https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2026.e2801848 e-ISSN: 2305-0683 ISSN: 1684-9086

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Disponibilidad de hierro, manganeso, cobre y zinc en diferentes usos y profundidades de un Oxisol del Alto Paraná, Paraguay

Availability of iron, manganese, copper, and zinc in different land uses and depths of an Oxisol in Alto Paraná, Paraguay

Milciades Prieto Arevalos[1]*, Arnulfo Encina Rojas[1,2], Jimmy Rasche Álvarez[1,2], Daisy Ramírez Monzón[1], Diego Augusto Fatecha Fois[1], Ever Marcelo Maidana Chavez[1]

[1] Universidad Nacional Este, Facultad de Ingeniería Agronómica, Programa de Doctorado profesional en Agronomía, Minga Guazú, Paraguay.
[2] Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, San Lorenzo, Paraguay.

***Autor para correspondencia:**
prietomilciades@hotmail.com

Conflictos de interés:
No existe ningún tipo de conflicto a declarar.

Contribución de autores:
M.P.A. diseñó y ejecutó el experimento, recopiló los datos y realizó el análisis estadístico, además de gestionar el financiamiento. A.E.R., J.R.A., D.R.M., D.A.F.F. supervisaron el desarrollo del estudio y elaboraron el borrador inicial del artículo. E.M.M.C. diseñó las figuras y las tablas de la investigación, realizó el análisis estadístico, corrigió las citas y las referencias bibliográficas.

Financiamiento:
La Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Este financió el análisis del suelo. Esta investigación no recibió otro financiamiento externo.

Historial:
Recibido: 14-07-2025;
Aceptado: 17-04-2026;
Publicado: 14-09-2026.

Disponibilidad de datos:
Todo el conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio es de acceso abierto, disponible en: https://zenodo.org/records/21283081.

Editor responsable:
Arnaldo Esquivel Fariña
Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.

Comentarios de revisión: El presente artículo ha sido evaluado mediante un proceso de revisión por pares en modalidad de doble ciego. Los informes de revisión, en línea con la política de transparencia editorial, se encuentran disponibles en: https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/848/68

Licencia:
Artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY 4.0

RESUMEN

La adecuada disponibilidad de los micronutrientes es fundamental para el desarrollo de los cultivos agrícolas, ya que son esenciales para el crecimiento de la planta, la formación de clorofila y la optimización del aprovechamiento del nitrógeno. El objetivo de este estudio fue determinar la influencia del uso y la profundidad del suelo en los niveles de hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn) en un Oxisol, y analizar la relación de estos micronutrientes con el pH y la materia orgánica (MO). El análisis estadístico se realizó mediante la prueba no paramétrica de Friedman. Los tratamientos consistieron en cuatro usos del suelo (Bosque, Pastura, Agricultura convencional, Agricultura conservacionista) y seis profundidades (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100, 100-150 cm, respectivamente). En el sistema de agricultura se registraron los niveles más bajos de Mn (43,4 mg kg^{-1}), Cu (14,2 mg kg^{-1}) y Zn (2,2 mg kg^{-1}); en contraste la influencia de estiércol en el suelo de pastura favoreció las mayores concentraciones de micronutrientes con valores de Fe: 47,9 mg kg^{-1}, Mn: 47,5 mg kg^{-1}, Cu: 26,9 mg kg^{-1} y Zn 4,5 mg kg^{-1}. En los cuatro usos de suelos los niveles más elevados de Cu se registraron en la capa de 15 a 60 cm. En la capa superficial de 0-5 cm se destacó la mayor concentración de MO en bosque y pastura (6.7% y 4.9%). El análisis estadístico muestra que el suelo de bosque presentó un pH 5,3 más ácido que los demás usos de suelo. No se observó correlación significativa entre los micronutrientes evaluados y las variables pH y materia orgánica del suelo.

Palabras claves: micronutrientes, pH del suelo, materia orgánica, profundidad del suelo, uso del suelo, Oxisol.

ABSTRACT

The adequate availability of micronutrients is fundamental for the development of agricultural crops, as they are essential for plant growth, chlorophyll formation, and optimized nitrogen utilization. The objective of this study was to determine the influence of land use and soil depth on the levels of iron (Fe), manganese (Mn), copper (Cu), and zinc (Zn) in an Oxisol, and to analyze the relationship of these micronutrients with pH and organic matter (OM). Statistical analysis was performed using the non-parametric Friedman test. The treatments consisted of four land uses (Forest, Pasture, Conventional Agriculture, Conservation Agriculture) and six depths (0–5, 5–15, 15–30, 30–60, 60–100, and 100–150 cm, respectively). The lowest levels of Mn (43.4 mg kg^{-1}), Cu (14.2 mg kg^{-1}), and Zn (2.2 mg kg^{-1}) were recorded in the agricultural system; in contrast, the influence of manure in the pasture soil favored the highest micronutrient concentrations, with values of Fe: 47.9 mg kg^{-1}, Mn: 47.5 mg kg^{-1}, Cu: 26.9 mg kg^{-1}, and Zn: 4.5 mg kg^{-1}. In all four land uses, the highest Cu levels were recorded in the 15–60 cm layer. The highest concentration of organic matter (OM) was found in the 0–5 cm surface layer in forest and pasture (6.7% and 4.9%, respectively). Statistical analysis shows that the forest soil had a pH 5.3, which was more acidic than the other land uses. No significant correlation was observed between the evaluated micronutrients and the soil pH and organic matter variables.

Key words: micronutrients, soil pH, organic matter, soil depth, land use, Oxisol.

 Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable que sustenta la nutrición vegetal, la producción agrícola y, en consecuencia, la seguridad alimentaria mundial en constante crecimiento (Rodríguez, Martín, Pérez y García, 2025). Constituye la base fundamental para el desarrollo de las plantas, ya que proporciona soporte físico, agua y nutrientes esenciales. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2025) define el suelo como el medio natural para el crecimiento de las plantas, cuya composición y dinámica determinan, en gran medida, la productividad agrícola.

La adecuada disponibilidad de nutrientes es un requisito indispensable para el éxito de cualquier sistema agrícola. Entre ellos, los micronutrientes hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn) desempeñan funciones esenciales en diversos procesos fisiológicos y bioquímicos, como la síntesis de clorofila, la fotosíntesis y la asimilación del nitrógeno. Su deficiencia, incluso en bajas concentraciones, puede afectar significativamente el crecimiento vegetal, el rendimiento de los cultivos y la calidad de la producción agrícola (Macías, 2022).

Los niveles y la disponibilidad de micronutrientes varían considerablemente según el tipo y el uso del suelo, y están influenciados por factores como el material parental, la erosión, la lixiviación, el pH y las prácticas de manejo agrícola (Villasanti, Román y Pantoja, 2013). De acuerdo con Roca, Pazos y Bech (2007), las principales causas de deficiencia de micronutrientes son: i) la baja concentración del elemento en el suelo, ii) la presencia de formas químicas no disponibles para las plantas y iii) las interacciones antagónicas entre diferentes elementos. Asimismo, Arroyo, Sanzano, Rojas Quinteros y Navarro (2022) señalan que el conocimiento de la dinámica, los requerimientos y las funciones de estos nutrientes es fundamental para alcanzar sistemas de producción agrícola más eficientes, rentables y sostenibles.

La limitada disponibilidad de micronutrientes puede reducir el rendimiento y la calidad de los cultivos, afectando directamente la rentabilidad de los sistemas productivos y el bienestar de los productores. En este contexto, y considerando la escasa información disponible sobre el estado de los micronutrientes en los suelos del distrito de Minga Guazú, el presente estudio tuvo como objetivo comparar la disponibilidad de hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn) entre diferentes usos y profundidades del suelo en un Oxisol del Alto Paraná, Paraguay. Asimismo, se analizó la relación entre estos micronutrientes, el pH y el contenido de materia orgánica del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio, tratamientos y colecta de suelo**:**

El área de estudio se localizó en el distrito de Minga Guazú, departamento de Alto Paraná. El clima de la zona es subtropical húmedo, con una temperatura media anual de 22,5 ºC. El suelo corresponde al subgrupo taxonómico *Rhodic Kandiudox*, caracterizado por la textura arcillosa, buena aireación, profundo, buena permeabilidad, predominantemente de color rojo oscuro y geológicamente deriva de materiales de origen basáltico, (López Gorostiaga & Lesme Brun, 2024).

Esta investigación se clasificó como un estudio descriptivo comparativo. La recolección de muestras se realizó mediante un muestreo aleatorio estratificado simple, considerando los niveles de micronutrientes, pH, materia orgánica del suelo, en los diferentes usos y profundidades del suelo.

Las variables independientes fueron el uso del suelo, con cuatro categorías (bosque, agricultura convencional, siembra directa y pastura), y la profundidad del perfil, con seis niveles (0–5, 5–15, 15–30, 30–60, 60–100 y 100–150 cm). Ambos factores constituyeron las categorías de comparación del estudio.

Análisis laboratoriales:

El pH del suelo se determinó en agua (pH H_2O) en una relación suelo:agua 1:2,5, utilizando el pHmetro. La materia orgánica se determinó por método de Walkley Black para lo cual se utilizó dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, con titulación posterior con sulfato ferroso (Fe SO_4) según Lana, Fey, Fradoloso, Richart & Fontaniva, (2010). Los micronutrientes Fe, Mn, Zn y Cu se determinaron utilizando la solución extractora Mehlich-1 y la lectura mediante espectrofotómetro de absorción Atómica (Silva, 2009).

Los datos fueron evaluados mediante pruebas de normalidad. Debido a que no cumplieron el supuesto de normalidad, las comparaciones entre tratamientos se realizaron mediante la prueba no paramétrica de Friedman al 5 % de significancia. Además, se realizó análisis de regresión lineal para evaluar las relaciones entre los micronutrientes y el contenido de materia orgánica y pH del suelo.

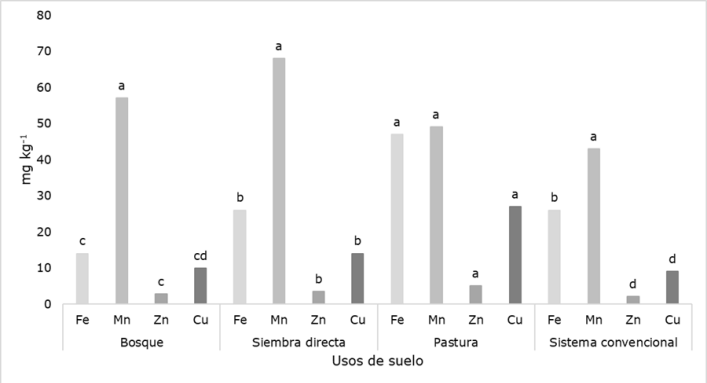
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación de hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), Zinc (Zn) en diferentes usos suelo

En la figura 1 se presentan los resultados del análisis del test de Friedman de los micronutrientes, de los cuales el contenido de Fe, Cu, Zn mostraron diferencia significativa en los distintos usos del suelo, pero el Mn no tuvo diferencias significativas estadísticamente.

El menor contenido de Fe se observó en el sistema convencional, el cual difirió estadísticamente de los demás usos. Los valores en bosque y siembra directa fueron similares, mientras que el mayor contenido se registró en el suelo bajo pastura.

El incremento del Fe en el suelo de pastura puede atribuirse a la constante incorporación de estiércol animal, el cual constituye una fuente importante de este micronutriente. Salazar et al. (2007) reportaron concentraciones de 3332



*Media con letra igual en el gráfico, son significativamente iguales (p > 0,05), según Friedman.

Figura 1. Contenido de Fe, Mn, Cu y Zn en los diferentes usos del suelo. FIA-UNE. 2026.

mg kg⁻¹ de Fe en estiércol bovino, valores semejantes a los obtenidos por Barbazán et al. (2011). En estos sistemas, la deposición continua de residuos orgánicos genera un proceso edafogenético natural que enriquece el suelo superficial en Fe. Resultados similares fueron observados por Lobo et al. (2012), quienes reportaron mayor disponibilidad de micronutrientes en suelos bajo pastura, particularmente con *Brachiaria decumbens*.

En cuanto al uso del suelo, los valores más bajos de Cu se registraron en los sistemas de bosque y agricultura convencional, sin diferencias significativas entre ellos. En cambio, los suelos de siembra directa presentaron niveles más elevados de Cu, diferenciándose estadísticamente del bosque y del sistema convencional. El mayor contenido de Cu se observó en el suelo de pastura, siendo significativamente superior a los demás usos.

El incremento del Cu en los sistemas de siembra directa y pastura puede estar asociado al manejo del suelo y al tipo de cobertura vegetal. Según Lavado, Porcelli y Álvarez (1999), las prácticas de manejo, como el tipo de labranza, pueden modificar la distribución vertical de los micronutrientes. Lobo et al. (2012) también destacaron que el uso y manejo del suelo influyen directamente en el contenido y distribución de Cu en el perfil.

El mayor contenido de Cu en los suelos de pastura podría deberse a la naturaleza de la vegetación predominante, que favorece la acumulación del micronutriente en el sistema radicular y en la materia orgánica aportada. Casanova y Lobo (2011) señalaron que la composición botánica incide en la variación del contenido de micronutrientes, mientras que Mosqueda y González (2015) indicaron que el Cu es uno de los elementos más abundantes en especies forrajeras, especialmente en dicotiledóneas, lo cual concuerda con los resultados observados.

El suelo bajo pastura registró los valores más elevados de Zn, diferenciándose significativamente de los demás usos. En la siembra directa también se observaron niveles superiores al bosque, mientras que el sistema convencional presentó las concentraciones más bajas de Zn, difiriendo estadísticamente del bosque.

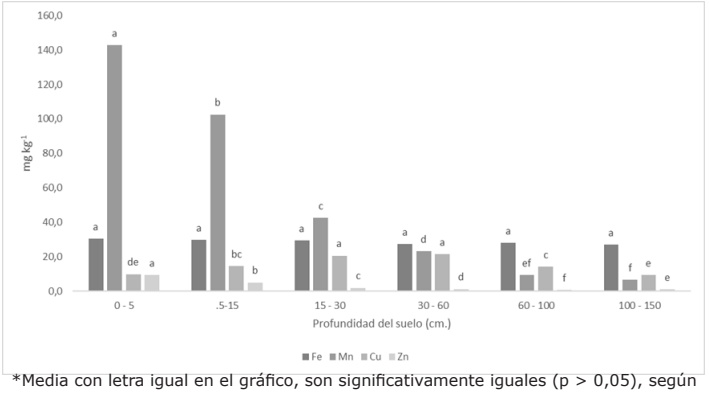
El incremento del Zn en los suelos de pastura y siembra directa puede atribuirse al mayor aporte de materia orgánica y a la presencia de vegetación con elevada capacidad de reciclaje de nutrientes. Casanova y Lobo (2011) indicaron que la variación en el contenido de micronutrientes bajo diferentes coberturas vegetales está asociada a las diferencias en los aportes de residuos orgánicos y a la extracción diferencial de nutrientes por las especies vegetales. En contraste, el manejo convencional del suelo tiende a reducir los niveles de Zn debido a la pérdida de materia orgánica y al incremento de la erosión superficial. Según Derpsch (2025), la preparación convencional del suelo, al dejar la superficie expuesta, favorece la degradación estructural y la pérdida de micronutrientes.

Relación de hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), Zinc (Zn) en profundidad del suelo

En la figura 2 se presentan los resultados el análisis del test de Friedman de los micronutrientes, de los cuales el contenido de Mn, Cu, Zn mostró diferencia significativa en la profundidad del suelo, pero el Fe no tuvo diferencias significativas estadísticamente.

Las mayores concentraciones de Mn se registraron en la camada superficial (0–5 cm), disminuyendo de manera progresiva con la profundidad. Las diferencias fueron significativas entre la mayoría de las capas analizadas, con excepción de las profundidades de 60–100 y 100–150 cm, donde no se detectaron diferencias estadísticas. Esta distribución vertical sugiere un efecto de la materia orgánica (MO), cuya mayor concentración en las capas superficiales contribuye a la retención de Mn mediante complejos organometálicos.

Los resultados coinciden con los reportados por Santiago, Quintero y Delgado (2008) y Lobo et al. (2012), quienes observaron una tendencia decreciente del Mn con la profundidad del perfil. Esta disminución se asocia principalmente con la reducción del contenido de MO y con el aumento del pH en las capas más profundas, lo que disminuye la solubilidad del Mn. En concordancia, el presente estudio mostró valores más elevados de pH en



*Media con letra igual en el gráfico, son significativamente iguales (p > 0,05), según Friedman.

Figura 2. Contenido de hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), Zinc (Zn) en la profundidad del suelo. FIA-UNE. 2026.

profundidad (tabla 1), lo que refuerza la influencia de este parámetro en la disponibilidad del micronutriente.

Respecto a la distribución vertical (Figura 2), el menor contenido de Cu se registró en las profundidades de 0–5 y 100–150 cm, sin diferencias significativas entre ellas. Las mayores concentraciones se observaron entre 15–60 cm, difiriendo estadísticamente de las demás capas. Este comportamiento puede explicarse por la movilidad intermedia del Cu en el perfil del suelo. Roca (2007) reportó que el Cu tiende a desplazarse con relativa facilidad a lo largo del perfil, alcanzando niveles máximos a aproximadamente 100 cm de profundidad, lo cual coincide con lo señalado por Ratto y Fatta (1990) y por Lobo et al. (2012), quienes encontraron incrementos de Cu en profundidad en suelos tropicales.

Con relación al Zn en la distribución vertical (Figura 2), los mayores contenidos se concentraron en la capa superficial (0–5 cm), disminuyendo gradualmente con la profundidad. Las diferencias fueron estadísticamente significativas entre todas las capas evaluadas. Este comportamiento coincide con los hallazgos de Santiago et al. (2008) y Domańska (2009), quienes reportaron una disminución del Zn con la profundidad del suelo. Aruani y Sánchez (2003), Lobo et al. (2012) y Roca (2007) también señalaron que el Zn es un micronutriente de baja movilidad en el perfil, lo que explica su mayor acumulación en los horizontes superficiales.

La distribución del Zn observada en este estudio guarda relación con el contenido de materia orgánica (tabla 1), ya que esta favorece la retención superficial del elemento mediante la formación de complejos orgánicos estables.

Relación de Materia Orgánica (MO), con diferente uso y profundidad del suelo

En la tabla 1 se presentan los contenidos de materia orgánica (MO) y pH bajo los diferentes usos y profundidad del suelo. Los resultados del test de Friedman revelaron diferencias significativas entre los usos y entre las profundidades analizadas.

El suelo de bosque mostró los valores más altos de MO, seguido por la pastura y siembra directa finalmente el manejo convencional, que presentó los valores más bajos. Los usos de siembra directa y convencional difirieron significativamente del bosque, mientras que la pastura no mostró diferencias significativas con el bosque. Con la relación de suelo de pastura coinciden con lo reportado por Sá et al. (2014) y Derpsch (2025), quienes señalaron que los sistemas de manejo con cobertura vegetal permanente tienden a incrementar la acumulación de carbono orgánico y a mejorar la estabilidad estructural del suelo.

La concentración alta de MO en la pastura se debe principalmente al aporte continuo de residuos radiculares y exudados orgánicos, así como a la ausencia de perturbación mecánica, lo que reduce la oxidación de la materia orgánica. En contraste, el manejo convencional, mediante el arado y la remoción frecuente del suelo, acelera la mineralización y la pérdida de carbono. Este patrón ha sido descrito por Domańska (2009) y Lobo et al. (2012), quienes observaron reducciones significativas en los niveles de MO en suelos sometidos a laboreo intensivo.

En cuanto a la distribución vertical (Tabla 1), los mayores contenidos de materia orgánica se registraron en la capa superficial (0–5 cm), disminuyendo progresivamente con la profundidad. Este comportamiento coincide con lo reportado por Lobo et al. (2012) y Derpsch (2025)**,** quienes señalan que los sistemas con cobertura permanente y mínima perturbación del suelo favorecen la acumulación de materia orgánica en los horizontes superficiales.

La mayor concentración de micronutrientes observada en las capas superficiales podría estar asociada al mayor contenido de materia orgánica. Aunque en el presente estudio no se encontró una correlación estadísticamente significativa entre ambas variables, este comportamiento coincide con lo descrito por Stevenson (1994), quien indicó que las sustancias húmicas poseen grupos funcionales capaces de formar complejos con cationes metálicos, favoreciendo su retención en el suelo y disminuyendo su movilidad hacia horizontes más profundos.

Por tanto, los resultados obtenidos evidencian una estrecha relación entre la conservación de la materia orgánica y la disponibilidad de micronutrientes, confirmando que las prácticas de manejo sostenible —como la siembra directa y las coberturas permanentes— son determinantes para mantener la fertilidad química en suelos Oxisoles.

En la comparación entre los diferentes usos del suelo, el pH fue mayor en las áreas bajo pastura, seguido por la

Tabla 1. Niveles de pH y MO de suelos con diferentes usos y a diferentes profundidades. FIA-UNE. 2026.

	Tipos de usos de suelo					
	Bosque	***Siembra directa***	***Pastura***		***Sistema convencional***	
M.O. (%)	2,5 a	1,5 bc	2,2 ab		1,4 c	
pH	5,3 c	5,5 b	5,7 a		5,6 ab	
	Profundidades					
	0 - 5	***5-15***	***15 - 30***	***30 - 60***	***60 - 100***	***100 - 150***
M.O. (%)	4,4 a	2,5 b	1,6 c	1,3 d	0,9 e	0,7 f
pH	5,3 c	5,6 a	5,6 a	5,6 a	5,5 b	5,5 b

*Media con letra igual en el gráfico, son significativamente iguales (p > 0,05), según Friedman

agricultura convencional y la siembra directa, mientras que el bosque presentó los valores más bajos. Estos resultados coinciden con los reportados por Caires et al. (2015), Zhalnina et al. (2018) y Fariña P. R. V. et al. (2025), quienes observaron que los sistemas de pastura y siembra directa tienden a mantener condiciones químicas más estables debido al reciclaje de nutrientes por las raíces y a la descomposición de residuos orgánicos.

El menor pH registrado en el suelo bajo bosque puede atribuirse a la producción continua de ácidos orgánicos durante la descomposición de la hojarasca y al intenso reciclaje de nutrientes característico de los ecosistemas forestales. En contraste, los sistemas agrícolas manejados con prácticas conservacionistas favorecen una mayor estabilidad química del suelo al mantener cobertura vegetal y aportar residuos orgánicos de forma continua.

Con respecto a la distribución vertical del pH (Tabla 1), se observó una tendencia general de incremento con la profundidad. Este comportamiento está asociado al menor aporte de residuos orgánicos en los horizontes profundos y a la redistribución de las bases intercambiables en el perfil del suelo. Resultados similares fueron descritos por Souza et al. (2019) en Oxisoles del sur de Brasil, donde los valores de pH aumentaron gradualmente desde la superficie hasta los 100 cm de profundidad.

Aunque se observó una tendencia a menores concentraciones de Fe, Mn, Cu y Zn a medida que aumentó el pH, el análisis estadístico no evidenció una correlación significativa entre estas variables. No obstante, este comportamiento coincide con lo descrito por Lindsay (1979) y Alloway (2008), quienes señalan que la disponibilidad de estos micronutrientes suele disminuir conforme aumenta el pH, debido a la formación de compuestos menos solubles.

En conjunto, los resultados indican que el manejo del suelo influye tanto en el pH como en la disponibilidad de los micronutrientes evaluados. La adopción de prácticas conservacionistas, como la siembra directa y el mantenimiento de coberturas vegetales, contribuye a preservar las propiedades químicas del suelo y favorece una mayor estabilidad de los nutrientes en los Oxisoles.

CONCLUSIONES

Los contenidos de Fe, Mn, Cu y Zn fueron, en general, más altos en los suelos bajo pastura y siembra directa que en la agricultura convencional.

El bosque presentó valores superiores a la agricultura convencional para la mayoría de los micronutrientes, excepto el Fe. Estas diferencias podrían estar influenciadas por las características propias del suelo, como el mayor contenido de materia orgánica y la textura arcillosa.

Las mayores concentraciones de Mn, Cu y Zn se registraron en los primeros 30 cm del perfil, mientras que el Fe predominó en las capas más profundas (30–150 cm).

No se observó correlación estadísticamente significativa entre los micronutrientes evaluados y las variables pH y materia orgánica del suelo. El suelo bajo bosque presentó el pH más ácido (5,3) entre los usos evaluados. Aunque la materia orgánica registró mayores concentraciones en los horizontes superficiales y en los sistemas de bosque y pastura, esta variable no mostró una relación estadísticamente significativa con la disponibilidad de hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alloway, B. J. (2009). Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health, 31*, 537–548. https://doi.org/10.1007/s10653-009-9255-4.

Arroyo, E. A., Sanzano, A., Rojas Quinteros, H. C., y Navarro Di Marco, J. P. (2022). Estado de fertilidad de los suelos cañeros de Tucumán, Argentina: materia orgánica, nitrógeno y pH del suelo. Revista industrial y agrícola de Tucumán, 99(1), 37-42. https://publicaciones.eeaoc.gob.ar/index.php/riat/article/view/28

Aruani, M. C., & Sánchez, E. E. (2003). Fracciones de micronutrientes en suelos del Alto Valle De Rio Negro, Argentina. Ciencia del Suelo, 78-81. Obtenido de https://suelos.org.ar/publicaciones/vol_21n2/aruani_78-81.pdf

Barbazán, M., Del Pino, A., Moltini, C., Hernández, J., y Rodríguez, J. (2011). *Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay*. *Agrociencia, 15*(1), p. 82-92. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482011000100010&script=sci_abstract&tlng=pt

Caires, E., Haliski, A., Bini, A., & Scharr, D. (2015). Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. *European Journal of Agronomy, 66*, 41-53. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.02.008.

Casanova, E., y Lobo, D. (2007). Relación entre la física y la fertilidad de los suelos. *Revista Venesuelos*, *15* (1), p. 42-56. https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/988

D'andrea, E., Fariña, S., La Manna, A., Baraibar, N., Fugazot, C., & Quincke, A. (2022). Long term change in soil test P and farm gate P balance of grazing dairy farms of southern Uruguay. *7th Phosphorus in Soils and Plants Symposium (PSP7)*, 72. Obtenido de https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/17493/1/DAndrea-PSP7-2022-p72.pdf

Derpsch, R. (2025). *Siembra directa, agricultura sostenible en el nuevo milenio*. *Que es SD? Descripción y definición de Siembre Directa o Labranza Cero*. http://www.rolf-derpsch.com/es/siembra-directa/que-es-sd/index.html#c439

Domanska, J. (2009). Soluble forms of zinc in profiles of selected types of arable soils*. Journal of Elementol*, *14* (1), p. 55-62. https://uwm.edu.pl/jold/poj1412009/jurnal-06.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2025). *Faol Soils Portal*. https://www.fao.org/soils-portal/about/all-definitions/en/

Lana, M. D. C., Fey, R., Fradoloso, J. F., Richart, A., y Fontaniva, S. (2009). *Análise química de solo e tecido vegetal:* práticas de laboratório. *UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon*. 119p. https://es.scribd.com/document/421644200/ANALISE-QUIMICA-DE-SOLO-E-TECIDO-VEGETAL-PRATICAS-DE-LABORATORIO

Lavado, R. S., Porcelli, C. A., & Alvarez, R. (1999). *Concentration and distribution of extractable elements in soil as affected by tillage systems and fertilization*. *Science of The Total Environment, 232*(3), p.185-191. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969799000959

Lindsay, W. L. (2010). *Chemical Equilibria in Soils (Reimpresión de la edición de 1979). .* Blackburn Press.

Lobo, D., Peña, Y. O., Lozano, Z., & Hernández, R. M. (2012). *Micronutrientes en agregados de un suelo de sabana, bajo un sistema maíz-ganado mejorado. Venesuelos, 20*(1), p. 41 – 52. https://www.researchgate.net/publication/259622391_Micronutrientes_en_agregados_de_un_suelo_de_sabana_bajo_un_sistema_maiz-ganado_mejorado

López Gorostiaga, O. E., & Lesme Brun, J. Á. (2024). Grandes grupos de suelos de la región oriental del Paraguay. San Lorenzo, Central, Paraguay: SOPASIS.

Macias Cepeda, D. J. (2022). *Los micronutrientes y su importancia en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)* (Bachelor's thesis): Universidad Técnica de Babahoyo. https://rraae.cedia.edu.ec/vufind/Record/B_10e8b3157a575f4bad01a99a08feed2b?sid=6356874&lng=se0

Mosquera-Losada, M. R., y González-Rodríguez, A. (2015). Fertilización nitrogenada y potásica en pradera mixta: efecto sobre el nivel de microelementos*. Pastos*, *31* (2), p.233-248. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5121050

Ratto de Miguez, S., y Fatta, N. (1990). Disponibilidad de micronutrientes en suelos del área maicera núcleo. *Revista Ciencia del Suelo, 8*(1) p. 9-15. https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_8n1/ratto.pdf

Roca, N., Pazos, M. S., & Bech, J. (2007). *Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del no argentino.* https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_25n1/roca_31-42.pdf

Sá, J. C., Tivet, F., Lal, R., Briedis, C., Hartman, D. C., Santos, J. Z., & dos Santos, J. B. (2014). Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisols. *Soil and Tillage Research, 136*, 38-50. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/ j.still.2013 .09.010

Salazar, F., Dumont, J. C., Chadwick, D., Saldaña, R., y Santana, M. (2007). Caracterización de purines de lecherías en el Sur de Chile. *Agricultura técnica,* 67(2), 155-162. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072007000200005

Santiago, A., Quintero, J. M., & Delgado, A. (2008). Long-term effects of tillage on the availability of iron, copper, manganese, and zinc in Spanish Vertisol. *Soil and Tillage Research, 98*(2), p. 200-207. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198708000032

Silva, F. C. (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.* Embrapa Informação Tecnológica. Rio de Janeiro (Br). *Embrapa Solos*, 627 págs. https://www.sidalc.net/search/Record/dig-infoteca-e-doc-330496/Description

Souza, I. F., Almeida, L. F., Jesus, G. L., Pett-Ridge, J., Nico, P. S., Kleber, M., & Silva, I. R. (2018). Carbon Sink Strength of Subsurface Horizons in Brazilian Oxisols. *Revista de la Sociedad de Ciencias del Suelo de América, 82*(1), 76-86. https://doi.org/10.2136/sssaj2017.05.0143

Stevenson, F. J. (1994). *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions* (2 ed.). John Wiley & Sons.

Villasanti, C., Román, P., y Pantoja, A. (eds.) (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. Paraguay: FAO. https://www.fao.org/4/i3361s/i3361s.pdf

Zhalnina, K., Louie, K., Hao, Z., Mansoori, N., da Rocha, U. N., Shi, S., & Brodie, E. L. (2018). Dynamic root exudate chemistry and microbial substrate preferences drive patterns in rhizosphere microbial community assembly. *Nature Microbiology, 3*(4), 470-480. https://doi.org/10.1038/s41564-018-0129-3