuesta; H Angelini; N Reussi Calvo & N Wyngaard. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. En: Simposio Fertilidad 2019. Fertilizar, Rosario, Mayo 2019.

Schmidt, E., & Amiotti, N. (2015). Propiedades edáficas superficiales en sistemas de agricultura de conservación en la región pampeana semiárida sur. *Ciencia Del Suelo*, 33, 79–88.

Strudley, M., Green, T., & Ascough, J. (2008). Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil and Tillage Research*, 99, 4–48. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.01.007>

Teixeira, H. M., Bianchi, F. J. J. A., Cardoso, I. M., Tittonell, P., & Peña-Claros, M. (2021). Impact of agroecological management on plant diversity and soil-based ecosystem services in pasture and coffee systems in the Atlantic forest of Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 305. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107171>

van Leeuwen, M. M. W. J., Heuvelink, G. B. M., Wallinga, J., de Boer, I. J. M., van Dam, J. C., van Essen, E. A., Moolenaar, S. W., Verhoeven, F. P. M., Stoorvogel, J. J., & Stoof, C. R. (2018). Visual soil evaluation: reproducibility and correlation with standard measurements. *Soil and Tillage Research*, 178, 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.11.012>

Zhang, J., Dyck, M., Quideau, S. A., & Norris, C. E. (2024). Assessment of soil health and identification of key soil health indicators for five long-term crop rotations with varying fertility management. *Geoderma*, 443, 116836. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116836>

ANEXO

Tabla 1. Secuencia de cultivos, labores, insumos, destino de la producción y rinde desde el año 2019 al 2022 para el ambiente AC.

Fecha	AC			
	Cultivo	Labor	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	
2020	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	
2021	Avena y Vicia	Siembra directa	100 kg/ha	Picado 20000 kg/ha MV
		Fertilización	MAP (40 kg/ha)	
		Aplicaciones	Fungicidas, herbicidas, insecticidas	
2021	Maíz	Siembra directa	25 kg/ha avena; 25 kg/ha vicia	Grano 7305 kg/ha
		Fertilización	MAP (80 kg/ha)	
		Aplicaciones	Herbicidas	
2021	Maíz	Siembra directa	65000 pl/ha	Grano 7305 kg/ha
		Fertilización	MAP (80 kg/ha) SolMix (400 l/ha)	

		Aplicaciones	Fungicidas, herbicidas, insecticidas	
	Centeno	Siembra al voleo	135 kg/ha	Forraje 6000 kg/ha MS
2022	Soja	Siembra directa	85 kg/ha	
		Fertilización	MAP (85 kg/ha)	Grano 1436 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 el ambiente AC.

Fecha	AC			
	Cultivo	Labor	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 Fertilización	60000 pl/ha MAP (50 kg/ha)	Forraje 6000 kg/ha MS
2021	Centeno	Rastra de discos/ Rolo Siembra	-	Grano 1413 kg/ha
		Girasol y soja	Rastra de discos/ Rolo Siembra	-
2022	Centeno	Siembra Rolado	135 kg/ha -	Forraje 2500 kg/ha MS
	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 el ambiente Pa.

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



Figura 1. Imágenes representativas del indicador visual “Estructura” en los ambientes AC, AA y Pa (de izquierda a derecha).



Figura 2. Imágenes representativas del indicador visual “Porosidad” en los ambientes AC, AA y Pa (de izquierda a derecha).



Figura 3. Imágenes representativas del indicador visual “Color” en los ambientes AC, AA y Pa (de izquierda a derecha).

JH



Figura 4. Imágenes representativas del indicador visual “Costra/Cobertura” en los ambientes AC, AA y Pa (de izquierda a derecha).