

## Estudio de comunidades microbianas asociadas a suelos Haplustoles del centro sur de la provincia de Córdoba

Study of microbial communities associated with Haplustol soils in the central-southern region of the province of Córdoba

DOI: <https://doi.org/10.63207/ai.v9i17.196>

Carla Valeria Bruno<sup>1\*</sup>, María Claudia Basualdo<sup>1</sup>, María Laura Mattalia<sup>2</sup>

1. Departamento de Biología Agrícola. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.
2. Departamento de Ecología Agraria. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.

**Resumen.** La microbiota del suelo es esencial para la salud edáfica y sensible a los cambios inducidos por distintos tipos de uso y manejo agrícola. Debido a su rápida respuesta a las alteraciones del ambiente, puede ser un indicador temprano para valorar la salud del suelo. La actividad biológica del ciclo del carbono se evalúa mediante indicadores como la respiración basal (RB), el carbono de la biomasa microbiana (CBM) e índices ecofisiológicos. Los sistemas de manejo agroecológico, como cultivos de servicio y ganadería regenerativa, se proponen como alternativas a los sistemas convencionales para mejorar la salud del suelo y aumentar su capacidad de resiliencia frente a perturbaciones. Este estudio se centró en evaluar la salud del suelo a través de indicadores biológicos relacionados con el ciclo del carbono en diferentes sistemas de manejo, comparando un suelo en condición prístina con un sistema agrícola convencional y un sistema de transición agroecológica que incluye cultivos de servicio en la rotación y ganadería regenerativa. El estudio se realizó en el sur de la provincia de Córdoba, en suelos clasificados como Haplustoles, con condiciones climáticas similares, considerando la variación estacional de primavera-verano y otoño-invierno. Los resultados mostraron que la RB no presentó diferencias significativas entre los manejos, pero sí entre los años muestreados. En cambio, el CBM mostró interacción entre los manejos y las temporadas. El aumento del carbono orgánico y la biomasa microbiana mejoraron la salud del suelo en los sistemas agroecológicos.

**Palabras clave:** agroecología, microorganismos, carbono, salud del suelo.

**Abstract.** Soil microbiota is essential for soil health and is sensitive to changes induced by different agricultural practices. Due to its rapid response to environmental alterations, it can serve as an early indicator of soil health. Biological activity related to the carbon cycle can be evaluated using indicators such as basal respiration RB, microbial biomass carbon (MBC), and eco-physiological indices. Agroecological management systems, which include service crops and regenerative livestock, have been proposed as alternatives to conventional systems to improve soil health and enhance resilience to disturbances. This study focused on evaluating soil health through biological indicators related

Recibido: 29/10/2025 Aceptado: 6/4/2026 Publicado: 15/4/2026

\*Autora para correspondencia: Carla Valeria Bruno, Ruta Nacional 36, Km. 601, 5804 Río Cuarto, Córdoba, Argentina; [cbruno@ayv.unrc.edu.ar](mailto:cbruno@ayv.unrc.edu.ar)

Financiamiento: Secretaría de Ciencia y Técnica UNRC.

to the carbon cycle in different management systems, comparing pristine soils with conventional agriculture and an agroecological transition system that includes service crops in rotation and regenerative livestock. The study was conducted in the southern province of Córdoba, on Haplustol soils with similar climatic conditions, considering seasonal variation between spring-summer and autumn-winter. The results showed that basal respiration did not present significant differences between management systems, but there were differences between the years sampled. In contrast, MBC showed interactions between management systems and climatic seasons. Increased organic carbon and microbial biomass improved soil health in agroecologically managed systems.

**Keywords:** agroecology, microorganisms, carbon, soil health.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura sostenible se presenta como una alternativa para contrarrestar la degradación de suelos agrícolas. En este contexto las técnicas agroecológicas, combinadas con prácticas tradicionales, ofrecen soluciones efectivas para restaurar y mejorar la fertilidad y la salud del suelo, asegurando un equilibrio entre la producción agrícola y la conservación del medio ambiente (FAO, 2021).

Una característica fundamental de la salud del suelo es su diversidad microbiológica, en particular, la diversidad funcional, que se refiere al conjunto de capacidades metabólicas presentes en un entorno. Este concepto no requiere de un conocimiento profundo sobre la identidad de los microorganismos involucrados, sino que se enfoca en su actividad fisiológica y en las funciones que desempeñan dentro del ecosistema. Los ecosistemas con una mayor diversidad funcional suelen operar de manera más eficiente, lo que contribuye a una mayor productividad, resiliencia y resistencia (López-Mondéjar *et al.*, 2021). Los microorganismos del suelo, debido a su capacidad de respuesta rápida a las perturbaciones provocadas por diferentes tipos de manejo, se han convertido en excelentes indicadores para detectar cambios en la salud del suelo antes de que sean evidentes a través de las propiedades físicas y químicas (Bulgarelli *et al.*, 2018). En este sentido, se consideran sensores biológicos de las alteraciones del ecosistema, ya que su actividad metabólica refleja de manera sensible los impactos de prácticas de manejo y cambios ambientales (Schlatter *et al.*, 2020).

Para evaluar la calidad de los suelos, a nivel mundial se han establecido al menos 65 indicadores, que pueden clasificarse en biológicos, químicos y físicos. Entre los indicadores bio-

lógicos, la biomasa microbiana se destaca por su sensibilidad y por su estrecha relación con otros parámetros de calidad del suelo (Aon *et al.*, 2001). Sin embargo, la selección de estos indicadores varía según las condiciones locales, lo que refuerza la idea de que no existen indicadores universales, sino que deben ser desarrollados de acuerdo con las características específicas de cada región (Cervio *et al.*, 2010).

En la región Pampeana de Argentina, predominan los sistemas agrícolas convencionales, caracterizados por una baja diversidad de cultivos y el uso intensivo de tecnologías y de insumos externos. Esta falta de atención a la biología del suelo ha provocado una disminución en la biodiversidad y, por ende, en los procesos biológicos esenciales para mantener la salud del suelo (Sarmiento, 2022).

La degradación de la materia orgánica del suelo (MOS) es un proceso inherente a los microorganismos heterotróficos, y su tasa de descomposición o mineralización es un buen indicador de la actividad microbiana del suelo. Una de las técnicas más utilizadas para medir este proceso es la medición de la liberación de CO<sub>2</sub>, lo cual se realiza en condiciones controladas de laboratorio. Esta medición se conoce como actividad microbiana o respiración basal (RB), que se considera uno de los mejores indicadores de la actividad metabólica global de las comunidades microbianas del suelo (Nannipieri *et al.*, 2017) y el CBM que dimensiona la microbiota presente en el suelo.

El cociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), proveniente de la relación RB/CBM, permite interpretar de manera más precisa la dinámica de los procesos biológicos en el suelo (Bauhus y Khanna, 1999; Filip, 2002).

En la región bajo estudio, situada en el Dpto. Río Cuarto, provincia de Córdoba es escasa la información relacionada a la modificación de la biomasa microbiana en suelos agropecuarios con distintos manejos. Desde este punto de vista, surge la necesidad de evaluar, el nivel de salud de suelos Haplustoles en función de las respuestas de sus comunidades microbianas, frente a distintos manejos agropecuarios, en la región pampeana central de Argentina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se desarrollaron en el campo experimental de docencia e investigación (CAMDOCEX) que tiene las siguientes coordenadas geográficas 33° 06' 3,46" S y 64° 17' 54" O, perteneciente a la Facultad de Agronomía y Veterinaria-Universidad Nacional de Río Cuarto. Se utilizaron dos parcelas, una con 5 años de manejo agroecológico (ACC) y otra parcela considerada prístino (PU) (Área Intangible Campo Experimental UNRC-Resolución CD N°105/2019). En el establecimiento El Mate, ubicado al sur de la localidad de Adelia María cuyas coordenadas geográficas son 33° 40' 24" S 40'24" S y 64° 00' 43,6" O. Las parcelas evaluadas fueron: manejo agroecológico con más de 10 años (AGR) y una parcela con manejo convencional bajo siembra directa (SDC).

El clima de la región bajo estudio es templado sub-húmedo, con un régimen de tipo monzónico con precipitaciones media anual de 800 mm. Las fechas medias de

primera y última helada corresponden al 25 de mayo y 12 de septiembre respectivamente. El período medio libre de heladas es de 255 días. La temperatura media anual es de 16,4°C (Seiler *et al.*, 1995).

Se realizaron dos muestreos anuales, correspondientes a los períodos otoño-invierno (OI) y primavera-verano (PV) de los años 2022, 2023 y 2024. Las muestras de suelo, compuestas por 15 submuestras, se tomaron siguiendo el diseño experimental DBCA, en los sitios bajo estudio.

La RB se evaluó *in vitro*, según Frioni (2011). El contenido de CBM se midió con el método de fumigación-incubación de Jekinson y Powlson (1976) modificado por García Izquierdo *et al.* (2003). Y el cociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) que resulta del cociente entre RB y CBM (Anderson, 2003). Los resultados fueron analizados estadísticamente empleando el software estadístico Infostat 2020 (Di Renzo *et al.*, 2020)

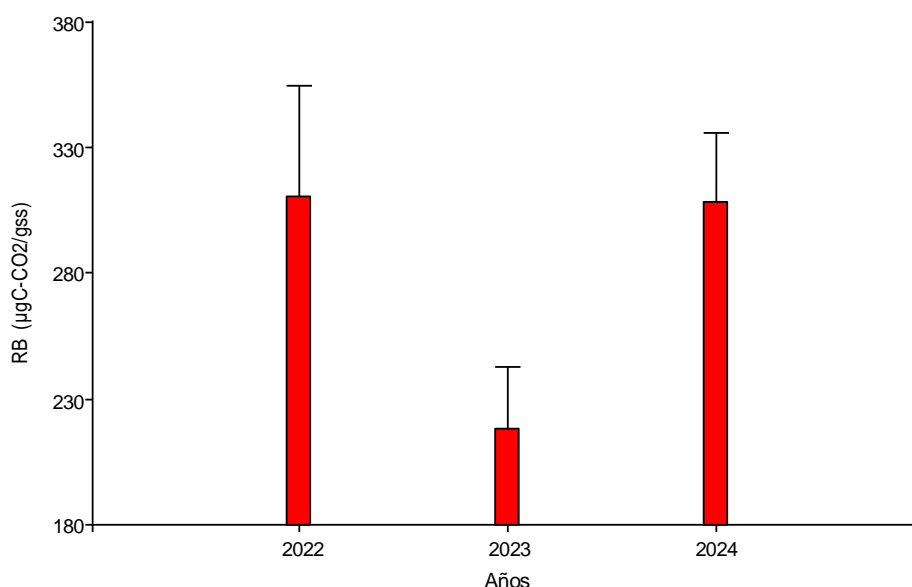
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Respiración basal

En relación con esta variable, aunque el valor medio más alto correspondió a SDC durante la temporada invernal y el más bajo a ACC en primavera-verano, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las modalidades de manejo ni entre las temporadas, como tampoco en la interacción entre ambos factores.

Manejo	Estación	Variable	Media	Mínimo	Máximo
ACC	OI	RB	263,57	50	530
ACC	PV	RB	201,80	40	430
AGR	OI	RB	314	48	520
AGR	PV	RB	246	70	480
PU	OI	RB	296	70	550
PU	PV	RB	284	49	469
SDC	OI	RB	326	190	460
SDC	PV	RB	277	80	590

**Tabla 1.** Valores medios de respiración basal según manejos.



**Figura 1.** Diferencia de respiración basal entre los distintos años de muestreo.

En particular, la sequía registrada durante 2022, asociada al fenómeno ENOS “La Niña”, tuvo un impacto significativo en la reducción de la biomasa microbiana (Llambi *et al.*, 1998). Aunque en el año siguiente se registró un incremento en los niveles de humedad debido a mayores precipitaciones, el sistema edáfico no logró recuperarse por completo, probablemente a causa de la persistencia de un déficit hídrico acumulado. Esta variación en la humedad podría haber generado diferencias significativas en esta variable entre los años de muestreo.

Utilizando el año como criterio de clasificación, se encontraron diferencias significativas entre los años evaluados, independientemente de los manejos en los lugares muestreados.

### Carbono de la biomasa microbiana

Con respecto a esta variable, se empleó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), obteniéndose un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,61, lo que indica que el modelo explicó el 61% de la variabilidad observada en el carácter evaluado. En el análisis se consideraron como efectos fijos la temporada, el lugar y su interacción, mientras que el año de muestreo se incluyó como efecto aleatorio. Se detectó una interacción significativa entre lugar y temporada ( $p < 0,05$ ), por lo que la comparación de medias se realizó considerando dicha interacción.

El valor más alto de carbono de la biomasa microbiana se registró en el sitio considerado prístino, con una media de 528,78 µg C-CO<sub>2</sub>/gss en PV, mientras que el valor más bajo se observó en el sistema de manejo convencional, con 151,21 µg C-CO<sub>2</sub>/gss, también en PV.

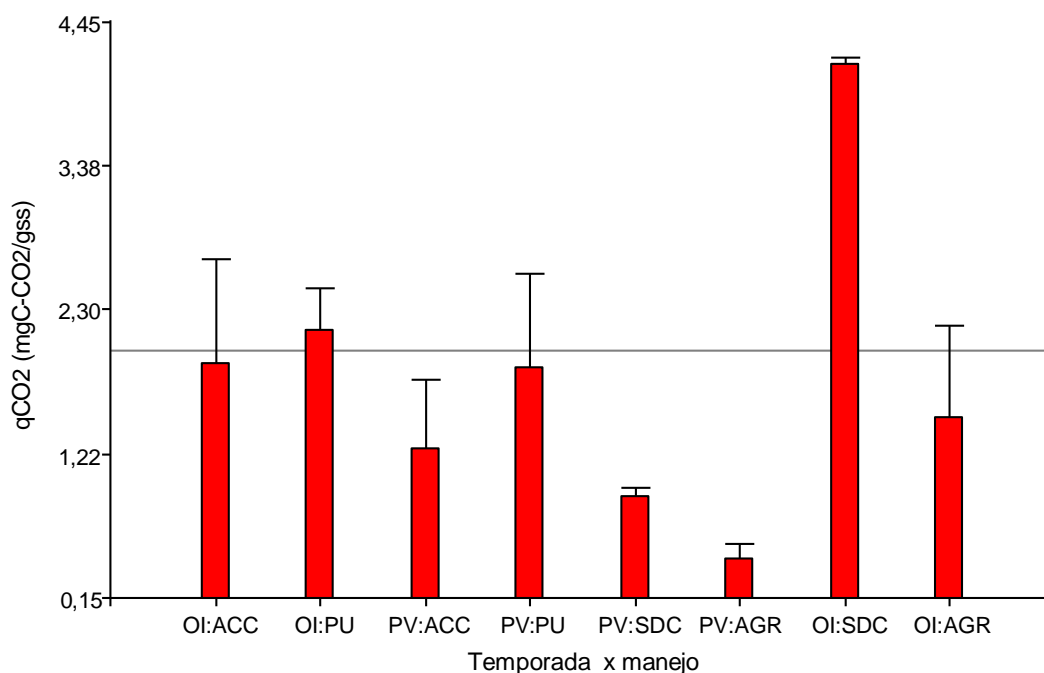
Diversos autores respaldan la influencia de factores estacionales y de manejo en estos resultados. Schmidt *et al.* (2008) destacan que la estacionalidad puede afectar los valores de los indicadores biológicos y bioquímicos del suelo. Por su parte, Abril (2003) sostiene que la temperatura influye en la tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS), incrementándose a medida que esta aumenta.

Asimismo, Ferreras *et al.* (2001) demostraron que el uso y manejo del suelo impactan significativamente en el CBM, observando diferencias de hasta un 85 % entre suelos de referencia y suelos agrícolas bajo distintas prácticas de manejo.

Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con lo reportado en la literatura, evidenciando diferencias estadísticamente significativas en la interacción entre temporada y manejo. En el sistema de manejo convencional, donde el suelo permanece descubierto y sin vegetación durante el invierno, se observaron los valores más bajos de CBM en primavera-verano. Esto podría atribuirse a la ausencia de rizósfera activa, lo que conlleva a una reducción en la actividad y diversidad microbiana.

**Tabla 2.** Valores de pH en suelos con distintos manejos.

Modalidad	PU	ACC	AGR	SDC
Parámetros				
pH	7,03	7	6,8	6,5

**Figura 2.** Determinación del cociente metabólico.

En cambio, en el sitio testigo, la parcela en transición y el sistema de manejo con ganadería regenerativa, los valores medios de CBM fueron similares entre sí, sin diferencias estadísticamente significativas en la interacción. Estos resultados respaldan la importancia de mantener el suelo cubierto mediante cultivos de servicio, práctica que favorece la estabilidad de la microbiota del suelo y mejora su calidad biológica.

### Cociente metabólico

El cociente metabólico ( $qCO_2$ ) es un índice ecofisiológico que se ha propuesto como una medida indicativa de modificaciones en los procesos edáficos, ya que refleja la energía de mantenimiento de los microorganismos del suelo. Esta medida específica de la actividad metabólica varía según la composición y estado fisiológico de la comunidad microbiana, la disponibilidad de sustratos y otros factores abióticos (Anderson

y Domsch, 1990). Los resultados sugieren que las condiciones ambientales y las prácticas de manejo del suelo influyen de manera conjunta en la actividad metabólica de los microorganismos del suelo, afectando la liberación de dióxido de carbono. Así lo demuestran las diferencias estadísticamente significativas para la interacción entre las temporadas y las distintas modalidades de manejo del suelo estudiadas. Por otro lado Anderson (2003) indica que este índice ecofisiológico debería variar entre 0.5 y 2 mg C-CO<sub>2</sub> para suelos de pH neutro (tabla 2), y valores por encima de 2 mg C-CO<sub>2</sub> podrían ser considerados críticos. En el presente estudio, el manejo SDC en Oi tiene valores de  $qCO_2$  que superan los 2 mg C-CO<sub>2</sub>, presentando diferencias significativas con la temporada estival. Estos resultados indicarían que el carbono se pierde como CO<sub>2</sub> por lo tanto, habría poco desarrollo de la biomasa microbiana (Anderson, 1994) evidenciando una menor eficiencia metabóli-

ca (Ferrerías *et al.*, 2015). El suelo considerado prístino también alcanza dicho límite pero a diferencia del SDC, no presenta diferencias significativas con la temporada PV, estas emisiones de CO<sub>2</sub> constantes todo el año, indicarían que la comunidad microbiana se encuentra en equilibrio (Anderson y Domsch 1993; Ebhin Masto *et al.*, 2006).

## CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra que los sistemas de manejo agrícola influyen sobre la actividad y composición de las comunidades microbianas en suelos Haplustoles del centro sur de la provincia de Córdoba. En particular, los resultados evidencian que la actividad agrícola convencional, basada en cultivos anuales de verano y sin cobertura vegetal durante el invierno, genera alteraciones biológicas marcadas, reduciendo la biomasa microbiana y en consecuencia la eficiencia metabólica del suelo, especialmente bajo condiciones de sequía.

En contraste, los sistemas con cobertura vegetal permanente como la ganadería regenerativa y la agricultura con cultivos de servicio en rotación promovieron una mayor estabilidad microbiana y mejor salud edáfica, incluso frente a condiciones climáticas adversas. El carbono de la biomasa microbiana resultó un indicador particularmente sensible, mostrando diferencias significativas según la interacción entre manejo y temporada, con los valores más bajos en el sistema convencional y los más altos en el suelo prístino y en los manejos agroecológicos.

El cociente metabólico también evidenció una menor eficiencia en el uso del carbono por parte de la microbiota del suelo bajo manejo convencional, con valores por encima del umbral crítico para suelos neutros. Esta situación sugiere una mayor pérdida de carbono como CO<sub>2</sub> y una baja capacidad de sostenimiento de la biomasa microbiana.

Por lo tanto, estos hallazgos refuerzan la necesidad de adoptar prácticas agroecológicas que aseguren una cobertura vegetal continua, minimicen el disturbio del suelo y fomenten una microbiota funcionalmente activa. Tales estra-

tegias mejoran la salud del suelo, contribuyen a mitigar emisiones de gases de efecto invernadero y a fortalecer la resiliencia de los agroecosistemas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abril, A. (2003). ¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? *Ecología Austral*, 13, 195–204. Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC, Argentina.

Anderson, T. H. (1994). Physiological analysis of microbial communities in soil: Applications and limitations. En K. Ritz, J. Dighton, & K. E. Giller (Eds.), *Beyond the biomass: Compositional and functional analysis of soil microbial communities* (pp. 67–76). Wiley.

Anderson, T. H. (2003). Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98, 285–293.

Anderson, T. H., & Domsch, K. H. (1990). Application of eco-physiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry*, 22(2), 251–255.

Anderson, T. H., & Domsch, K. H. (1993). The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(3), 393–395.

Aon, M. A., Cabello, M. N., Sarena, D., Colaneri, A., Franco, M., Burgos, J., & Cortassa, S. (2001). Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, 18(3), 239–254.

Bauhus, J., & Khanna, P. K. (1999). The significance of microbial biomass in forest soils. En N. Rastin & J. Bauhus (Eds.), *Going underground: Ecological studies in forest soils* (pp. 77–110). Research Signpost.

Bulgarelli, D., K. Schlaeppli, S. Spaepen, E. van Themaat, P. Schulze-Lefert. (2018). Soil microbial communities and their ecological roles in plant health. En *The soil microbiome* (pp. 167–184). Springer.

- Cervio, V., Ferrazzino, A., Giuffrè, L., Romaniuk, R., & Ratto, S. (2010). El desarrollo de indicadores integrados (ambientales, sociales y agrarios) como herramienta de política pública: Calidad de suelo. VI Jornadas de Sociología de la UNLP, La Plata, Argentina.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de <http://www.infostat.com.ar>
- Ebhin Masto, R., Chhonkar, P. K., Singh, D., & Patra, A. K. (2006). Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical inceptisol. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(7), 1577–1582.
- FAO. (2021). El trabajo de la FAO sobre la agroecología. Recuperado de <http://www.fao.org/agroecology/es>
- Ferreras, L. A., Toresani, S., Faggioli, V. S., & Galarza, C. M. (2015). Sensibilidad de indicadores biológicos edáficos en un Argiudol de la Región Pampeana Argentina. EEA INTA Marcos Juárez, Facultad de Ciencias Agrarias, UNR.
- Ferreras, L., De Battista, J. J., Ausilio, A., & Pecorari, C. (2001). Parámetros físicos del suelo en condiciones no perturbadas y bajo laboreo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000100020>
- Filip, Z. K. (2002). International approach to assessing soil quality by ecologically related biological parameters. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88, 169–174.
- Frioni, L. (2011). *Microbiología: básica, ambiental y agrícola* (pp. 200–360). Departamento de Publicaciones de la Universidad Nacional de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay.
- García Izquierdo, C., Gil Sotres, F., Hernández Fernández, T., & Trasar Cepeda, C. (2003). *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa Libros S.A.
- Jenkinson, D. S., & Powlson, D. S. (1976). The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8, 209–213.
- Llambi, D. L., & Sarmiento, L. (1998). Biomasa microbiana y otros parámetros edáficos en una sucesión secundaria de los páramos venezolanos. *Ecotrópicos*, 11(1), 1–14.
- López-Mondéjar, R., Bastida, F., & García, C. (2021). Soil microbial diversity and functional diversity as predictors of soil health: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 153, 108114.
- Nannipieri, P., Greco, S., & Ceccanti, B. (2017). Ecological significance of the biological activity in soil. En *Soil biochemistry* (pp. 293–356).
- Sarmiento, C. (2022). *Agroecología a la carta*. Argentina.
- Schlatter, D., C. Yin, S. Hulbert, & T. Paulitz. (2020). Microbial community dynamics and resilience in soils under varying agricultural management practices. *Soil Biology and Biochemistry*.
- Schmidt, E. N., Amiotti, N., & Bravo, O. (2008). Comportamiento de indicadores químicos y biológicos de calidad de suelos bajo labranza reducida y siembra directa continua en la región semiárida sur. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, San Luis, Argentina.
- Seiler, R., Fabricius, R., Rotondo, V., Vinocur, M., & Bonacci, B. (1995). *Agrometeorología Río Cuarto* (Vol. 1). Cátedra de Agrometeorología, UNRC.