

# Fertilización con P en soja: efectos sobre el cultivo y su balance en el suelo en la provincia de Tucumán durante la campaña 2024/2025

- › Gonzalo E. Robledo\*, G. Agustín Sanzano\*, Hugo Rojas Quinteros\*, Jessica P. Navarro Di Marco, José R. Sánchez\*\* y Franco Scalora\*\*

## Introducción

**D**urante la campaña 2024/2025, en la zona productora de granos de la provincia de Tucumán, el cultivo de soja ocupó una superficie aproximada de 186.000 ha, lo que representa un 73% de la superficie total sembrada con granos de nuestra provincia. Los suelos de esta región Chaco-pampeana se caracterizan por presentar bajos contenidos de materia orgánica y de algunos nutrientes, principalmente fósforo (P).

El bajo porcentaje de gramíneas en la rotación de estos sistemas productivos de granos y la baja reposición de nutrientes pos cosecha, sobre todo en lotes comerciales de arriendo, son algunas de las causas de la degradación química de los suelos de la región. Esta situación ha llevado a experimentar con la fertilización fosfatada, con el fin de conocer el efecto que tiene esta práctica sobre el cultivo y sobre el balance de dicho nutriente en el suelo. Para cumplir con el objetivo propuesto, en la localidad de Tacanas, se llevó a cabo un ensayo de fertilización en el cultivo de soja utilizando distintas dosis y fuentes fosfatadas, aplicadas durante la siembra del mismo.

## Metodología

**E**n la localidad de Tacanas, ubicada en el departamento de Leales, al este de la provincia de Tucumán, durante la campaña 2024/2025 se llevó a cabo un ensayo de fertilización en el cultivo de soja mediante la aplicación de distintas fuentes y dosis de P. Se ensayaron siete tratamientos: un testigo absoluto sin fertilizar y dos dosis distintas, 45 y 70 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, a partir de tres fuentes distintas: Superfosfato Triple de Calcio (46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), una mezcla sojera comercial (40% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y Fosfato Monoamónico líquido (20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). La Tabla 1 indica en detalle cada uno de los tratamientos evaluados:

\*Sección Suelos y Nutrición Vegetal, \*\* Sección Granos, EEAOC.

E-mail: [gerobledo@eeaoc.org.ar](mailto:gerobledo@eeaoc.org.ar)

## ➤ Agradecemos a las siguientes empresas por su apoyo constante



**Tabla 1.** Tratamientos evaluados. Tacanas, Tucumán. Campaña 2024/2025.

Tratamientos	Dosis P2O5 (Kg/ha)	Dosis fertilizante (Kg/Ha)	Momento y forma de aplicación
Testigo Absoluto (TA)	-	-	-
SPT 45	45 kg/ha	97,8 kg/ha	Siembra (inc.)
SPT 70	70 kg/ha	152,1 kg/ha	Siembra (inc.)
Mezcla 45	45 kg/ha	112,5 kg/ha	Siembra (inc.)
Mezcla 70	70 kg/ha	175,0 kg/ha	Siembra (inc.)
MAP L 45	45 kg/ha	225,0 kg/ha	Siembra (inc.)
MAP L 70	70 kg/ha	350,0 kg/ha	Siembra (inc.)

El diseño experimental utilizado fue en bloques al azar con tres repeticiones. El análisis de la varianza de los rendimientos medios de cada tratamiento fue realizado mediante LSD Fisher ( $P > 0,10$ ). Cada parcela estuvo constituida por seis líneas sembradas a 52 cm de distanciamiento, con un largo de 10 m, sumando así una superficie aproximada de 31 m<sup>2</sup>. Durante la madurez fisiológica del cultivo se cosecharon plantas completas de las tres líneas centrales de cada parcela en una longitud de 5 m, obteniendo así una superficie cosechada de 15,6 m<sup>2</sup>. Las muestras fueron trilladas en máquinas fijas para obtener el peso de granos de cada parcela, y finalmente se estimó rendimiento en kg/ha corregidos por humedad por tratamientos. La variedad de soja sembrada fue DM60i62 del semillero Don Mario, siendo la fecha de siembra el 14/12/2024; y la de cosecha, el 18/04/2025. La aplicación de fertilizantes, tanto sólidos como líquidos, fue al lado de la línea de siembra e incorporados en el suelo. En la Tabla 2 se muestran los resultados de los análisis de suelos hasta 30 cm de profundidad del sitio donde se llevó a cabo el ensayo:

**Tabla 2.** Resultados de análisis de suelo en el sitio del ensayo realizado por el laboratorio de Suelos y Nutrición Vegetal de la EAAOC.

pH	Salinidad (dS/m)	CO3 (%)	Textura est.	Materia orgánica (%)	P Bray I (ppm)
6,7	0,3	-	Franco limoso	2,6	20,7

Por otro lado, previo a la siembra de la soja y posterior a su cosecha, se realizó un muestreo de suelos hasta 30 cm de profundidad para conocer la variación en los contenidos de P Bray I (ppm) disponible de suelo de cada tratamiento entre ambos momentos.

Con respecto a las precipitaciones ocurridas, desde el día de la siembra hasta la cosecha del ensayo, el total de las precipitaciones registradas fue de 578 mm, lo que significó un 49% más de lluvias comparadas con los valores normales para la zona y para ese período. Además, la campaña se caracterizó por presentar precipitaciones tempranas desde el mes de octubre, por lo que la siembra se realizó con buenos contenidos de humedad de suelo hasta 120 cm de profundidad. En la Figura 1 se pueden observar las precipitaciones acumuladas durante el ciclo de cultivo de la soja en la campaña 2024/2025 en Tacanas, Tucumán.

\*Sección Suelos y Nutrición Vegetal, \*\* Sección Granos, EAAOC.

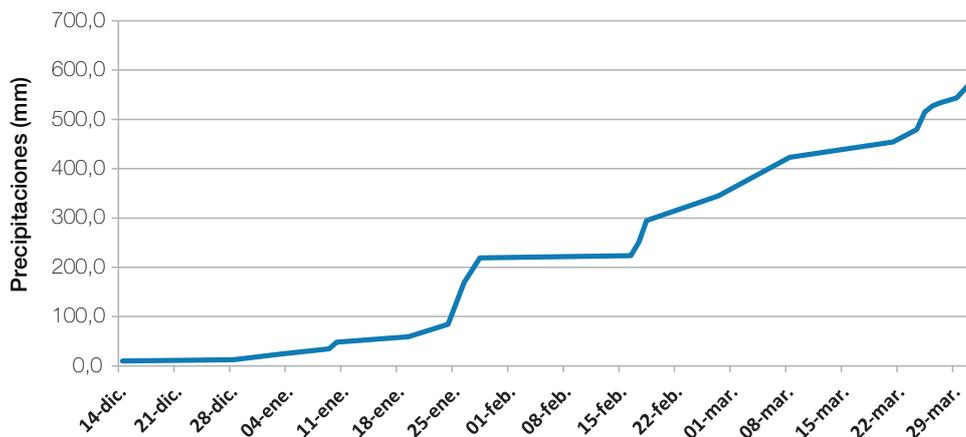


Figura 1. Precipitaciones acumuladas durante el ciclo del cultivo de soja. Campaña 2024/2025. Tacanas, Tucumán.

## Resultados

Como se observa en la Figura 2, todos los tratamientos fertilizados con fósforo rindieron más que el testigo absoluto. Sin embargo, solo el tratamiento con la mezcla sojera y en dosis de 70 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (P70 Mezcla) se diferenció estadísticamente del testigo absoluto sin fertilizar.

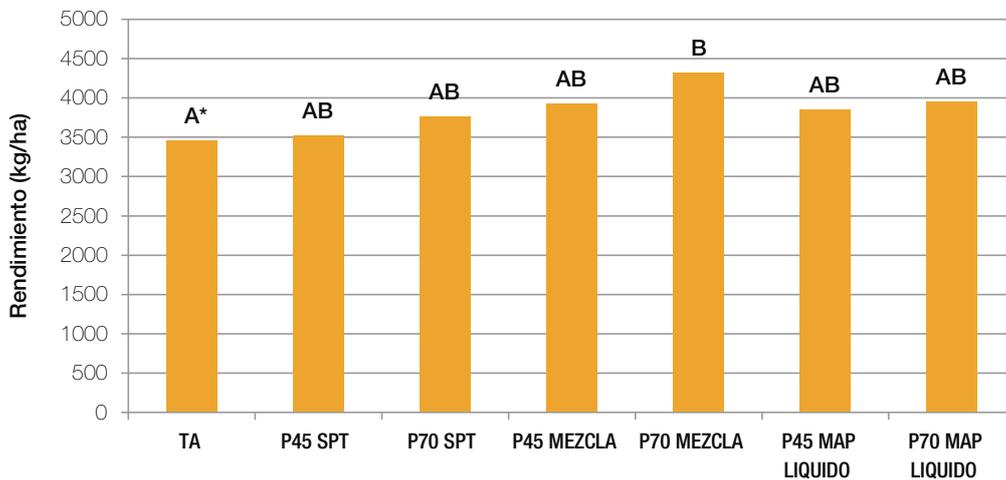
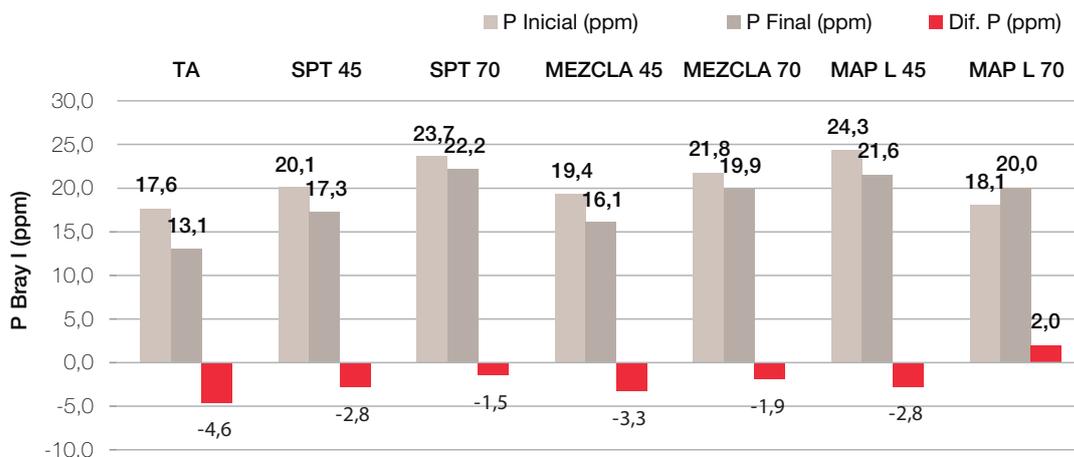


Figura 2. Rendimiento de granos en ensayo de fertilización en soja. Campaña 2024/2025. Tacanas, Tucumán.

\*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas LSD Fisher (P>0,10).

Si bien el valor promedio de P Bray I (ppm) disponible en el suelo durante la siembra de todas las parcelas del ensayo fue 20,7 ppm, se observó una gran variabilidad de este parámetro químico, con valores mínimos de 12,3 y máximos de 30,9 ppm. Por este motivo, desde la Sección Suelos y Nutrición Vegetal de la EEAOC, recomendamos tomar una muestra compuesta por 20 o más submuestras por cada 30 a 40 ha de superficie dentro de un lote.

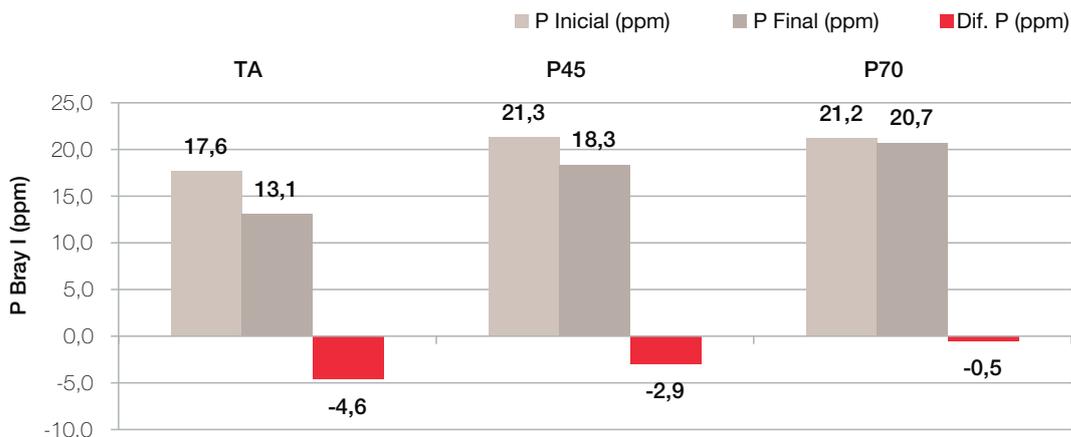
En todos los tratamientos, a excepción de MAP L 70, se observó una disminución en los contenidos de P disponible de suelo durante la cosecha del cultivo (Figura 3).



**Figura 3.** Variación en los contenidos de P Bray I disponible de suelo en ensayo de fertilización en soja. Campaña 2024/2025. Tacanas, Tucumán.

Teniendo en cuenta dicha variación de P disponible de suelo y el rendimiento promedio según dosis evaluadas, se podría definir cuál sería una dosis de reposición (cantidad de nutriente que se debe aplicar para satisfacer las necesidades del cultivo durante su ciclo y mantener el contenido de P disponible en el suelo) o de construcción (cantidad de nutriente que no solo busca satisfacer las necesidades del cultivo, sino también aumentar los contenidos de P disponible en el suelo).

En la Figura 4 se puede observar que con dosis de 45 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, la pérdida de P disponible de suelo es cercano a 3 ppm, mientras que con dosis de 70 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dicha pérdida es de 0,5 ppm. Sin embargo, la mayor disminución en los contenidos de P se dio cuando no se aplicó ninguna fuente fosfatada como fertilizante, con una disminución de 4,6 ppm.



**Figura 4.** Variación en los contenidos de P Bray I disponible de suelo en ensayo de fertilización en soja según dosis aplicadas. Campaña 2024/2025. Tacanas, Tucumán.

### Consideraciones finales

Los buenos rendimientos obtenidos en el cultivo de soja en este ensayo podrían atribuirse a las abundantes precipitaciones que caracterizaron la campaña 2024/2025 en la localidad de Tacanas.

Durante la siembra se observó una gran variabilidad en el contenido de P disponible de suelo, tanto a nivel lote como dentro del ensayo. Esta situación es frecuente en los suelos de la región, motivo por el cual se recomienda realizar una correcta toma de muestra para asegurar que sea representativa del lote en evaluación.

Todos los tratamientos fertilizados rindieron más que el testigo absoluto (TA); sin embargo solo el tratamiento de la mezcla sojera con dosis de 70 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se diferenció significativamente de aquél.

Exceptuando el tratamiento con 70 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizando MAP líquido como fuente, en el resto de los tratamientos se observó una disminución en los contenidos de P disponible de suelo hasta 30 cm de profundidad después de la cosecha del cultivo de soja.

Teniendo en cuenta la cantidad de P aplicado, el rendimiento del cultivo y la disminución del P disponible en suelo después de la cosecha, puede afirmarse que la dosis de 70 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se aproxima a una dosis de reposición. Dosis mayores a esta podrían considerarse de construcción para este sitio y en estas condiciones, donde se obtuvieron buenos rendimientos en el cultivo.

Los resultados del ensayo fueron alentadores para continuar evaluando nuevas dosis y fuentes de fertilizantes fosfatados en el cultivo de la soja. No obstante, repetir estas evaluaciones en campañas sucesivas permitirá otorgar mayor solidez a estas conclusiones.

# Bioindicadores para el estudio de diferentes sistemas de manejo de suelo

- › Lucrecia Ludueña\*, Gonzalo Robledo\*\*, Leandro Hidalgo\*\*, Javier Tonatto\* y María Laura Tortora\*

## Introducción

**D**urante la campaña 2023/2024 se implantaron 166.880 ha de soja en Tucumán, cifra que representa más del 60% del área total destinada a cultivos de granos estivales en la provincia (Fandos *et al.*, 2025). Los sistemas productivos de esta región se caracterizan por una insuficiente rotación con gramíneas y una limitada reposición de nutrientes tras la cosecha, lo que ha contribuido a la degradación de suelos. En consecuencia, se han registrado bajos niveles de materia orgánica y fósforo disponible, con una disminución progresiva en los rendimientos y en la calidad de los granos de soja en los últimos años (Robledo *et al.*, 2024). En este escenario, los indicadores fisicoquímicos tradicionales resultan insuficientes para identificar en forma temprana los cambios en la salud del suelo, ya que suelen reflejar alteraciones cuando el deterioro del suelo es avanzado. Por ello, se vuelve imprescindible estudiar indicadores biológicos, capaces de ofrecer una visión más integral y sensible de la calidad del suelo. Estos indicadores, en general, permiten detectar impactos a corto plazo vinculados a las prácticas agrícolas, anticipando posibles deterioros y facilitando decisiones de manejo más sustentables. En particular, la dinámica de las comunidades microbianas y su actividad enzimática son fundamentales para comprender procesos clave como la descomposición de residuos, la disponibilidad de nutrientes y el mantenimiento de la fertilidad. Considerando los distintos grados de intensificación y los contrastes entre el monocultivo y los esquemas de rotación con cultivos de cobertura, resulta esencial analizar cómo estas estrategias inciden sobre la biología del suelo. En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue estudiar los efectos de diferentes sistemas de manejo de suelo sobre poblaciones microbianas específicas y sobre la actividad enzimática total del suelo, utilizándolos como indicadores de su calidad y funcionalidad.

## Metodología

**L**as 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 campañas 2023, 2024 y 2025, se tomaron muestras de suelo de 0 a 10 cm de profundidad, sobre las cuales se analizaron distintos parámetros biológicos del suelo.

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

## ➤ Agradecemos a las siguientes empresas por su apoyo constante



### 1) Recuento de poblaciones bacterianas

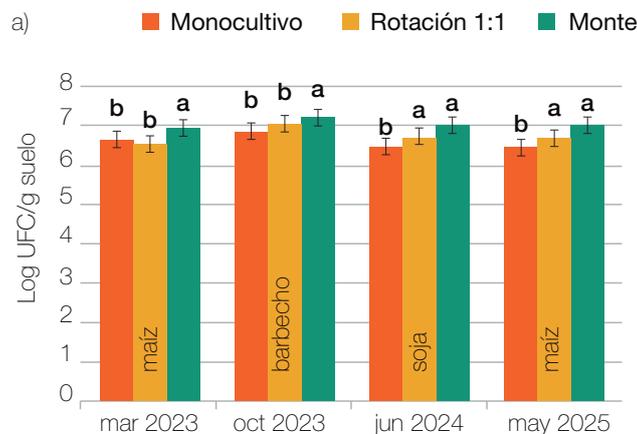
Se tomaron 20 g de suelo por tratamiento, incluyendo tanto períodos con cultivo en pie como en barbecho. Las muestras se diluyeron en 180 ml de agua destilada estéril y se agitaron a 60 rpm durante 15 min. Luego, se realizaron diluciones sucesivas en agua destilada estéril, que se sembraron en medios de cultivo selectivos: Luria Bertani (LB) para el recuento de mesófilos aerobios totales, y Agar Cetrimida (AC) para el recuento de bacterias del género *Pseudomonas*.

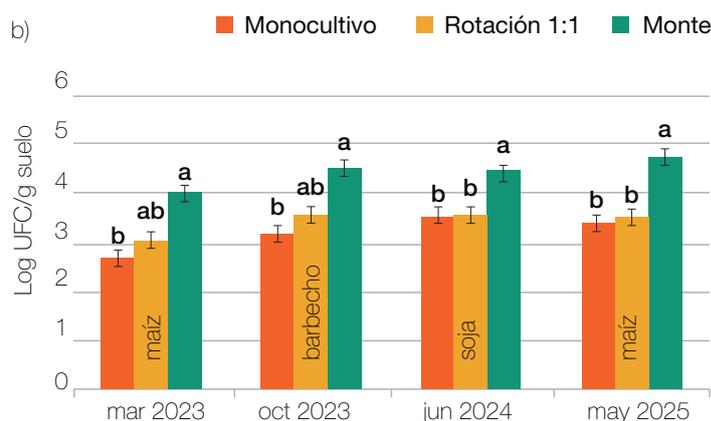
### 2) Determinación de la actividad enzimática total

Para la determinación de la actividad enzimática total se utilizó la técnica de la fluoresceína diacetato (FDA) descrita por Adam and Duncan (2000). Esta técnica permite cuantificar la actividad de enzimas microbianas tales como proteasas, lipasas y estereasas no específicas asociadas a diferentes procesos bioquímicos de suelo.

## Resultados

Al realizar el recuento de microorganismos mesófilos aerobios totales (Figura 1a), se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en dos de las fechas evaluadas: junio de 2024 y mayo de 2025. En ambas, el sistema de rotación soja-maíz con cultivo de servicio invernal presentó valores significativamente superiores al monocultivo de soja, lo que sugiere un impacto positivo de la diversificación de cultivos sobre la actividad microbiana general del suelo. Esta respuesta puede atribuirse a un mayor aporte y variedad de residuos vegetales y a una mayor diversidad estructural que ofrecen las rotaciones con gramíneas, lo que genera un entorno edáfico más favorable para el desarrollo de comunidades microbianas activas (Paul and Clark, 1996). Las condiciones del sistema, ya sea por la estabilidad y cobertura vegetal permanente del monte, o por los aportes mencionados en los sistemas rotados, favorecen la biodiversidad microbiana y el funcionamiento biológico del suelo.

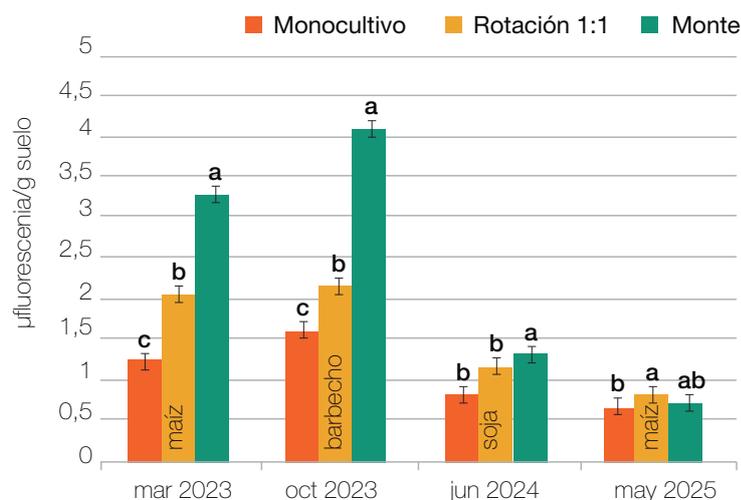




**Figura 1.** Efecto de los diferentes sistemas de manejo de suelo sobre las poblaciones de (a) mesófilos aerobios totales y (b) *Pseudomonas*. Las barras naranjas corresponden al monocultivo de soja, las amarillas al sistema de rotación soja-maíz 1:1 con cultivo de servicio invernal, y las verdes al monte natural. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de LSD de Fisher ( $p \leq 0,05$ ).

Respecto a las bacterias del género *Pseudomonas* (Figura 1b), si bien los recuentos fueron superiores en el sistema de rotación, las diferencias con el sistema de monocultivo no resultaron estadísticamente significativas en ninguna de las fechas analizadas. Esto indica que, bajo las condiciones evaluadas, el recuento total de *Pseudomonas* no fue un indicador suficientemente sensible para discriminar entre sistemas de manejo contrastantes. Cabe destacar que investigaciones realizadas en diferentes agroecosistemas han demostrado que las comunidades de *Pseudomonas* están fuertemente influenciadas por las especies vegetales presentes, las características del suelo y las prácticas de manejo (Picard and Bosco, 2008). Por esta razón, algunas especies de este género han sido propuestas como bioindicadores de calidad del suelo y de sustentabilidad agronómica (Agaras *et al.*, 2014). Sin embargo, su valor como indicador puede depender no solo de su abundancia, sino también de su composición y funcionalidad, aspectos que podrían evaluarse con enfoques moleculares más específicos.

Los resultados correspondientes a la evaluación de la actividad enzimática total del suelo (FDA) mostraron diferencias significativas entre los sistemas de manejo analizados, así como una marcada variación estacional (Figura 2). En general, los niveles de actividad fueron más altos en los meses cálidos (marzo y octubre) y más bajos en los meses fríos (junio), lo que coincide con estudios que señalan la influencia directa de la temperatura y la humedad sobre la actividad microbiana del suelo (Mendham *et al.*, 2002; Smithwick *et al.*, 2005).



**Figura 2.** Cuantificación de la actividad enzimática total (FDA) en muestras de suelo bajo diferentes sistemas de suelo. Las barras naranjas corresponden al monocultivo de soja, las amarillas al sistema de rotación soja-maíz 1:1 con cultivo de servicio invernal, y las verdes al monte natural. Valores de FDA con diferentes letras son estadísticamente diferentes (prueba de LSD  $p \leq 0,05$ ).

El sistema de rotación soja-maíz con cultivo de servicio invernal presentó valores superiores y estadísticamente más altos que el monocultivo, especialmente durante los períodos de temperaturas más elevadas (marzo 2023 y octubre 2023). Estos resultados ponen en evidencia el efecto positivo de las prácticas conservacionistas, como la incorporación de cultivos de cobertura y la siembra directa, que contribuyen a mejorar el aporte de materia orgánica al suelo y a mantener condiciones más favorables para la actividad microbiana (Bending *et al.*, 2002).

En contraste, el monocultivo de soja mostró los niveles más bajos de actividad enzimática en todas las fechas evaluadas, lo cual puede atribuirse a la escasa disponibilidad de residuos orgánicos y al deterioro biológico del suelo (Acosta-Martínez *et al.*, 2003). Estos resultados coinciden con los indicadores químicos medidos en los mismos tratamientos, como el contenido de carbono orgánico y materia orgánica total. En este sentido, el uso integrado de indicadores físico químicos junto con los biológicos permite una evaluación más completa de la funcionalidad y sostenibilidad de los agroecosistemas (Vargas Gil *et al.*, 2009).

## Consideraciones finales

Los resultados evidencian que el monocultivo de soja reduce la actividad biológica del suelo, con menores recuentos de mesófilos aerobios totales y baja actividad enzimática (FDA), mientras que la rotación soja-maíz con cultivo de servicio invernal mejora estos indicadores, especialmente en períodos cálidos. Aunque las bacterias del género *Pseudomonas* fueron más abundantes en rotación, no mostraron diferencias significativas, lo que limita su utilidad como bioindicador en estos sistemas. La integración de estos resultados con parámetros químicos refuerza la necesidad de adoptar prácticas sostenibles y continuar evaluando en conjunto indicadores biológicos, físicos y químicos para una mejor comprensión de la calidad del suelo.

## Bibliografía

---

**Acosta-Martínez, V.; T. M. Zobeck; T. E. Gill and A. C. Kennedy. 2003.** Enzyme activities and microbial community structure in semiarid agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils* 38: 216–227.

**Adam, G. and H. Duncan. 2000.** 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.

**Agaras B. C.; L. G. Wall and C. Valverde. 2014.** Influence of agricultural practices and season on the abundance and community structure of culturable *Pseudomonas* in soils under no-till management in Argentina. *Plant Soil* 382: 117-31.

**Bending, G. D.; M. K. Turner and J. E. Jones. 2002.** Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1073–1082.

**Fandos, C.; P. Scandaliaris; J. Carreras Baldrés; F. Scalora; C. Espeche y M. Devani. 2025.** Campaña estival 2024/2025: superficie cultivada con soja, maíz y poroto en Tucumán. Comparación con campañas precedentes. *Reporte Agroindustrial* 343: 3–5.

**Mendham, D. S.; K. V. Sankaran; A. M. O'Connell and T. S. Grove. 2002.** Eucalyptus globulus harvest residue management effects on soil carbon and microbial biomass at 1 and 5 years after plantation establishment. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1903–1912.

**Paul, E. A. and F. E. Clark. 1996.** Biochemical fractionation of soil organic matter after incorporation of organic residues. In: *Soil Microbiology and Biochemistry*, 2nd Edition, Academic Press, London 21: 213–219.

**Picard C. and M. Bosco M. 2008.** Genotypic and phenotypic diversity in populations of plant-probiotic *Pseudomonas* spp. colonizing roots. *Naturwissenschaften* 95: 1-16.

**Robledo, G.; A. Sanzano; H. Rojas; J. Navarro Di Marco; F. Scalora y M. Devani. 2024.** Efecto de distintas estrategias de fertilización sobre el rendimiento y la calidad industrial de los granos en el cultivo de soja en la provincia de Tucumán durante la campaña 2023/2024. *Soja en el NOA 2024. Publicación Especial* 74.

**Smithwick, E. H. A.; M. G. Turner; K. Metzger and T. C. Balser. 2005.** Variation in NH<sub>4</sub> mineralization and microbial communities with stand age in lodgepole pine (*Pinus contorta*) forests, Yellowstone National Park (USA). *Soil Biology and Biochemistry* 37: 1546–1559.

**Vargas Gil, S.; S. Pastor and G. J. March. 2009.** *Quantitative* isolation of biocontrol agents *Trichoderma* spp., *Gliocladium* spp. and *Actinomycetes* from soil with culture media. *Microbiology Research* 164: 196–205.

# F

## Condiciones Edáficas

La interacción entre **rotación**, **cobertura**, **nutrición** y **bioindicadores**

 Ver en **Youtube**

<https://youtu.be/RwOISpWAMxI?si=5eN0j3ukboVwMddE>

<https://youtu.be/iUt55bA8dp0?si=LyMLLnq4mD4-6qul>



El monocultivo de soja **degrada la vida del suelo**, reduciendo microorganismos y enzimas esenciales.

La **rotación soja-maíz** con cultivos de servicio mejora los indicadores biológicos y la salud del suelo.

Además, la **fertilización con fósforo** se consolida como una práctica clave para sostener y aumentar la fertilidad del suelo y asegurar altos rendimientos a largo plazo.