

## Propiedades Biológicas de Suelos de la Provincia del Chaco-Argentina con Diferentes Manejos Agropecuarios Biological Properties of Soils in the Province of Chaco-Argentina with Different Agricultural Practices

Bárbara M. Ballatore<sup>1</sup> , Cristina E. Sotelo<sup>1</sup>† , German L. Pérez<sup>1</sup> ,  
Sebastián Carnicer<sup>1</sup> , Claudina M. Hack<sup>1</sup>  y María E. Castelán<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Nordeste, Instituto Agrotécnico. Av. Las Heras 727. 3500 Resistencia, Provincia del Chaco, Argentina; (B.M.B.), (C.E.S.), (G.L.P.), (S.C.), (C.M.H.), (M.E.C.).

† Autora para correspondencia: cristinasotelo4480@gmail.com

### RESUMEN

La calidad del suelo se define por su capacidad para funcionar dentro de los límites del ecosistema, sustentar la productividad, mantener la biodiversidad y preservar la calidad del agua y del aire. La diversificación de actividades productivas, tanto ganaderas como agrícolas, contribuye a mejorar el uso del suelo. En este contexto, es esencial identificar indicadores sensibles a los cambios de uso de suelo, siendo apropiados para estimar la calidad del mismo sus parámetros biológicos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar las propiedades biológicas de suelos sometidos a diversas prácticas de manejo agropecuario en comparación con su condición inicial en áreas de monte: suelo de monte (considerado prístino) (Mon), suelo agrícola (ChAg) y suelo con historial ganadero por más de 40 años (ChMix), mediante indicadores biológicos como carbono de la biomasa microbiana (CBM), respiración del suelo (RES), glomalina fácilmente extraíble (GFE), nitrógeno anaeróbico potencialmente mineralizable (NAn), carbono orgánico total (COT), carbono orgánico particulado (COP), nitrógeno total (Nt) y nitrógeno orgánico particulado (NOP). Los resultados destacan la importancia de las variables biológicas como indicadores sensibles y herramientas cuantitativas de diagnóstico para la toma de decisiones adaptadas a las condiciones de cada agroecosistema. El sistema ChMix muestra valores intermedios en la mayoría de las variables, representando una alternativa productiva con menor impacto en la calidad del suelo. Los atributos GFE y NAn se destacan como buenos indicadores de calidad con diferencias significativas, evidenciando cambios entre las condiciones prístinas y las agrícola-ganaderas. En el análisis de las diversas fracciones orgánicas del suelo, las mayores diferencias se observaron en COP y NOP, demostrando su sensibilidad para contribuir a distinguir entre sistemas naturales y diferentes manejos agrícolas.

**Palabras clave:** *biomasa microbiana, carbono, materia orgánica particulada, nitrógeno potencialmente mineralizable, respiración microbiana.*

### SUMMARY

Soil quality is defined by its capacity to function within ecosystem boundaries, support productivity, maintain biodiversity, and preserve water and air quality. The diversification of productive activities, both agricultural and livestock-based, contributes to improving soil use. In this context, it is essential to identify indicators sensitive to land-use changes, with biological parameters being particularly suitable for estimating soil quality. The objective of this study was to evaluate the biological properties of soil under various agro-livestock management practices compared to its initial condition in wooded areas: forest soil (considered pristine) (Mon), agricultural



#### Cita recomendada:

Ballatore, B. M., Sotelo, C. E., Pérez, G. L., Carnicer, S., Hack, C. M., & Castelán, M. E. (2025). Propiedades Biológicas de Suelos de la Provincia del Chaco-Argentina con Diferentes Manejos Agropecuarios. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-12. e1868. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.1868>

Recibido: 10 de diciembre de 2023.  
Aceptado: 3 de marzo de 2025.  
Artículo. Volumen 43.  
Septiembre de 2025.

Editor de Sección:  
Dr. Luis G. Hernandez Montiel

Editor Técnico:  
Dr. Gerardo Cruz Flores



**Copyright:** © 2025 by the authors.  
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

soil (ChAg), and soil with a livestock management history of over 40 years (ChMix). Biological indicators included microbial biomass carbon (MBC), soil respiration (RES), easily extractable glomalin (EEG), potentially mineralizable anaerobic nitrogen (PMN), total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), total nitrogen (TN), and particulate organic nitrogen (PON). The results highlight the importance of biological variables as sensitive indicators and quantitative diagnostic tools for decision-making tailored to the conditions of each agroecosystem. The ChMix system displayed intermediate values in most variables, representing a productive alternative with a lower impact on soil quality. The attributes EEG and PMN stood out as good quality indicators, showing significant differences and evidencing changes between pristine and agricultural-livestock conditions. When analyzing the various organic soil fractions, the greatest differences were observed in POC and PON, demonstrating their sensitivity in distinguishing between natural systems and different agricultural management practices.

**Index words:** *microbial biomass, carbon, particulate organic matter, potentially mineralizable nitrogen, microbial respiration.*

## INTRODUCCIÓN

En el Chaco seco argentino, las transformaciones en el uso del suelo han provocado una reducción considerable de los bosques. La conversión de bosques autóctonos a sistemas agropecuarios ha dado como resultado notables pérdidas en el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) de hasta un 60% (Villarino *et al.*, 2017), y en los servicios ecosistémicos correlacionados (Naldini, Pérez y Kowaljow, 2023).

En las regiones tropicales, a nivel global, se exploran opciones destinadas a la preservación de los suelos, dado que no es el clima cálido lo que obstaculiza la producción agropecuaria, sino el manejo inadecuado de estos recursos. Para alcanzar una producción agrícola y ganadera sostenible, se debe implementar un manejo apropiado del suelo, fomentando prácticas que contribuyan a conservar su calidad (Baridon, 2015<sup>1</sup>; Cruz Arafet y Cruz, 2024)

La calidad de un suelo se caracteriza por su habilidad para sostener la productividad biológica, preservar la calidad del agua y del aire, así como fomentar la salud de animales, plantas y seres humanos (Toledo *et al.*, 2013). La diversificación, no sólo de cultivos, sino de actividades agrícolas y ganaderas, mejora el uso del suelo, proyectando en el espacio y el tiempo las actividades a desarrollar, considerando sus costos y beneficios.

Los sistemas de producción agrícola, donde se remueve el suelo y no hay rotaciones de cultivos, ocasionan pérdidas significativas de materia orgánica (MO), diversidad de poblaciones y biomasa microbiana del suelo, lo que afecta directamente la capacidad productiva de dichos sistemas (Frasier *et al.*, 2016). Según el trabajo de Pérez-Brandan, Huidobro y Alvarez (2020a) de acuerdo al tipo de manejo del agroecosistema se puede evidenciar una disminución del 0.5-0.6 mg kg<sup>-1</sup> de C de la biomasa microbiana al pasar de un ecosistema natural a uno agrícola. Por ende, es crucial identificar indicadores sensibles a tales transformaciones, ya que estos funcionan como herramientas cuantitativas para diagnóstico y toma de decisiones (Jha *et al.*, 2022). Tradicionalmente, se han utilizado como indicadores de calidad parámetros físicos y químicos, como por ejemplo estabilidad de agregados, infiltración, porosidad, resistencia mecánica a la penetración, densidad aparente, pH, MO, conductividad eléctrica, cationes intercambiables y nitrógeno. No obstante, los parámetros biológicos emergen como sensibles a cambios a corto plazo (un año), siendo apropiados para estimar la calidad del suelo al estar vinculados con los ciclos de los elementos, como por ejemplo carbono y nitrógeno, y la transformación de la materia orgánica (Albanesi, 2013; Toledo, Arzuaga, Contreras y Vázquez, 2015).

Jenkinson y Powlson (1976) propusieron que la cantidad de biomasa microbiana puede servir como alerta temprana al ser el indicador más sensible de las condiciones cambiantes del suelo, por la materia orgánica total (MOT), variaciones en la entrada de sustrato o aumentos en los contenidos de metales pesados. Para determinar la actividad del componente biótico del suelo, se recurre a la medición de la respiración, un parámetro ampliamente utilizado (Ibarra, Fernández, González y Behrends, 2023; Cazorla, Quisimalin, Ortega, Quintuñ, y Cornejo, 2024; Shan, Lankau y Ruark, 2024). El aumento de la población microbiana conlleva un incremento en la concentración de

<sup>1</sup> Baridon, J. E. (2015). *Cambios físicos, químicos y microbiológicos en suelos subtropicales de la provincia de Formosa ante el proceso de agriculturización. Un aporte a la calidad del suelo y sus indicadores*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias, Universidad Nacional de La Plata. Disponible en <https://doi.org/10.35537/10915/50830>

dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que puede emplearse como indicador de la actividad biológica del suelo en respuesta a variaciones en la disponibilidad de sustratos para la flora y fauna del suelo, según señalan Dalurzo, Toledo y Vásquez (2005). Por otro lado, la glomalina, glicoproteína exudada por las hifas de los hongos micorrízicos arbusculares, actúa como un agente de secuestro y acumulación de carbono atmosférico. En consecuencia, es un buen indicador de la calidad del suelo, ya que su contenido guarda relación con la materia orgánica, la actividad microbiológica y mejora la estabilidad de los agregados del suelo (Sarti y Efron, 2017).

La MO constituye la principal reserva edáfica de carbono, según lo corroborado por estudios previos (Galantini, 2008). Es reconocida como el indicador primordial para evaluar la sostenibilidad de los agroecosistemas, desempeña una función crucial en el desarrollo de las plantas y ejerce una influencia significativa en las propiedades del suelo (Espinosa-Ramírez, Andrade, Rivera y Romero, 2011). Labrador (2012) señala la participación de la MO en moléculas con composición y propiedades distintivas (hidratos de carbono, glucósidos, ácidos orgánicos, sales, ésteres, lípidos, compuestos nitrogenados, pigmentos, ligninas, resinas, vitaminas, fitoreguladores y antibióticos), confiriéndole responsabilidades fundamentales en las actividades microbianas edáficas. Las mismas favorecen la resiliencia, conservación y promoción de la fertilidad, productividad y biodiversidad del suelo, consolidándose como un componente integral de los factores agroambientales y de manejo.

La velocidad de mineralización de la MO condiciona la cantidad de nitrógeno para las plantas. El nitrógeno anaeróbico (NAn) se constituye como un indicador temprano y prometedor de los cambios que experimenta el suelo debido a su uso (Fabrizzi, Moron y García, 2003). El NAn representa una alternativa rápida, sencilla y confiable para la estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM), según indican Echeverría, San Martín y Bergonzi (2000). En virtud de estas características, la información derivada de la medición del NAn resulta valiosa para investigaciones centradas en la dinámica de la materia orgánica en el corto plazo (Galantini, 2005).

Estos parámetros biológicos y químicos son los que demostraron ser más sensibles a los cambios de uso, según el tipo de suelo, y es por ello que se eligieron para analizar en este trabajo. Cabe destacar que en el ambiente del Chaco no se encuentran estudios sobre la variación de los parámetros biológicos como indicadores de calidad. El objetivo de la presente investigación fue evaluar las propiedades biológicas del suelo bajo diversas prácticas de manejo agropecuario en comparación con su condición inicial en áreas de monte.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del Sitio y Muestreo

El clima de la región bajo estudio, situada en el sureste de la provincia del Chaco, Argentina, se caracteriza como subhúmedo continental, con picos de precipitación estacionales en primavera y verano, y estaciones invernales secas. El promedio anual de temperatura media es 21.4 °C, una temperatura máxima media de 28.2 °C y una temperatura mínima media de 14 °C, la precipitación media anual registrada para el período 1956-2019 es de 1145.3 mm.

El ensayo se estableció sobre un lote ubicado en la localidad de Colonia Elisa perteneciente al Departamento Sargento Cabral (Figura 1).

El suelo está caracterizado como aluvial local, depositado por cursos fluviales de segundo y tercer orden. Es un Natrustoll Típico que se encuentra en albardones semifósiles, con forma de lomas tendidas, moderadas, de relieve normal. Tiene un horizonte superficial color pardo rojizo, textura pesada, un subsuelo de similares características, que descansa sobre un material amarillento rojizo de textura media. El suelo está medianamente provisto de materia orgánica; con buena capacidad de retención de agua, fuertemente ácido en superficie y moderadamente alcalino en profundidad; muy rico en calcio, magnesio, potasio y fósforo (Zurita, 2007).

### Se Evaluaron Tres Situaciones de Uso

**A) Suelo de monte (Mon) prístino.** Se considera al suelo que no ha sido alterado o modificado por actividades humanas y ha mantenido sus características naturales originales, sin haber sido contaminado, cultivado o sometido a otras formas de intervención antropogénica. El mismo tiene una cubierta natural de monte con perturbación eventual por el ingreso de bovinos a pastoreo. Cuenta con estratos arbóreos de distinta altura donde hay géneros como *Schinopsis* sp., *Aspidosperma* sp., *Handroanthus* sp., *Patagonula* sp., *Gleditsia* sp., *Acacia* sp., *Diplokeleba* sp., *Luehea* sp., y *Morus* sp. entre otros. La vegetación basal tipo cardal posee cardos, trepadoras y plantas herbáceas de hoja ancha.



**Figura 1. Ubicación del lote donde se realizaron los muestreos.**

Localidad de Colonia Elisa-Departamento Sargento Cabral - Provincia del Chaco- Argentina (26° 90' 71" S, 59° 56' 29" O).

**Figure 1: Location of the lot where the samples were taken.** Colonia Elisa locality - Sargento Cabral Department - Chaco Province - Argentina (26° 90' 71" S, 59° 56' 29" W).]

**B) Suelo agrícola (ChAg).** Con manejo convencional por más de 40 años, donde se araba el suelo con arado de reja y vertedera, con monocultivo de algodón. En los últimos años se incorporó la rotación de cultivos.

**C) Suelo con antecesor de ganadería bovina por más de 40 años (ChMix).** Hace 10 años el lote comenzó con un manejo de siembra directa. La rotación de cultivos fue sorgo/ trigo/ maíz/ soja/ melilotos/ sorgo.

Se realizó el muestreo al azar sistemático en diagonal al lote en las tres situaciones de uso, todas en la misma serie de suelo, con el cultivo de *Glycine max* (soja) implantado. En cada una de ellas, con barreno, se tomaron cinco muestras compuestas por diez sub-muestras al azar, a profundidades de 0-10 cm y 10-20 cm. Las muestras se refrigeraron y fueron llevadas al laboratorio donde se acondicionaron en función de los análisis. Una porción de muestra se guardó refrigerada a 20 °C para análisis biológicos y otra porción se secó a 40 °C para análisis químicos como indica la norma argentina de pretratamiento de muestras de suelo para uso agropecuario (IRAM/SAGyP 29578, 2009).

## Variables Biológicas

**Carbono de la biomasa microbiana (CBM).** (Pérez, Sirio, Sotelo y Carnicer, 2023) Se determinó con el método de fumigación-extracción (Brookes, Landman, Pruden y Jenkinson, 1985) y valorado por dicromatometría y espectrofotometría (Vance, Brookes y Jenkinson, 1987).

**Respiración del suelo (RES).** (Cossoli, Romero, Martín e Iglesias, 2023) Se evaluó mediante técnicas de incubación (Schinner y Sonnleitner, 1996).

**Glomalina fácilmente extraíble (GFE).** (Pérez *et al.*, 2023) Las proteínas del suelo reactivas a Bradford-BRSP (GFE) se determinaron por la metodología propuesta por Wright y Upadhyaya (1996). Las concentraciones de GFE se expresaron en mg g<sup>-1</sup> de suelo.

**NAn.** (Arzuaga, Sotelo, Contreras Leiva y Toledo, 2023) El contenido de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> producido en incubación anaeróbica (NAn) se determinó por el método de Waring y Bremner (1964) modificado por Keeney y Nelson (1982). El nitrógeno potencialmente mineralizable se calculó por la diferencia entre el nitrógeno total incubado y el total inicial.

$$NPM = NT_{\text{incubado}} - NT_{\text{inicial}} \quad (1)$$

## Variables Químicas

Se trabajó sobre muestras secas a 40 °C y tamizadas (malla 2 mm).

**pH y conductividad eléctrica (C.E.).** En solución acuosa, relación suelo: agua = 1:2,5 (IRAM-SAGPyA 29574, 2010). La textura se determinó por el método de Bouyoucos (IRAM/SAGyP 29581, 2022).

**Carbono (CT) y Nitrógeno (NT) orgánico total.** El CT por el método de oxidación húmeda (IRAM/SAGyP 29571-2, 2011), NT por el método de Kjeldahl modificado (IRAM/SAGyP 29752, 2018).

**Carbono (COP) y nitrógeno (NOP) orgánicos particulados.** El fraccionamiento físico de la MO por tamaño de partícula se basó en la metodología propuesta por Cambardella y Elliot (1992) modificada por Galantini (2005). El COP y NOP comprende la fracción gruesa o particulada (>53 μm) que incluye partículas gruesas y arenas finas a gruesas (Andreux, Bruckert, Correa y Souchier, 1980; Galantini, 2008).

## Análisis Estadístico

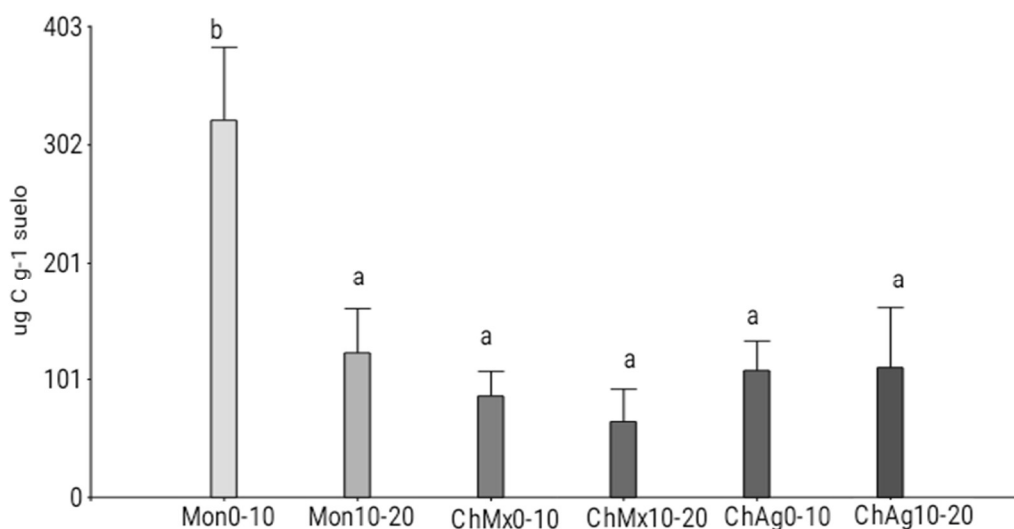
Los datos obtenidos se analizaron mediante ANOVA, previo análisis de normalidad y homogeneidad de las variables, y prueba de Tukey para comparación de los promedios ( $p \leq 0.05$ ). Se realizó el análisis de componentes principales (ACP) con el fin de describir y analizar observaciones multidimensionales de las distintas situaciones, separados por profundidades, con los procedimientos incluidos en el software estadístico de INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2012).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables Biológicas

La variable CBM mostró variaciones estadísticamente significativas ( $p = 0.0037$ ), destacando Mon 0-10 con el valor más alto, lo que la diferencia claramente de las demás situaciones analizadas (Figura 2). Esta tendencia puede atribuirse a la acumulación de materia orgánica (MO) en la superficie del monte, que actúa como una fuente crucial de nutrientes y energía, promoviendo el crecimiento y desarrollo de la microbiota (Balota y Chaves, 2011). Además, se observó que, a mayor profundidad en el monte, el CBM disminuyó, lo que confirma lo explicado anteriormente.

La composición de la vegetación y las propiedades del suelo son factores determinantes que influyen en las características de la microbiota, desempeñando un papel esencial en su estabilidad (Bastida, Zsolnay, Hernández y García, 2008). En contraste, no se encontraron diferencias significativas en la variable CBM entre las distintas situaciones de manejo y profundidades analizadas (ChMx y ChAg) (Figura 2). En agroecosistemas distintos a los estudiados en esta investigación, compararon el CBM en la producción de café-banano, monocultivos de café y una situación prístina. Los resultados mostraron que el suelo en condición prístina presentó el mayor valor de CBM con  $423 \text{ mg C kg}^{-1}$ , mientras que los agroecosistemas de café-banano y los monocultivos de café registraron valores inferiores de 111 y  $77 \text{ mg C kg}^{-1}$ , respectivamente. Estos resultados sugieren que la conversión de ecosistemas naturales a sistemas agrícolas, incluso bajo prácticas de cultivo diversificadas, conlleva una disminución en la biomasa microbiana del suelo (Notaro, Medeiros, Duda, Silva, y Moura, 2014; Durang, Uribe, Henríquez y Mata, 2015).



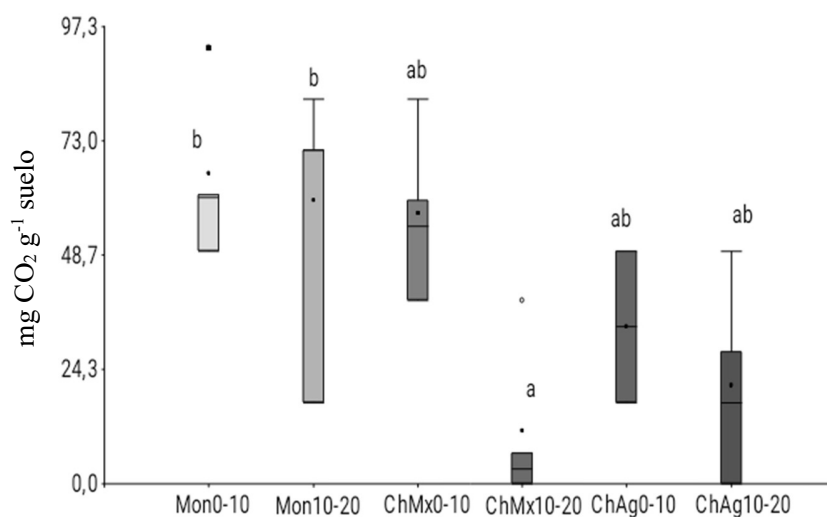
**Figura 2. Carbono de la biomasa microbiana ( $\mu\text{g C g}^{-1}$  suelo) en las distintas situaciones y profundidades de muestreo.** Monte 0-10 cm (Mon 0-10); Monte 10-20 cm (Mon 10-20); Chacra mixta 0-10 cm (ChMx 0-10); Chacra mixta 10-20 cm (ChMx 10-20); Chacra agrícola 0-10 cm (ChAg 0-10); Chacra agrícola 10-20 cm (ChAg 10-20). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Los valores son medias +ES (n = 4).

**Figure 2. Microbial biomass carbon ( $\mu\text{g C g}^{-1}$  soil) in different sampling situations and depths.** Mount 0-10 cm (Mon 0-10); Mount 10-20 cm (Mon 10-20); Mixed chakra 0-10 cm (ChMx 0-10); Mixed chakra 10-20 cm (ChMx 10-20); Agricultural farm 0-10 cm (ChAg 0-10); Agricultural farm 10-20 cm (ChAg 10-20). Different letters indicate significant differences (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Values are means +SE (n = 4).

En relación con RES, se identificaron diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0.0072$ ) entre las dos profundidades de monte y ChMx10-20, mientras que ChAg en ambas profundidades y ChMx 0-10 exhibieron valores intermedios (Figura 3). Este hallazgo contrasta con los resultados de Pérez *et al.* (2020b), quienes observaron cambios a corto plazo en la RES al cambiar el uso del suelo. El tratamiento ChMx fue incorporado al sistema productivo agrícola con labranza mínima, lo que permitió que la secuencia de horizontes se mantuviera sin inversión, preservando así la diferencia en los estratos en relación con la materia orgánica. En contraste, el suelo agrícola (ChAg) mostró un comportamiento homogéneo en ambas profundidades de muestreo, ya que el sistema productivo fue convencional en sus inicios y recientemente pasó a labranza mínima. La respiración muestra correlación con la variable CO. Nuestros resultados se alinean con los hallazgos de Abellán *et al.* (2013), quienes reportaron valores más altos de RES en las parcelas de referencia en comparación con las de usos forestales. Barrales-Brito, Paz, Etchevers, Hidalgo y Velázquez (2020) registraron los mayores valores de CO<sub>2</sub> en los primeros 10 cm del perfil en todos los usos del suelo, siendo los bosques los de mayor contenido. Además, observaron que la RES disminuyó en los horizontes más profundos, destacando los primeros 30 cm como los más activos para la dinámica de carbono en el suelo. Toledo, Arzuaga, Galantini y Vázquez (2018) también investigaron que, en suelos prístinos, la RES se mantuvo dentro del rango considerado como una actividad ideal del suelo, superando a los suelos bajo producción. Estos resultados coinciden con los obtenidos en el presente estudio.

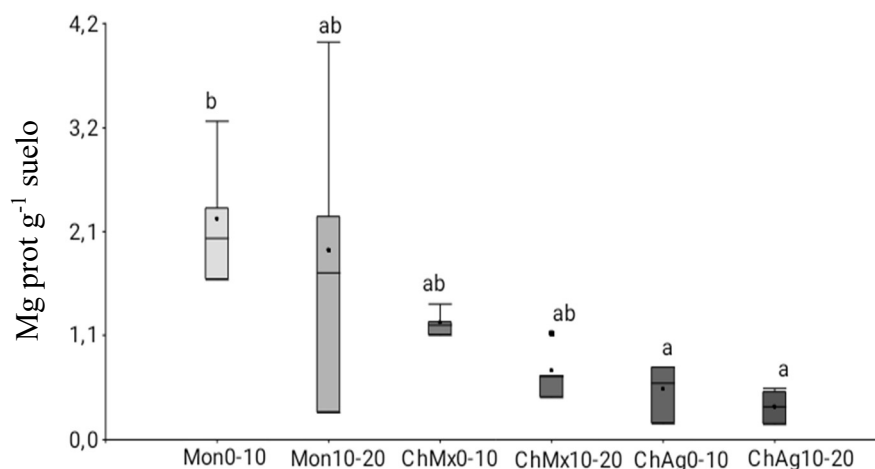
En la Figura 4 se observan los datos de GFE, los valores demuestran un comportamiento diferencial ( $p = 0.0007$ ) entre Mon 0-10 cuyo valor fue cinco veces superior a las situaciones de ChAg en las dos profundidades con un promedio de 0.42 mg prot g<sup>-1</sup> suelo. Esto mismo encontraron Rodríguez-Yon, Chiriboga, Concha y De León (2020), quienes afirman que la GFE tuvo un comportamiento relacionado al uso de la tierra en las dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) donde los bosques mostraron valores significativamente elevados a diferencia de las áreas cultivadas con pasto y caña de azúcar, que mostraron valores intermedios mientras que, los valores más bajos se observaron en el cultivo de papa. Pérez-Brandan *et al.*, (2020a) compararon distintos sistemas de agricultura y concluyeron que la GFE fue una variable sensible al cambio de uso de suelo, sin embargo, en esta investigación, los resultados no mostraron diferencias entre Mon y ChMx.

Los resultados de NAn se presentan en la Figura 5. Los mayores valores de NAn se registraron en el Mon, con un promedio de 116 mg kg<sup>-1</sup> suelo, siendo de 2 a 4 veces mayores que en ChMx y ChAg respectivamente ( $p = 0.0082$ ).



**Figura 3. Respiración del suelo (mg CO<sub>2</sub> 100g<sup>-1</sup> suelo) en las distintas situaciones y profundidades de muestreo.** Monte 0-10 cm (Mon 0-10); Monte 10-20 cm (Mon 10-20); Chacra mixta 0-10 cm (ChMx 0-10); Chacra mixta 10-20 cm (ChMx 10-20); Chacra agrícola 0-10 cm (ChAg 0-10); Chacra agrícola 10-20 cm (ChAg 10-20). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Los valores son medias +SE (n = 4).

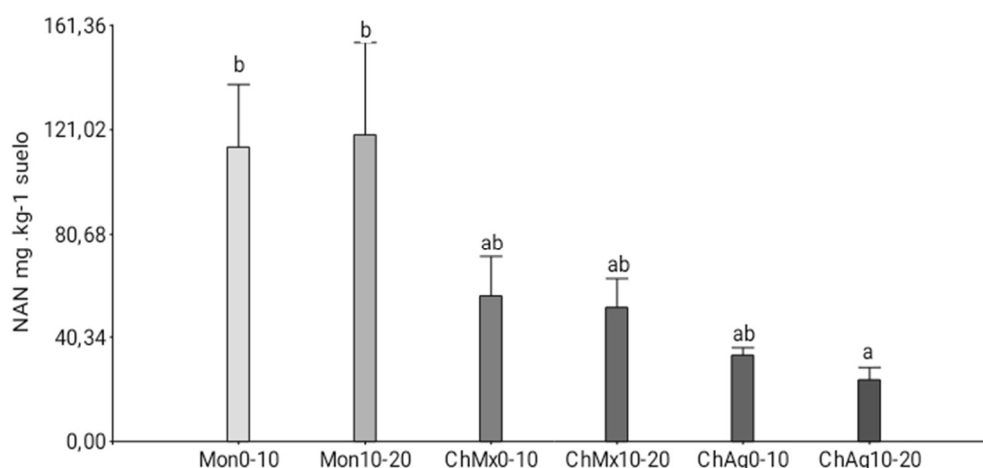
**Figure 3. Soil respiration (mg CO<sub>2</sub> 100g<sup>-1</sup> soil) in different sampling situations and depths.** Mount 0-10 cm (Mon 0-10); Mount 10-20 cm (Mon 10-20); Mixed chakra 0-10 cm (ChMx 0-10); Mixed chakra 10-20 cm (ChMx 10-20); Agricultural farm 0-10 cm (ChAg 0-10); Agricultural farm 10-20 cm (ChAg 10-20). Different letters indicate significant differences (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Values are means +SE (n = 4).



**Figura 4. Proteínas del suelo reactiva a Bradford-BRSP (glomulina fácilmente extraíble) (mg prot g<sup>-1</sup> suelo) en las distintas situaciones y profundidades de muestreo.** Monte 0-10 cm (Mon 0-10); Monte 10-20 cm (Mon 10-20); Chacra mixta 0-10 cm (ChMx 0-10); Chacra mixta 10-20 cm (ChMx 10-20); Chacra agrícola 0-10 cm (ChAg 0-10); Chacra agrícola 10-20 cm (ChAg 10-20). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Los valores son medias +SE (n = 4).

**Figure 4. Soil proteins reactive to Bradford-BRSP (easily extractable glomalin) (mg prot g<sup>-1</sup> soil) in different sampling situations and depths.** Mount 0-10 cm (Mon 0-10); Mount 10-20 cm (Mon 10-20); Mixed chacra 0-10 cm (ChMx 0-10); Mixed chacra 10-20 cm (ChMx 10-20); Agricultural farm 0-10 cm (ChAg 0-10); Agricultural farm 10-20 cm (ChAg 10-20). Different letters indicate significant differences (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Values are means +SE (n = 4).

Di Gerónimo, Videla y Laclau (2017) informaron que los sitios con mayores niveles de carbono orgánico (CO) no presentaron las concentraciones más altas de NAn. En contraste, nuestros resultados muestran que las situaciones con mayores valores de CO coincidieron con las mayores concentraciones de NAn (Maslov y Maslova, 2022). Genovese, Echeverría, Studdert y Sainz (2009) identificaron una disminución en los niveles de NAn asociada al incremento de los años de prácticas agrícolas, en concordancia con la reducción del contenido del CO.



**Figura 5. Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (mg kg<sup>-1</sup> suelo) en las distintas situaciones y profundidades de muestreo.** Monte 0-10 cm (Mon 0-10); Monte 10-20 cm (Mon 10-20); Chacra mixta 0-10 cm (ChMx 0-10); Chacra mixta 10-20 cm (ChMx 10-20); Chacra agrícola 0-10 cm (ChAg 0-10); Chacra agrícola 10-20 cm (ChAg 10-20). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Los valores son medias +SE (n = 4).

**Figure 5. Mineralized nitrogen in anaerobiosis (mg kg<sup>-1</sup> soil) in different sampling situations and depths.** Mount 0-10 cm (Mon 0-10); Mount 10-20 cm (Mon 10-20); Mixed chacra 0-10 cm (ChMx 0-10); Mixed chacra 10-20 cm (ChMx 10-20); Agricultural farm 0-10 cm (ChAg 0-10); Agricultural farm 10-20 cm (ChAg 10-20). Different letters indicate significant differences (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Values are means +SE (n = 4).

En el sudeste bonaerense, Diovisalvi, Berardo y Reussi (2009) reportaron que entre 35 y 85% de los establecimientos agropecuarios presentaron valores de NAn inferiores a  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  en la superficie del suelo, evidenciando el impacto del uso del suelo sobre este indicador. De manera consistente con estos hallazgos, en nuestro estudio se observaron patrones similares: el área de monte registró valores de NAn superiores a  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que en las áreas sometidas a actividades productivas los valores fueron considerablemente inferiores.

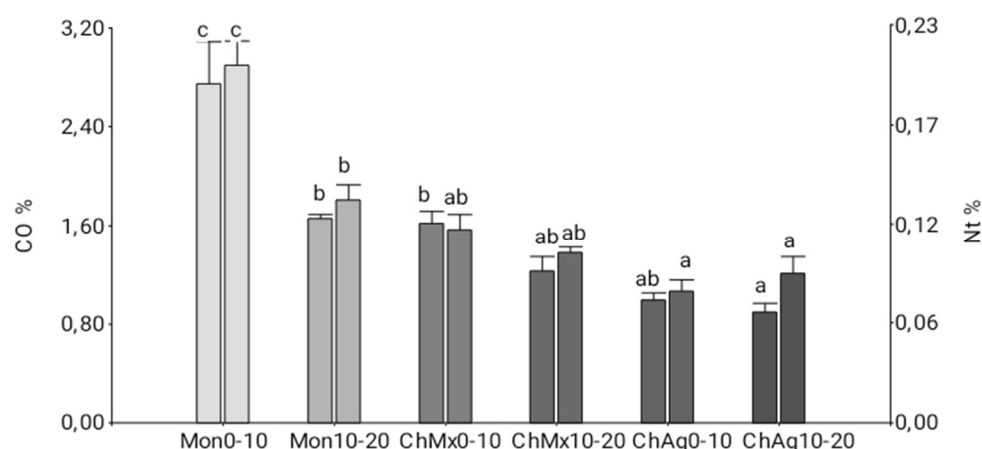
## Variabes Químicas

La CE no mostró diferencias estadísticas significativas entre los diferentes sitios, con valores que se encuentran dentro del rango normal para la producción, oscilando entre  $0.1$  y  $0.3 \text{ dS m}^{-1}$ . El pH varió entre  $6.1$  y  $7.1$  en los suelos agrícolas y de monte respectivamente. Estos suelos son de textura franco-arcillo-limosa, y sus principales limitaciones se deben a que son levemente salinos y fuertemente sódicos.

Las variables CO y Nt tuvieron la misma variación en las diferentes situaciones, siendo éstas estadísticamente significativas ( $p = 0.0001$ ) (Figura 6). El CO presentó mayores valores en el Mon 0-10 seguido de Mon 10-20 y ChMx 0-10 y por último la ChAg 10-20. La disminución del contenido de Nt en orden decreciente fue Mon 0-10; Mon 10-20; ChMx 0-10; ChMx 10-20; ChAg 10-20; ChAg 0-10. Esto coincide con Di Gerónimo *et al.* (2017) y Duval *et al.* (2013), que encontraron que el CO y Nt fueron afectados significativamente por la situación de muestreo a ambas profundidades y que los mayores valores se presentaron en la primera profundidad. Studdert y Echeverría (2000) relacionaron el contenido de CO con los cambios en el manejo y uso del suelo, ya que, las prácticas de laboreo conducen a una reducción en el contenido de carbono orgánico al promover la aireación, facilitar el contacto entre el sustrato y el suelo, y exponer las fracciones más susceptibles del carbono a la degradación por parte de los microorganismos (Weil y Magdoff, 2004).

Duval, Galantini, Martínez e Iglesias (2016) observaron una disminución del contenido de COP y NOP por efecto de las prácticas agrícolas y la profundidad. En relación con la situación prístina, las prácticas agrícolas disminuyeron en 50% el COP. En este trabajo la pérdida estuvo entre 50 y 75%, dependiendo la situación de producción (Cuadro 1). Esto puede deberse a las condiciones climáticas de la zona, altas temperaturas y precipitaciones, ya que la tasa de mineralización es superior a la que se presenta en la pampa húmeda.

El análisis de componentes principales indicó que los componentes CP1 y CP2 explicaron hasta 94.2% de la varianza total acumulada (Cuadro 2). El CP1 explicó 85% de la varianza y las variables CO, Nt, GFE, NAn y RES se correlacionaron positivamente. Las variables biológicas se asociaron con la situación de monte principalmente (Figura 7). El CP2 explicó sólo 9,2 de la varianza con CMB asociado positivamente y RES y NAn negativamente. Las variables separaron al monte de las situaciones productivas.



**Figura 6. Carbono orgánico total (%) y nitrógeno orgánico total (%) en las distintas situaciones y profundidades de muestreo.** Monte 0-10 cm (Mon 0-10); Monte 10-20 cm (Mon 10-20); Chacra mixta 0-10 cm (ChMx 0-10); Chacra mixta 10-20 cm (ChMx 10-20); Chacra agrícola 0-10 cm (ChAg 0-10); Chacra agrícola 10-20 cm (ChAg 10-20). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Los valores son medias +ES (n = 4).

**Figure 6. Total organic carbon (%) and total organic nitrogen (%) in different sampling situations and depths.** Mount 0-10 cm (Mon 0-10); Mount 10-20 cm (Mon 10-20); Mixed chakra 0-10 cm (ChMx 0-10); Mixed chakra 10-20 cm (ChMx 10-20); Agricultural farm 0-10 cm (ChAg 0-10); Agricultural farm 10-20 cm (ChAg 10-20). Different letters indicate significant differences (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Values are means +SE (n = 4).



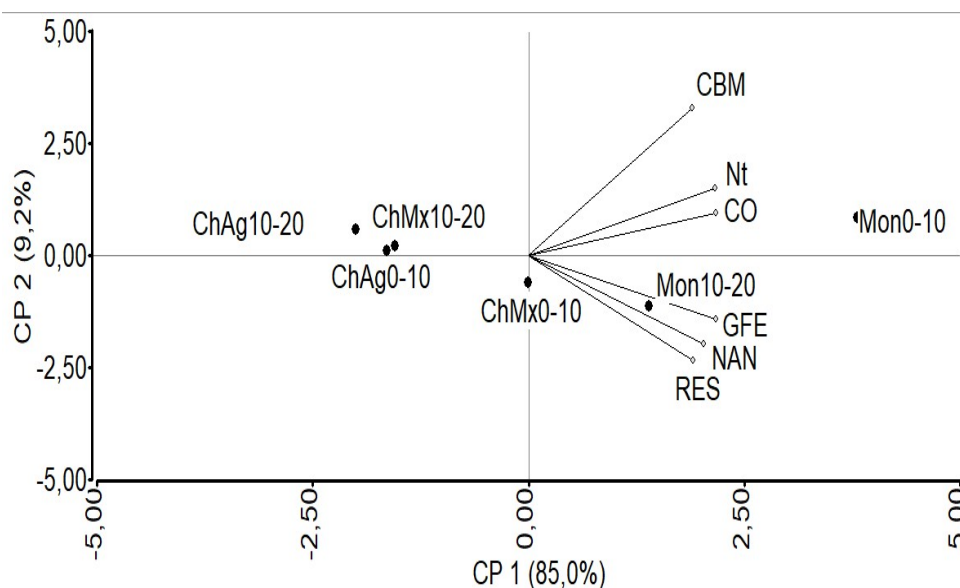
**Cuadro 1. Carbono orgánico particulado (COP) y Nitrógeno orgánico particulado (NOP) en las distintas situaciones a una profundidad de 0-20 cm.** Monte (Mon 0-20); Chacra mixta (ChMx 0-20); Chacra agrícola (ChAg 0-20). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

**Table 1. Particulate organic carbon (COP) and particulate organic nitrogen (NOP) in different situations and at a sampling depth of 0-20 cm.** Mon 0-20 cm; ChMx 0-20 cm and ChAg 0-20 cm. Different letters indicate significant differences (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

Sitios de muestreo	COP	NOP
Mon0-20	0.43 a	0.033 a
ChMx0-20	0.26 b	0.015 b
ChAg0-20	0.13 c	0.010 c

En la figura bidimensional derivada de los dos primeros componentes principales, se agruparon en tres grupos (Figura 7): uno está integrado por ChAg y ChMx 10-20, otro por ChMx 0-10, y el último por Mon. El primero, situado a la izquierda de la CP1, muestra menor contenido de CO, Nt, RES, GFE, NAN y CBM; el segundo tiene valores intermedios, y el tercer grupo, al encontrarse a la derecha de la CP1, se destacó por los mayores valores de estas variables.

Los ángulos entre los vectores que representan la variable GFE mostraron una correlación positiva con CO y Nt (Figura 7). Seguel, Rubio, Carrillo, Espinosa y Borie (2008), observaron una relación sólida y positiva entre glomalina y materia orgánica del suelo. Los suelos forestales o con pasturas exhiben concentraciones más elevadas de glomalina en comparación con los suelos sin vegetación, fenómeno que se explica por la presencia constante de plantas que proporcionan un suministro continuo de fotosintatos para alimentar a los hongos micorrízicos arbusculares, los cuales están estrechamente vinculados con la producción de glomalina (González-Chavez, Gutiérrez-Castorena y Wright, 2004; Rillig, Ramsey, Morris y Paul, 2003).



**Figura 7. Biplot CP1- CP2 en las distintas situaciones y profundidades de muestreo.** Monte 0-10 cm; Monte 10-20 cm; Chacra mixta 0-10 cm; Chacra mixta 10-20 cm; Chacra agrícola 0-10 cm; Chacra agrícola 10-20 cm.

**Figure 7. Biplot CP1- CP2 in different sampling situations and depths.** Mount 0-10 cm; Mount 10-20 cm; Mixed chacra 0-10 cm; Mixed chacra 10-20 cm; Agricultural farm 0-10 cm; Agricultural farm 10-20 cm.

**Cuadro 2. Correlaciones de componentes (CP1 y CP2) y las variables de suelo estudiadas.**  
**Table 2. Correlations of components (CP1 and CP2) and soil variables studied.**

Variabes	CP1	CP2
CBM	0.38	0.66
GFE	0.43	-0.03
RES	0.39	-0.43
NAn	0.39	-0.56
CO	0.43	0.17
Nt	0.43	0.19

CBM = carbono de la biomasa microbiana; GFE = glomalina fácilmente extraíble; RES = respiración microbiana; NAn = nitrógeno mineralizable en anaerobiosis = CO = carbono orgánico; Nt = nitrógeno total.  
 CBM = microbial biomass carbon; GFE = easily extractable glomalin; RES = microbial respiration; NAn = mineralizable nitrogen under anaerobic conditions = CO = organic carbon; Nt = total nitrogen.

## CONCLUSIONES

Las propiedades de GFE y NAn las posicionaron como indicadores de calidad edáfica eficaces, revelando diferencias significativas que permiten detectar cambios entre las condiciones de monte y las agrícola-ganaderas. En el análisis de las diversas fracciones orgánicas del suelo, las disparidades más marcadas se observaron en el COP y NOP, evidenciando su sensibilidad para distinguir entre sistemas naturales y diferentes prácticas de manejo agrícola.

Los suelos sin alterar, mostraron diferencias con los suelos cultivados, lo que ayudó a definir los valores óptimos de estos indicadores y sugerir algunas estrategias de manejo agronómico. El sistema ChMx exhibe valores intermedios en casi todas las variables estudiadas, presentándose como una opción productiva con un menor impacto en la calidad del suelo. Los resultados de este trabajo sientan las bases técnicas para que se recomiende la rotación de producción que permitan a los productores y responsables de la toma de decisiones mejorar la calidad del suelo y prevenir su deterioro futuro.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia en esta sección.

## FINANCIACIÓN

Financiado por el proyecto PI20A005 SGCyT y el Instituto Agrotécnico Fuentes Godo - UNNE.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: G.L.P. y C.E.S. Metodología, G.L.P. y C.E.S. Análisis formal: B.M.B. y C.E.S. Investigación: B.M.B., C.E.S. y S.C. Recursos: S.C. y C.E.S. Curación de datos: B.M.B. Escritura: preparación del borrador original, B.M.B. y C.E.S. Escritura: revisión y edición, M.E.C. y C.M.H. Visualización: M.E.C. y C.M.H. Supervisión: M.E.C.

## AGRADECIMIENTOS

No aplicable.

## LITERATURA CITADA

- Abellán, A. M., Wic Baena, C., Picazo Córdoba, M. I., Candel Pérez, D., Molero Carrasco, J., Martínez García, E., ... & Lucas Borja, M. E. (2013). *El uso de las propiedades microbiológicas y actividades enzimáticas del suelo como indicadores en la gestión forestal. Actas del VI Congreso Forestal Español* (pp. 2-9). Vitoria, España: Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Albanesi, A. S. (2013). *Microbiología agrícola: Un aporte de la investigación en Argentina* (2ª ed.). Tucumán, Argentina: Magna Publicaciones. ISBN 978-987-1726-17-2.
- Andreux, F., Bruckert, S., Correa, A., & Souchier, B. (1980). Sur une méthode de fractionnement physique et chimique des agrégats des sols: origines possibles de la matière organique des fractions obtenues. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 291, 381-384.
- Arzuaga, S. A., Sotelo, C. E., Contreras-Leiva, S. M., & Toledo, D. M. (2023). Nitrógeno mineralizado en anaerobiosis (Nan). Método de incubación anaeróbica. En *Colección Partes de libros* (pp. 166-182). Corrientes, Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Nordeste.
- Balota, E. L., & Chaves, J. C. (2011). Microbial activity in Soil cultivated with different summer legumes in Coffee Crop. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 54(1), 35-44. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132011000100005>
- Barrales-Brito, E., Paz-Pellat, F., Etchevers-Barra, J. D., Hidalgo-Moreno, C., & Velázquez-Rodríguez, A. (2020). Dinámica de carbono en agregados del suelo con diferentes tipos de usos de suelo en el monte Tláloc, Estado de México. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 275-288. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.680>
- Bastida, F., Zsolnay, A., Hernández, T., & García, C. (2008). Past, Present and Future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma*, 147, 159-171. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.08.007>
- Brookes, P. C., Landman A., Pruden G., & Jenkinson D. S. (1985). Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 17(6), 837-842. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(85\)90144-0](https://doi.org/10.1016/0038-0717(85)90144-0)
- Cambardella, C. A., & Elliott, E. T. (1992). Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3), 777-783. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>
- Cazorla, X., Quisimalin, A., Ortega, M., Quintuña, P., & Cornejo, J. (2024). Soil evaluation through quality indicators. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of STEAM*, 3(2), 55-71. <https://doi.org/10.18502/epoch.v4i1.15801>
- Cossoli, M. R., Romero, A. M. E., Martin, C., & Iglesias, M. C. (2023). Medición de la actividad respiratoria para detectar actividad microbiana En: *Metodologías microbiológicas de indicadores ambientales del suelo* (pp. 70-76). Corrientes, Argentina: EUDENE.
- Cruz-Arafet, A., & Cruz-Acosta, R. (2024). Desarrollo agrícola sostenible para optimizar la productividad a través del buen manejo del suelo en Benguela-Angola. *Environmental Sciences and Practices*, 2(1), 1-15.
- Dalurzo, H. C., Toledo, D. M., & Vázquez, S. (2005). Estimación de parámetros químicos y biológicos en Oxisoles con uso citrícola. *Ciencia del Suelo*, 23(2), 159-165.
- Di Gerónimo, P. F., Videla, C. D. C., & Laclau, P. (2018). Distribución de carbono y nitrógeno orgánico en fracciones granulométricas de suelos bajo pastizales, agricultura y forestaciones. *Ciencia del Suelo*, 36(1), 11-22.
- Di Rienzo, J.A., Balzarini, M., Casanaves, F., Gonzáles, L., Tablada, M., & Robledo, C.W. (2012). *InfoStat. Manual del Usuario*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas.
- Diovisalvi, N., Berardo, A., & Reussi-Calvo, N. (2009). Nitrógeno anaeróbico potencialmente mineralizable: una nueva herramienta para mejorar el manejo de la fertilización nitrogenada. En *Actas del Simposio de Fertilidad 2009* (pp. 169-171). Acaassuso, Buenos Aires, Argentina: IPNI Cono Sur & Fertilizar Asociación Civil. ISBN: 978-987-24977-1-2
- Durang, W., Uribe, L., Henríquez, C., & Mata, R. (2015). Respiración, biomasa microbiana y actividad fosfatasa del suelo en dos agroecosistemas y un bosque en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 37-46.
- Duval, M. E., Galantini, J. A., Iglesias, J. O., Canelo, S., Martinez, J. M., & Wall, L. (2013). Análisis de fracciones orgánicas como indicadores de la calidad del suelo en sistemas naturales y cultivados. *Investigación de Suelos y Labranza*, 131, 11-19.
- Duval, M., Galantini, J., Martinez, J., & Iglesias, J. (2016). Comparación de índices de calidad de suelos agrícolas y naturales basados en el carbono orgánico. *Ciencia del suelo*, 34(2), 197-209.
- Echeverría, H. E., San Martín, N., & Bergonzi, R. (2000). Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Ciencia del Suelo*, 18(1), 9-16.
- Espinosa-Ramírez, M., Andrade-Limas, E., Rivera-Ortiz, P., & Romero-Díaz, A. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*, (53-54), 77-88.
- Fabrizzi, K. P., Moron, A., & García, F. O. (2003). Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Science Society of America Journal*, 67(6), 1831-1841. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1831>
- Frasier, I., Noellemeyer, E., Figuerola, E., Erijman, L., Permingeat, H., & 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>
- Galantini, J. A. (2008). Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo. En J. A. Galantini (Ed.), *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina* (pp. 19-39). Bahía Blanca, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional del Sur (EdiUNS). ISBN 978-987-655-009-3.
- Galantini, J. A. (2005). Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En L. Marbán & S. Ratto (Eds.), *Manual "Información y Tecnología en los Laboratorios de Suelos para el Desarrollo Agropecuario Sostenible"* (pp. 95-106). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACs).
- Genovese, F., Echeverría, H. E., Studdert, G. A., & Sainz-Rozas, H. (2009). Nitrógeno de amino-azúcares en suelos: calibración y relación con el nitrógeno incubado anaeróbico. *Ciencia del Suelo*, 27(2), 225-236.
- González-Chávez, M. C. A., Gutiérrez-Castorena, M. C., & Wright, S. (2004). Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 507-514.
- Ibarrá, S., Fernández, P. L., González-Arzac, A., & Behrends-Kraemer, F. (2023). Salud biofísica del suelo en sistemas agroecológicos y convencionales de la Pampa Austral, Argentina. En *Actas del III Congreso Argentino de Agroecología* (pp. 1-2). El Bolsón, Argentina: Asociación Argentina de Agroecología. ISBN: 978-987-8258-87-4

- IRAM/SAGyP 29578 (Norma Oficial Argentina). (2009). *Calidad ambiental - Calidad del suelo. Pretratamiento de muestras de suelo de uso agropecuario para análisis físicos y químicos con secado en estufa*. Buenos Aires, Argentina: IRAM.
- IRAM/SAGyP 29574 (Norma Oficial Argentina). (2010). *Calidad del suelo. Determinación de pH en suelo para uso agropecuario*. Buenos Aires, Argentina: IRAM.
- IRAM/SAGyP 29752 (Norma Oficial Argentina). (2018). *Determinación de nitrógeno en suelo por el método de Kjeldahl modificado*, publicada el 10 de octubre de 2018. Buenos Aires, Argentina: IRAM.
- IRAM/SAGyP 29571-2 (Norma Oficial Argentina). (2011). *Determinación de carbono orgánico en el suelo. Parte 2 - Determinación de carbono orgánico por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro. Calidad ambiental-calidad de suelo*. publicada el 21 de octubre de 2011. Buenos Aires, Argentina: IRAM.
- IRAM/SAGyP 29581 (Norma Oficial Argentina). (2022). *Calidad del suelo. Determinación de la textura del suelo*. Buenos Aires, Argentina: IRAM.
- Jenkins, D. S., & Powlson, D. S. (1976). The effects of biocidal treatment on metabolism in soil-V: A method for measuring soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8(3), 209-213. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5)
- Jha, P., Hati, K. M., Dalal, R. C., Dang, Y. P., Kopittke, P. M., McKenna, B. A., & Menzies, N. W. (2022). Effect of 50 years of no-tillage, stubble retention, and nitrogen fertilization on soil respiration, easily extractable glomalin, and nitrogen mineralization. *Agronomy*, 12(1), 151. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010151>
- Keeney, D. R., & Nelson, D. W. (1982). Nitrogen-Inorganic Forms. En A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.). *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties* (pp. 643-698). Madison, WI: American Society of Agronomy.
- Labrador, J. (2012). Avances en el conocimiento de la dinámica de la materia orgánica dentro de un contexto agroecológico. *Agroecología*, 7(1), 91-108.
- Maslov, M. N., & Maslova, O. A. (2022). Soil nitrogen mineralization and its sensitivity to temperature and moisture in temperate peatlands under different land-use management practices. *Catena*, 210, 105922. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105922>
- Naldini, M. B., Pérez-Harguindey, N., & Kowaljow, E. (2023). La intensificación del uso de la tierra disminuye el carbono orgánico del suelo en bosques del Chaco Seco, Córdoba. *Ecología Austral*, 33, 674-683. <https://doi.org/10.25260/EA.23.33.3.0.2072>
- Notaro, K. D. A., Medeiros, E. V. D., Duda, G. P., Silva, A. O., & Moura, P. M. D. (2014). Agroforestry systems, nutrients in litter and microbial activity in soils cultivated with coffee at high altitude. *Scientia Agricola*, 71, 87-95. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162014000200001>
- Pérez-Brandán, C., Huidobro, D. J., & Álvarez, M. D. (2020). *Carbono de la biomasa microbiana de los suelos como indicador de cambios en sistemas productivos locales*. Salta, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Estación Experimental Agropecuaria Salta.
- Pérez, G. L., Sotelo, C. E., Sirio, A. A., Carnicer, S., Mansilla, N. P., López, C. F., & Castelán, M. E. (2020b). Análisis comparativo de suelos cultivados y de monte de la provincia del Chaco, Argentina. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 40(2), 92-106.
- Pérez, G. L., Sirio, A. A., Sotelo, C. E., & Carnicer, S. (2023). Determinación de las proteínas del suelo reactivas a Bradford-BRSP (glomalina) En *Metodologías microbiológicas de indicadores ambientales del suelo* (pp. 169-178). Corrientes, Argentina: EUDENE.
- Rillig, M. C., Ramsey, P. W., Morris, S., & Paul, E. A. (2003). Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. *Plant and Soil*, 253(2), 293-299. <https://doi.org/10.1023/A:1024807820579>
- Rodríguez-Yon, Y., Chiriboga-Morocho, R., Concha-Egas, T.G., & De León-Lima, D.P. (2020). Caracterización de las fracciones de glomalina en suelos Ferralíticos Rojos con diferente uso. *Cultivos Tropicales*, 41(4), 1-16.
- Sarti, G., Efron, D. (2017). Disminución de la Concentración de CO<sub>2</sub> Atmosférico a través de una Glicoproteína del suelo (Glomalina). *Terra Mundus*, 4(1), 1-16.
- Schinner, F., & Sonleitner, R. (1996). Geschichte und Perspektiven der Bodenmikrobiologie und -enzymatik. In *Bodenökologie: Mikrobiologie und Bodenenzymatik Band I*. Berlin, Heidelberg, Germany: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-80175-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-80175-4_1)
- Seguel, A., Rubio, R., Carrillo, R., Espinosa, A., & Borie, F. (2008). Niveles de glomalina y su relación con características químicas y biológicas del suelo (andisol) en un relicto de bosque nativo del sur de Chile. *Bosque Valdivia*, 29(1), 11-22. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002008000100002>
- Shan, S., Lankau, R. A., & Ruark, M. D. (2024). Metam sodium fumigation in potato production systems has varying effects on soil health indicators. *Field Crops Research*, 310, 109353. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109353>
- Studdert, G. A., & Echeverria, H. E. (2000). Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 64(4), 1496-1503. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6441496x>
- Toledo, D. M., Arzuaga, S. A., Leiva, S. M. C., & Vazquez, S. (2015). Biological indicators of soil quality in natural and cultivated subtropical systems. *Journal of Advances in Agricultura*, 4(2), 392-397.
- Toledo, D. M., Galantini, J. A., Ferreccio, E., Arzuaga, S., Gimenez, L., & Vázquez, S. (2013). Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados. *Ciencia del Suelo*, 31(2), 201-212.
- Toledo, D., Arzuaga S., Galantini J., & Vázquez, S. (2018). Indicadores e índices biológicos de calidad de suelo en Sistemas Forestales. *Ciencia del Suelo*, 36(2), 1-12.
- Vance, E. D., Brookes, P. C., & Jenkinson, D. S. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19(6), 703-707. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6)
- Villarino, S. H., Studdert, G. A., Baldassini, P., Cendoya, M. G., Ciuffoli, L., Mastrángelo, M., & Piñeiro, G. (2017). Deforestation impacts on soil organic carbon stocks in the Semiarid Chaco Region, Argentina. *Science of The Total Environment*, 575, 1056-1065. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv>
- Waring, S. A., & Bremner, J.M. (1964). Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature*, 201, 951-952. <https://doi.org/10.1038/201951a0>
- Weil, R. R., & Magdoff, F. (2004). Significance of soil organic matter to soil quality and health. In F. Magdoff & R. R. Weil (Eds.). *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture* (pp. 1-43). Boca Raton, FL: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203496374.ch1>
- Wright, S. F., & Upadhyaya, A. (1996). Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science*, 161(09), 575-586. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-199609000-00003>
- Zurita, J. J. (2007). *Carta de suelos de la República Argentina. Provincia del Chaco: Los suelos del Departamento General Güemes*. Buenos Aires, Argentina: INTA - Ministerio de la Producción de la Provincia del Chaco.