

# EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE ENMIENDA SOBRE LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA Y PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL SUELO EN CONDICIONES CONTROLADAS

Mercadal P.A.<sup>1</sup>; Vázquez C.<sup>2</sup>; Andrada G.<sup>1</sup>; Hernández J.F.<sup>1</sup>; Laurella E.<sup>3</sup>; Migliore J.A.<sup>4</sup>; Campitelli P.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Coloides y Enmiendas Orgánicas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Cátedra de Microbiología Agrícola. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup>Catedra de forrajes y manejo de pasturas. Departamento de producción animal. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina

<sup>4</sup>Catedra de Maquinaria Agrícola. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

paolacam@agro.unc.edu.ar

## RESUMEN

Recientemente en la provincia de Córdoba se aprobó la normativa 29/17 que autoriza la aplicación controlada al suelo de Residuos Pecuarios Estabilizados (RPE). Sin embargo, en la provincia los registros que relacionen el impacto de la aplicación de diferentes dosis de RPE en los parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo son escasos. En este trabajo, en condiciones controladas, se evaluó el impacto de 3 dosis de RPE en la calidad fisicoquímica y microbiológica del suelo. Se cuantifico N total, pH, conductividad eléctrica (CE) y actividad deshidrogenasa. Se demostró que el RPE aporta N total y que además se puede regular la dosis de aplicación, sin afectar significativamente los valores de pH y CE. Sin embargo, el efecto de la dosis en la actividad deshidrogenasa es transitorio; por lo que, se requiere aplicar con regularidad el RPE con el fin de mantener la calidad microbiológica del suelo.

Palabras clave: compost, actividad enzimática, residuos orgánicos, Haplustol Entico.

## INTRODUCCIÓN

Argentina es un país con una actividad agropecuaria predominante sobre otras industrias; por lo que, la actividad intensiva del sector genera con un crecimiento exponencial en las últimas décadas, un gran caudal de residuos orgánicos, tales como, guano vacuno, porcino y de pollo, entre otros (Bragachini et al., 2013; Perez Santiago Agustin, 2020). El inadecuado manejo de estos residuos tiene un impacto ambiental no deseado, como, por ejemplo, contaminación de napas freáticas, incorporación al suelo de metales pesados, drogas, antibióticos, etc. (Bragachini et al., 2013).

Es bien conocido que las prácticas agronómicas intensivas tienen una gran influencia en la pérdida de materia orgánica del suelo y nutrientes, por lo cual es común el uso de fertilizantes inorgánicos. El uso inadecuado de estos suplementos es el origen de numerosos casos de contaminación de aguas superficiales y freáticas (Fernández-Marcos, 2011). Debido a que la pérdida de la materia orgánica es el principal factor que afecta la producción de los cultivos (René Fernández Ojeda et al., 2016), en la actualidad, el uso de enmiendas orgánicas es una práctica recomendada para sustituir total o

parcialmente los fertilizantes minerales en la producción agropecuaria (Campitelli and Ceppi, 2008b). El uso de estos insumos mantiene o mejora el rendimiento de los cultivos y la fertilidad del suelo, favoreciendo el secuestro de carbono (Campitelli and Ceppi, 2008b).

Las enmiendas o abonos orgánicos incluyen todo material de origen orgánico utilizado para la fertilización de cultivos o como mejoradores de suelos. Estos tienen su origen en residuos vegetales y animales, e incluyen un grupo muy variado de mezclas tales como compost, lombricompost, entre otros (Barrientos Ramnos and Cabrera Rojas, 2020).

El compostaje es un proceso biológico aeróbico, que, bajo condiciones de humedad y temperaturas controladas, transforma los residuos orgánicos biodegradables en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato (Morales-barron, 2021). El tratamiento de los residuos sólidos mediante el proceso de compostaje permite eliminar los microorganismos patógenos que puedan generar un riesgo para la salud, lo cual asegura la incorporación de una enmienda segura estabilizada y con alta capacidad de humificación (Campitelli and Ceppi, 2008a).

El uso de compost puede satisfacer la demanda de nutrientes de los cultivos, reduciendo significativamente el uso de fertilizantes químicos y mejorando los parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo (Campitelli and Ceppi, 2008a). Esto es importante debido a que el nuevo marco legal en Argentina tiene en cuenta el impacto ambiental de los residuos pecuarios, y ha impulsado a los productores a la adecuada reutilización de residuos estabilizados. En particular, en la provincia de Córdoba se aprobó la normativa 29/17 autorizando bajo prácticas controladas la aplicación al suelo de Residuos Pecuarios Estabilizados (RPE). Sin embargo, en la provincia se cuenta con escasos registros que relacionen el impacto de diferentes dosis de RPE aplicada en los parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo. Dentro de los parámetros fisicoquímicos del suelo el N, pH y conductividad eléctrica (CE) desempeñan un rol fundamental en el desarrollo de los cultivos (Campitelli and Ceppi, 2008a). Por ejemplo, un valor de pH entre 5,5 a 6,5 permite el crecimiento de diversas plantas y favorece la solubilidad de los nutrientes; la salinidad o CE alta puede ocasionar problemas de fitotoxicidad en las plantas por efecto osmótico, siendo aceptables para el crecimiento de un cultivo valores de CE de entre 0-0,8 dS/m (Bárbaro et al., 2005).

Por otra parte, las enzimas del suelo son un tipo especial de proteínas que se combinan con un sustrato específico y catalizan una reacción bioquímica, pero que además son esenciales para la transformación de energía y el ciclado de nutrientes (Henríquez et al., 1969). Una de las principales enzimas del suelo es la deshidrogenasa. La enzima deshidrogenasa ha sido utilizada durante muchos años como un indicador para evaluar el efecto del manejo agronómico sobre la calidad o el estado de sanidad del suelo (Klimas, L; Balezentiene, 2009); ya que es responsable (junto con otras enzimas) de la liberación de C, N, y P, elementos importantes en la nutrición de las plantas. La determinación de la actividad deshidrogenasa permite, de manera global, tener una idea de los procesos microbianos que ocurren en el suelo debido a que se encuentran presentes únicamente en sistemas vivos, que indican además, la tasa de oxidación de la materia orgánica, y los cambios que se producen en forma rápida sobre la fertilidad del suelo (Henríquez et al., 1969). En vista de lo discutido, es necesario contar con registros actuales del rol que tiene la aplicación de diferentes dosis de RPE en la calidad fisicoquímica y biológica del suelo. Es por ello que, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de RPE sobre la calidad fisicoquímica y biológica del suelo, mediante un experimento de incubación llevado en condiciones de laboratorio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para poder realizar el experimento, se recolectó una muestra compuesta de suelo de 0-5 cm de profundidad conformada por 15 sub-muestras tomadas al azar dentro de una parcela experimental de 25x50 m en el Campo Escuela de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, perteneciente a la Universidad Nacional de Córdoba, ubicado camino a Capilla de los Remedios Km 15,5 (31° 28 49,42" S y 64°00 36,04" O). Por otro lado, a partir de una pila de compostaje de estiércol de tambo (estabilizado durante al menos 1 año y compostado en el Campo Escuela) se extrajeron cada 5 metros y a una profundidad y altura de 50 cm, 10 muestras de aproximadamente 500 g. Las muestras de suelo y RPE fueron acondicionadas hasta el momento de su procesamiento.

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Coloides y Enmiendas Orgánicas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNC). En el laboratorio, la muestra de suelo fue fraccionada en bandejas de 100 cc y se armaron 4 grupos que recibieron diferentes tratamientos (5 repeticiones por grupo). Los tratamientos consistieron en la adición de diferentes dosis de RPE hasta alcanzar un valor equivalente a: 10, 20 y 50 Tn/Ha y un control (sin enmienda). Las mezclas se regaron periódicamente para mantener la humedad a capacidad de campo y se almacenaron en cámara de cultivo a  $25 \pm 1$  °C. En cada muestra (mezcla) se determinó: a) pH y conductividad eléctrica (CE) en relación 1:5 (Campitelli and Ceppi, 2008a); b) Nitrógeno total Kjeldahl (NT) (Dionisi et al., 2020); c) % Humedad (Baird and Laura, 2017) y d) Actividad deshidrogenasa por determinación colorimétrica (Acosta and Paolini, 2005). Se determinaron los valores iniciales de los parámetros fisicoquímicos y biológicos en el suelo sin mezclar y en el RPE. Luego, se estudió la evolución de parámetros fisicoquímicos y biológicos ya que los tratamientos con las distintas dosis de RPE fueron evaluados a los 7, 14, 21, 28 y 60 días de colocadas las muestras en la cámara de cultivo.

## RESULTADOS

### Parámetros fisicoquímicos

Los valores iniciales de los parámetros fisicoquímicos tanto de las muestras de suelo y de RPE se muestran en la **Tabla 1**. Los valores iniciales de pH y CE del suelo están dentro de los intervalos aceptables para permitir el desarrollo de los cultivos y la movilidad de los nutrientes, mientras que, en el caso del RPE los valores se encuentran por encima de los límites pudiendo ocasionar la pérdida y mala adsorción de nutrientes, así como, generar inconvenientes de fitotoxicidad. Es importante destacar, que en el caso de  $N_t$  se puede observar que su valor inicial

en el RPE es aproximadamente 6 veces superior que en el suelo.

**Tabla 1.** Parámetros fisicoquímicos iniciales determinados en el suelo y RPE.

	pH	CE (dS/m)	N <sub>t</sub> (g/kg)
Suelo	6,75	0,12	1,51
RPE	8,35	2,07	9,66

<sup>a</sup> RPE: Residuos pecuarios estabilizados.

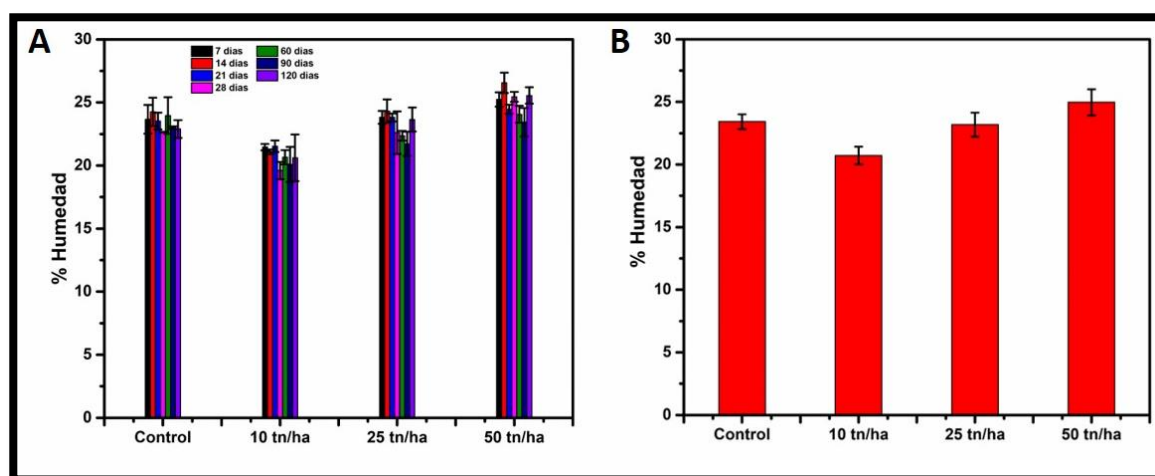
CE: Conductividad eléctrica.

N<sub>t</sub>: Nitrógeno total.

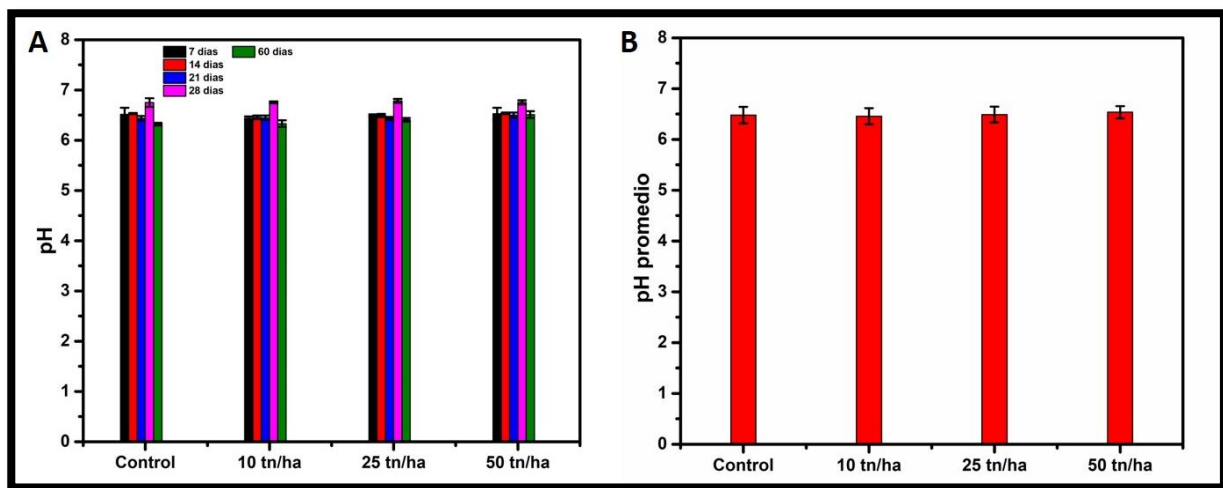
Una de las preguntas que surge es si al incorporar el RPE al suelo, la mezcla mantendrá un intervalo de valores de pH y CE adecuados para el desarrollo de cultivos, y, además, aumentará los valores de N<sub>t</sub> en el tiempo. Además, otra incógnita es si la dosis de RPE tendrá algún impacto, en el tiempo, de los parámetros fisicoquímicos anteriormente mencionados. Para dar respuesta a estas preguntas se analizó la evolución en el tiempo de los valores de pH, CE y N<sub>t</sub> de la mezcla. Es importante remarcar que la mezcla suelo/RPE se incubó en condiciones controladas manteniendo el % de humedad a capacidad de campo con el fin de tener las condiciones óptimas para el desarrollo de microorganismos, así como también, evitar errores en la determinación de la evolución de los parámetros fisicoquímicos estudiados. En la **Figura 1A**, se muestra la evolución temporal del porcentaje de humedad para los distintos tratamientos. Se puede apreciar que en todos los casos no hubo variaciones significativas, manteniéndose los valores en un intervalo del 20-27,5 %. Este hecho también se puede observar claramente calculando el promedio del porcentaje de humedad para los distintos tratamientos

hasta los 60 días, donde también se observa la misma tendencia (**Figura 1B**).

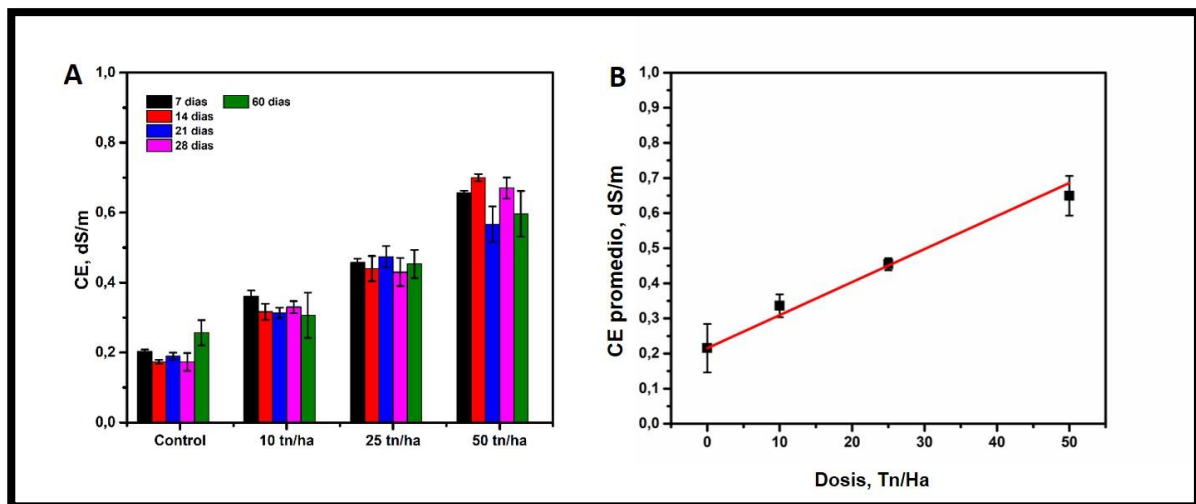
Al analizar el pH se pudo observar que independientemente de la dosis de RPE añadida y los días transcurridos los valores de pH se mantienen en promedio a 6,5 (**Figura 2 A y B**). El hecho que los valores iniciales de pH del suelo (pH=6,75) no se encuentren prácticamente alterados luego de agregar el RPE (pH=8,35) se debe a la bien conocida capacidad buffer de los mismos. Otro aspecto a destacar es que, al no variar significativamente los valores de pH antes y después de agregar enmienda, el lote puede ser fertilizado utilizando diferentes dosis de RPE sin afectar su potencial agrícola, disponibilidad de nutrientes esenciales y generar toxicidad de otros elementos (Kloster et al., 2008). Por otra parte, la evolución temporal en la salinidad de la mezcla hasta los 60 días de aplicado el RPE no muestra diferencias significativas (**Figura 3 A**). En cuanto a los valores promedio de CE en función la dosis se puede apreciar que a medida que aumenta la cantidad de RPE, aumentan los valores promedio de CE de 0,2 a 0,65 dS/m para las dosis de 0 a 50 Tn/Ha, respectivamente (**Figura 3B**). Sin embargo, todos los valores siempre fueron menores a la CE inicial del RPE (**Tabla 1**), además de estar por debajo del límite superior de salinidad óptima (CE=0,8 dS/m). El hecho de que los valores de CE no superen el límite superior de salinidad permite inferir que la aplicación de RPE, en un amplio intervalo de dosis, no modifica el potencial osmótico del agua del suelo, no provoca desequilibrios en el metabolismo de nutrientes y no generaría problemas de fitotoxicidad, permitiendo así el desarrollo de diversos cultivos.



**Figura 1.** Porcentaje de humedad de las distintas mezclas suelo/RPE. **A)** Evolución temporal hasta los 60 días del porcentaje de humedad para cada uno de los distintos tratamientos. **B)** Valores promedio para cada tratamiento del % de humedad hasta los 60 días del agregado de RPE.



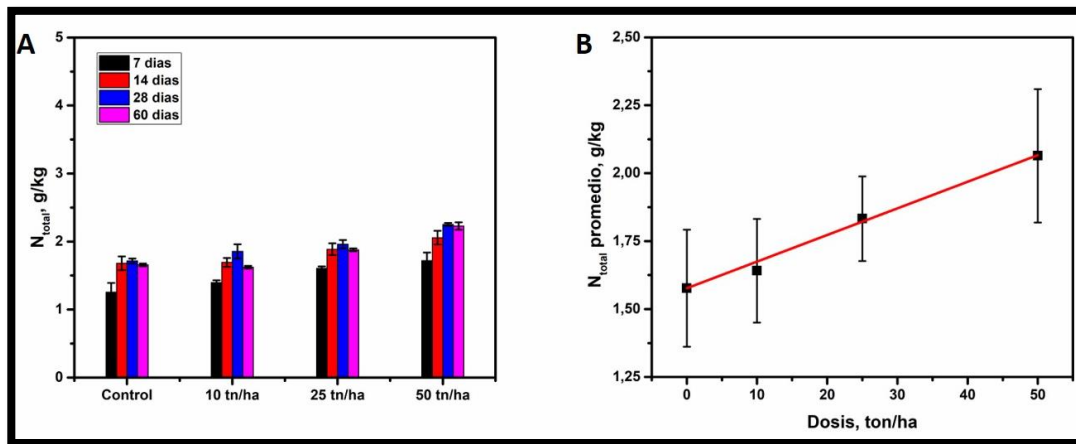
**Figura 2.** Valores de pH de las distintas mezclas suelo/RPE. **A)** Evolución temporal del pH para los distintos tratamientos. **B)** Valores promedio del pH a lo largo de 60 días luego de agregar diferentes dosis de RPE.



**Figura 3.** Valores de conductividad eléctrica (CE) de las distintas mezclas suelo/RPE. **A)** Evolución temporal de la CE para los distintos tratamientos. **B)** Valores promedio de la CE a lo largo de 60 días luego de agregar diferentes dosis de RPE. La línea roja continua es el ajuste lineal de los datos experimentales.

Por otra parte, para estudiar la calidad del RPE como fertilizante orgánico se cuantificó la evolución en el tiempo del contenido total de N para los distintos tratamientos, ya que, es el nutriente que en general más influye en el rendimiento. La **Figura 4A**, se observa la evolución en el tiempo, hasta los 60 días, del contenido de  $N_t$  para las distintas dosis de RPE, donde se puede observar que para una misma dosis de RPE el valor  $N_t$  aumenta hasta los 28 días y luego es aproximadamente constante entre los días 28-60. Otro aspecto que es interesante es que el aumento del  $N_t$  hasta los 28 días es mayor para las diferentes dosis de RPE, con respecto al control. Este hecho se atribuye al  $N_t$  aportado por el RPE en conjunto con un aumento de la actividad microbiana que facilita la disponibilidad del mismo. Es importante destacar que el efecto del aumento del  $N_t$  al cabo de los 28 días también se observa en el

tratamiento control, aunque en forma menos marcada que con respecto a los grupos donde se agregó RPE. Este hecho atribuye al aumento del porcentaje de humedad de la muestra al ser regada periódicamente, ya que, es bien conocido que un aumento de los niveles hídricos del suelo se corresponde con un aumento del contenido de  $N_t$  del suelo. Por otro lado, si se calcula el promedio del contenido de  $N_t$  a lo largo de 60 días de agregar las diferentes dosis de RPE se puede apreciar que a medida que aumenta la cantidad de enmienda añadida hay un mayor aumento del contenido de  $N_t$  (**Figura 4 B**). Este aspecto permite inferir que a campo se puede regular la dosis de RPE como fertilizante en función de las necesidades del suelo y cultivo, sumado al hecho de que la CE y pH del suelo no van a sufrir repercusiones negativas (**Figura 2 y 3**).

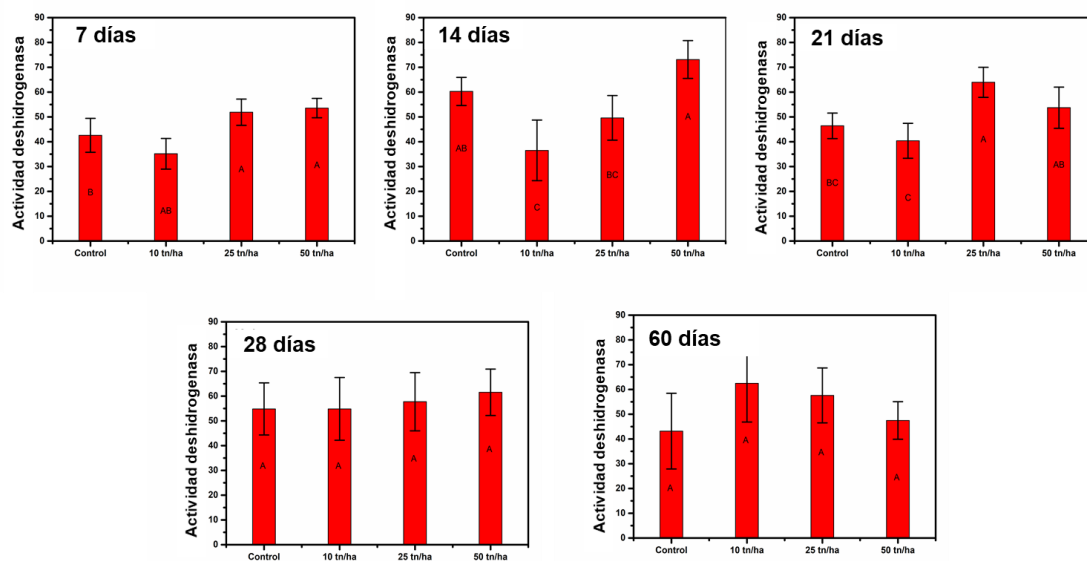


**Figura 4.** Valores de Nitrógeno total ( $N_t$ ) de las distintas mezclas suelo/RPE. **A)** Evolución en el tiempo del contenido de  $N_t$  para los distintos tratamientos. **B)** Promedio del contenido de  $N_t$  a lo largo de 60 días de luego de agregar diferentes dosis de RPE. La línea roja continua es el ajuste lineal de los datos experimentales.

### Actividad microbiana

La actividad microbiana fue evaluada a partir de la determinación de la actividad de la enzima deshidrogenasa. La actividad de esta enzima es un buen indicador de la actividad biológica (microbiana) de un suelo. En la **Figura 5**, se observan los valores de actividad

deshidrogenasa evaluados en distintos días y con dosis creciente de RPE. En general, podemos observar que la actividad varió en forma significativa a los 7, 14 y 21 días. A los 7 días la actividad fue mayor en dosis de 25 y 50 Tn/Ha de RPE, siguiendo una tendencia similar a los 21 días. A los 28 y 60 días de aplicación no se encontraron diferencias significativas entre las dosis aplicadas.



**Figura 5.** Valores de la actividad de la enzima deshidrogenasa en función de la dosis a lo largo de 60 días de luego de agregar diferentes dosis de RPE.

En general los resultados indican que la incorporación de las dosis más altas de RPE incrementa la actividad de esta enzima, sugiriendo a su vez un aumento de su actividad biológica. Esto se debe a que el tipo de materia orgánica que es incorporada es biológicamente más activa que la del suelo, o bien que los compuestos incorporados con ella son capaces de activar la biomasa microbiana autóctona del mismo (Acosta y Paolini, 2005).

Por último, la actividad deshidrogenasa durante todo el experimento, fue mayor en los tratamientos que se enmendaron con dosis más altas de RPE en relación con el suelo control. El hecho que los valores obtenidos a los 28 y 60 días no presentaran diferencias significativas con respecto al control, demuestra que el efecto del RPE sobre la actividad biológica puede ser transitorio. Esto permite inferir que la práctica de incorporar RPE a este tipo de suelo requiere de regularidad.

En resumen, es importante remarcar que el aporte de N<sub>t</sub> del RPE demuestra su capacidad como fertilizante orgánico y que además se puede regular la dosis de aplicación en función de las necesidades del suelo y cultivo, sin afectar significativamente los valores de pH y CE, al menos en un periodo de hasta 60 días. Sin embargo, el efecto de la dosis en la actividad deshidrogenasa es transitorio; por lo que, se requiere aplicar con regularidad el RPE con el fin de mantener su calidad microbiológica.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba (SeCyT-UNC) y a la Secretaria de Políticas Universitarias (SPU). Parte de los resultados de esta investigación han sido financiados con el proyecto Agregando Valor 2018 "EL JUEGO DEL RECICLADO" IF-2018-53319830-APN-DNDUYV#MECCYT.

## REFERENCIAS

- Acosta, Y., and Paolini, J. 2005. Actividad de la enzima deshidrogenasa en un suelo calciorthids enmendado con residuos orgánicos. *Agron. Trop.* 55, 1–10.
- Baird, R., and Laura, B. 2017. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 23th editi. Washington.
- Bárbaro, L. A., Karlanian, M. A., and Mata, D. A. 2005. Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica en los sustratos para plantas. *Inst. Floric. CIRN*, 1–15.
- Barrientos Ramnos, L. A., and Cabrera Rojas, D. E. 2020. Efecto del compost de residuos orgánicos y estiércol vacuno en suelo franco arenoso de la Asociación Vivienda La Bloquetera - Villa María del Triunfo. Universidad de Peruana Union.
- Bragachini, M. A., Huerga, I., Mathier, D. F., and Sosa, N. 2013. Residuos pecuarios: Una problemática que puede transformarse en oportunidad. *Inst. Nac. Tecnol. Agropecuaria*, 1–6.
- Campitelli, P., and Ceppi, S. 2008a. Chemical, physical and biological compost and vermicompost characterization: A chemometric study. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 90, 64–71.
- Campitelli, P., and Ceppi, S. 2008b. Effects of composting technologies on the chemical and physicochemical properties of humic acids. *Geoderma* 144, 325–333.
- Dionisi, C. P., Mignone, R. A., Rubenacker, A. I., Pfaffen, V., Bachmeier, O., Campitelli, P. A., et al. 2020. Monitoring of physicochemical parameters of soils after applying pig slurry. Analysis of its application in short and long periods in the province of Córdoba, Argentina. *Microchem. J.* 159, 105545.
- Fernández-Marcos, M. L. 2011. *Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola*.
- Henríquez, C., Uribe, L., Valenciano, A., and Nogales, R. 2014. Actividad enzimática del suelo -Deshidrogenasa, β-Glucosidasa, Fosfatasa y Ureasa- bajo diferentes cultivos. *Agron. Costarric.* 38, 43–54.
- Klimas, L; Balezentiene, E. 2009. Effect of organic and mineral fertilizers on some soil properties. *Agron. Res.* 7, 191–197.
- Morales-barron, B. M. (2021). Etapas del composteo y sus beneficios microbiológicos. *Conferencia de la Asociación Poblana de Ciencias Microbiológica*, 2–4.
- Perez Santiago Agustin 2020. Diversidad industrial argentina y la pampa. 1–10.
- René Fernández Ojeda, P., Acevedo, D. C., Morales, A. V., and Uribe Gómez, M. 2016. State of the essential chemical elements in the soils of natural, agroforestry and monoculture systems. *Rev. Mex. Ciencias For.* 7, 65–77.