

Indicadores biológicos para la evaluación de diferentes sistemas de manejo del suelo

- › Ludueña Lucrecia*, Robledo Gonzalo**, Sánchez José**, Núñez María*, Tonatto Javier* y Tortora María Laura*

Introducción

Los sistemas agrícolas generan modificaciones continuas sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La intensidad del manejo, la diversidad de cultivos y las prácticas de conservación adoptadas pueden influir significativamente sobre su funcionamiento, afectando procesos esenciales relacionados con el ciclo de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica y el mantenimiento de la fertilidad (Doran y Zeiss 2000). En este contexto, resulta fundamental disponer de herramientas que permitan evaluar de manera temprana los cambios en la calidad del suelo y favorecer la toma de decisiones para un manejo más sustentable. Tradicionalmente, la evaluación de la calidad del suelo se estimó mediante la interpretación de indicadores fisicoquímicos. Sin embargo, estos parámetros suelen alterarse cuando los procesos de degradación ya se encuentran avanzados. Por esta razón, y debido a su elevada sensibilidad para detectar cambios originados por las prácticas agrícolas en períodos relativamente cortos, los indicadores biológicos han adquirido una importancia creciente durante los últimos años. Entre ellos, las poblaciones microbianas y la actividad enzimática constituyen herramientas valiosas, ya que reflejan el estado funcional del suelo y participan directamente en procesos vinculados con la transformación de la materia orgánica, el reciclado de nutrientes y la disponibilidad de elementos esenciales para el desarrollo de los cultivos. La comparación entre sistemas de manejo con distintos niveles de intensificación, como el monocultivo y las rotaciones que incorporan cultivos de cobertura, permite comprender cómo estas prácticas modifican la actividad biológica del suelo y contribuyen a conservar su funcionalidad a lo largo del tiempo. En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes sistemas de manejo del suelo a través del recuento de microorganismos mesófilos aerobios totales y la evaluación de la actividad de enzimas asociadas al funcionamiento del suelo, utilizando estos parámetros como bioindicadores de la calidad y funcionalidad del suelo.

Metodología

Las evaluaciones se realizaron en un ensayo iniciado hace más de diez años, ubicado en la subestación Monte Redondo, en la localidad de San Agustín (departamento Cruz Alta). Se compararon tres sistemas de manejo: i) monte nativo, como referencia natural; ii) rotación soja-maíz 1:1, con cultivos de servicio en invierno; y iii) monocultivo de soja con barbecho químico en invierno. Durante las cam -

*Sección Agronomía de Caña de Azúcar, ** Sección Suelos y Nutrición Vegetal, EEAOC. [E-mail: lluduenaa@eeaoc.org.ar](mailto:lluduenaa@eeaoc.org.ar)

Nos apoyan ▼



pañías comprendidas entre 2023 y 2026, se realizaron muestreos de suelo (0–10 cm) en diferentes momentos del ciclo de los cultivos y durante períodos de barbecho, con el objetivo de evaluar la dinámica temporal de los parámetros biológicos bajo los distintos sistemas de manejo.

1) Recuento de poblaciones bacterianas

Se tomaron 20 g de suelo de cada tratamiento, incluyendo períodos con cultivo en pie y en barbecho. Las muestras se suspendieron en 180 mL de agua destilada estéril y se agitaron a 60 rpm durante 15 min. Posteriormente, se realizaron diluciones seriadas en agua destilada estéril y se sembraron en medio Luria Bertani (LB) para el recuento de microorganismos mesófilos aerobios totales.

2) Determinación de actividades enzimáticas

Para la determinación de la actividad enzimática total se utilizó la técnica del diacetato de fluoresceína (FDA) descrita por Adam y Duncan (2000). Esta técnica permite cuantificar la actividad de enzimas microbianas tales como proteasas, lipasas y esterases no específicas asociadas a diferentes procesos bioquímicos del suelo. La actividad de la enzima nitrato reductasa (NR) se determinó mediante la metodología propuesta por Kandeler (1996). Esta enzima interviene en la reducción del nitrato a nitrito y su actividad es utilizada como un indicador de la transformación microbiana del nitrógeno en el suelo.

Resultados

El recuento de microorganismos mesófilos aerobios totales mostró diferencias entre los sistemas de manejo evaluados (Fig. 1). Como era esperable, el monte, considerado como sistema de referencia, presentó los mayores valores durante el período de evaluación. Entre los sistemas agrícolas, la rotación soja-maíz con cultivo de servicio presentó valores superiores al monocultivo de soja en la mayoría de las fechas analizadas; sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. Esta tendencia podría estar asociada al mayor aporte y diversidad de residuos vegetales derivados de la rotación y de los cultivos de servicio, que proporcionarían una mayor diversidad de sustratos para el desarrollo de la microbiota edáfica (Paul y Clark, 1996).

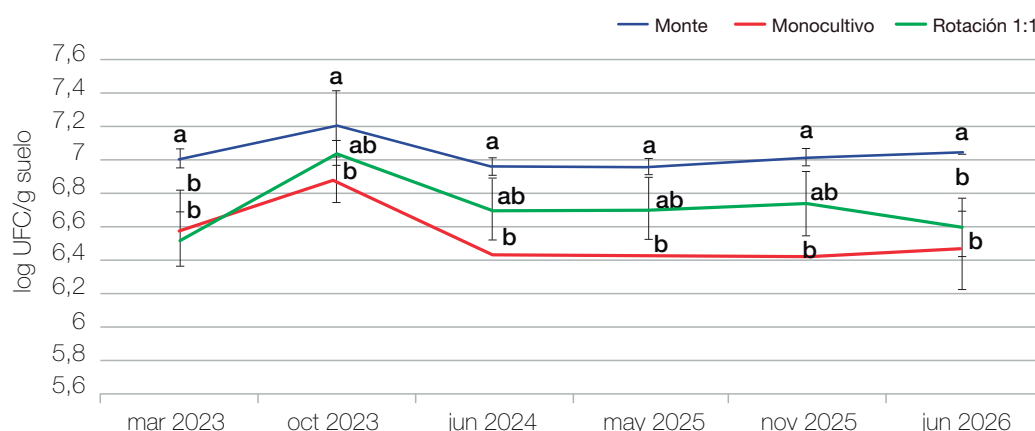


Figura 1. Efecto de los diferentes sistemas de manejo sobre las poblaciones de microorganismos mesófilos aerobios totales. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de LSD de Fisher ($p \leq 0,05$).

La actividad enzimática total determinada mediante diacetato de fluoresceína (FDA) presentó diferencias entre los sistemas de manejo y una marcada variación entre las diferentes épocas de muestreo (Fig. 2). Durante los primeros muestreos (marzo y octubre de 2023), el monte registró los mayores valores, seguido por la rotación soja-maíz con cultivo de servicio y, finalmente, el monocultivo de soja. A partir de junio de 2024, la actividad enzimática disminuyó en los tres sistemas, manteniéndose posteriormente en niveles más bajos. La variación temporal observada podría estar relacionada con cambios en las condiciones ambientales y en el estado del sistema productivo al momento del muestreo, dado que la actividad microbiana responde a la disponibilidad de sustratos y a las condiciones edáficas (Mendham *et al.*, 2002).

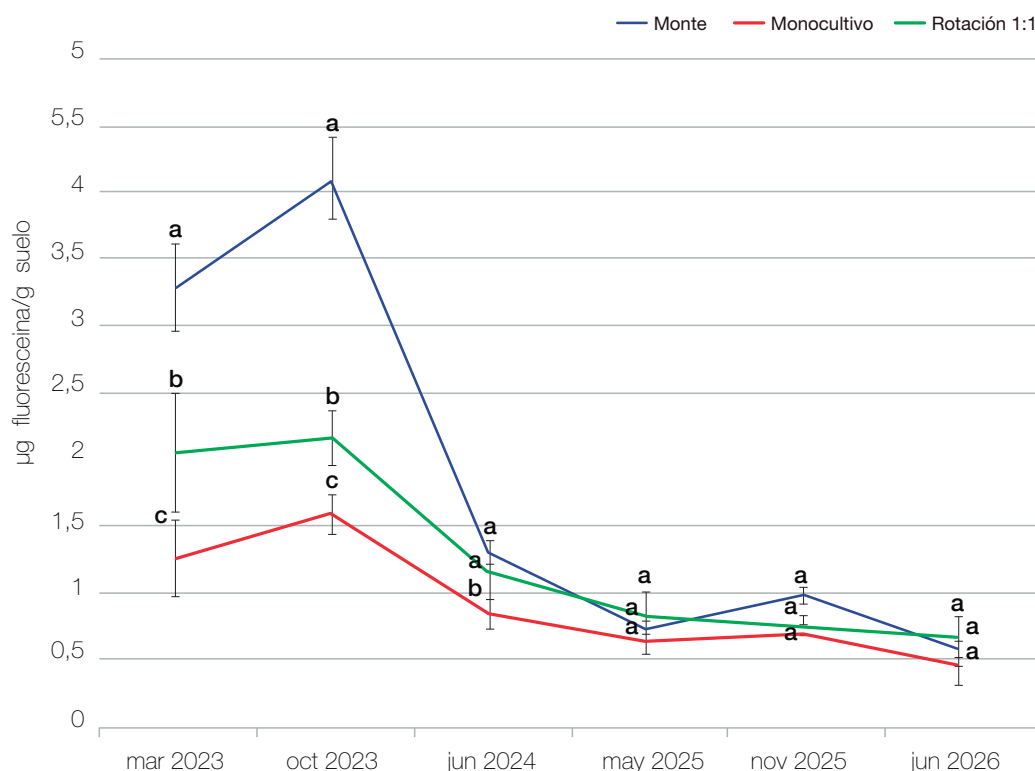


Figura 2. Actividad enzimática total (FDA) en muestras de suelo bajo diferentes sistemas de manejo. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de LSD de Fisher ($p \leq 0,05$).

Se observa que las diferencias entre los sistemas agrícolas fueron más contrastantes durante los primeros muestreos, mientras que posteriormente los valores tendieron a aproximarse. Este comportamiento podría indicar que la respuesta observada en los sistemas de manejo varía según el momento del ciclo agrícola y las condiciones ambientales del suelo. En este sentido, la mayor actividad registrada en la rotación durante los primeros muestreos podría asociarse con una mayor disponibilidad y diversidad de residuos vegetales aportados por los cultivos de servicio. El seguimiento de variables ambientales y de disponibilidad de sustratos permitiría profundizar en esta relación.

La actividad de nitrato reductasa presentó diferencias significativas entre los sistemas de manejo evaluados (Fig. 3). En todas las fechas analizadas, el monocultivo de soja registró actividades significativamente menores que el monte y la rotación soja-maíz con cultivo de servicio, mientras que no se observaron diferencias significativas entre estos dos últimos sistemas.



Figura 3. Actividad de nitrato reductasa (NR) en muestras de suelo bajo diferentes sistemas de manejo. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de LSD de Fisher ($p \leq 0,05$).

Si bien el monocultivo presentó valores inferiores al monte y a la rotación en todas las fechas evaluadas, la magnitud de la actividad de nitrato reductasa entre estos sistemas varió según el momento del muestreo. Este comportamiento sugiere que, además del sistema de manejo, la actividad de la nitrato reductasa podría estar condicionada por factores asociados al momento del ciclo agrícola y a las condiciones ambientales del suelo. En este sentido, la variabilidad temporal observada podría reflejar cambios en las condiciones que regulan los procesos de transformación del nitrógeno, por lo que resulta relevante considerar la dinámica estacional de este indicador al evaluar el efecto de los sistemas de manejo.

Consideraciones finales

Los resultados obtenidos indican que los bioindicadores microbianos y enzimáticos permitieron detectar cambios en la calidad biológica del suelo asociados a los diferentes sistemas de manejo. La actividad de nitrato reductasa mostró una mayor capacidad para diferenciar los sistemas agrícolas, mientras que la actividad enzimática total y el recuento de microorganismos mesófilos aerobios aportaron información complementaria sobre la funcionalidad biológica del suelo y su variación temporal. En conjunto, los resultados sugieren que la rotación soja-maíz con cultivo de servicio favorece el mantenimiento de la actividad biológica del suelo respecto del monocultivo de soja. La continuidad de los muestreos en ciclos sucesivos de los cultivos permitirá confirmar estas tendencias y profundizar en la influencia de la dinámica temporal sobre los bioindicadores evaluados.

Bibliografía

Adam, G. y Duncan, H. 2001. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 943–951.

Doran, J.W. y Zeiss, M.R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15: 3–11.

Kandeler, E. 1996. Nitrate reductase. En: Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E. y Margesin, R. (Eds.). *Methods in Soil Biology*. Springer-Verlag, Berlin. pp. 176–179.

Mendham, D.S., O'Connell, A.M., Grove, T.S., Rance, S.J. y Carlyle, J.C. 2002. Relationship between soil environmental variables, microbial biomass and soil enzyme activities in *Eucalyptus globulus* plantations of southwestern Australia. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 1711–1720.

Paul, E.A. y Clark, F.E. 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*. 2nd ed. Academic Press, San Diego, California.