



Disponibilidad de manganeso en suelos de la región oriental del Paraguay

Availability of manganese in soils of the oriental region of Paraguay

Mirelly Paola Rolón Galeano¹ ; Camila Erna Aurora Ortiz Grabski¹ 

Gustavo Adolfo Rolón Paredes¹ ; Carlos Andrés Leguizamón Rojas¹ 

Diego Augusto Fatecha Fois¹ ; Jimmy Walter Rasche Alvarez¹ 

RESUMEN

La información generada sobre la situación de micronutrientes en suelos del Paraguay es aún escasa, entre estos el manganeso (Mn), un micronutriente esencial a las plantas, por lo que resulta importante conocer su disponibilidad y distribución. El objetivo de esta investigación fue en clasificar la disponibilidad de Mn en suelos de la región Oriental del Paraguay a nivel de distrito. Para ello fue generada una base de datos con los resultados de análisis de suelo de los laboratorios de la FCA-UNA, CIHB-IPTA y FUCAI-UCA. Se clasificó el contenido de Mn disponible de los suelos de 11.331 muestras, en nivel “alto” (>5 mg.kg-1); nivel “medio” (5 – 1,2 mg.kg-1) y nivel “bajo” (<1,2 mg.kg-1), generándose un mapa de disponibilidad de Mn a nivel distrital. Se realizó una estadística descriptiva a partir de los valores de Mn disponible. De los 234 distritos que conforman la región Oriental del Paraguay, 195 distritos fueron clasificados, donde el 98% presentó nivel “alto” (193 distritos) y el 2% nivel “medio” (2 distritos) de Mn disponible, el 17% (39 distritos) no fueron clasificados por falta de resultados de análisis de suelos. El departamento con mayor promedio de Mn disponible fue Canindeyú con 68,4 mg.kg-1 y el menor promedio de Mn disponible fue Amambay con 20,0 mg.kg-1, de los cuales el 39% de las muestras fueron clasificados como nivel “bajo” de Mn disponible. Considerando el número total de muestras de suelo analizadas (11.331 muestras), 10.670 muestras presentaron niveles “alto” de Mn (94,2%) 516 muestras presentaron niveles “medio” de Mn (2,6 %) y solo 145 muestras presentaron niveles “bajo” de Mn (1,3%). Los suelos de la región Oriental presentan predominio de suelos con alta disponibilidad de Mn, por lo que no existen limitaciones en relación al mismo, para los sistemas de producción agrícola, ganadera y forestal.

Palabras clave: Micronutriente; Nivel de Manganeso en el Suelo; Oligoelementos, Manganeso Disponible.

Fecha de recepción: abril 2022; fecha de aceptación: mayo 2022

¹ Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo. Paraguay.

Autor de correspondencia: Jimmy Walter Rasche Alvarez. Email: jwraschejwrasche@agr.una.py



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

ABSTRACT

There is little information generated on the situation of micronutrients in Paraguayan soils, including manganese (Mn), an essential micronutrient for plants, so it is important to know its availability and distribution. The aim of the research was to classify the availability of Mn in soils of the Eastern region of Paraguay at the district level. For this, a database was generated with the results of soil analysis from the FCA-UNA, CIHB-IPTA and FUCAI-UCA laboratories. The available Mn content of the soils of 11,331 samples was classified as “high” (>5 mg.kg⁻¹); “medium” level (5 – 1.2 mg.kg⁻¹) and “low” level (<1.2 mg.kg⁻¹), generating a map of Mn availability at the district level. Descriptive statistics were performed from the available Mn values. Of the 234 districts that make up the Eastern region of Paraguay, 195 districts were classified, where 98% presented a “high” level (193 districts) and 2% “medium” level (2 districts) of Mn available, 17% (39 districts) were not classified due to lack of soil analysis results. The department with the highest average of available Mn was Canindeyú with 68.4 mg.kg⁻¹ and the lowest average of available Mn was Amambay with 20.0 mg.kg⁻¹, of which 39% of the samples were classified as level “low” of Mn available. Considering the total number of soil samples analyzed (11,331 samples), 10,670 samples had “high” levels of Mn (94.2%), 516 samples had “medium” levels of Mn (2.6%) and only 145 samples had “low” levels of Mn available (1.3%). The soils of the Eastern region have a predominance of soils with high availability of Mn, so its deficiency is not an impediment for agricultural, livestock and forestry production systems.

Keywords: Micronutrient; Soil Manganese Level; Trace Elements; Available Manganese

INTRODUCCIÓN

El Manganeseo (Mn) es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre (Hue et al, 2001), es un micronutriente esencial para las plantas, y se encuentra en los suelos altamente intemperizados principalmente en la forma de Mn+4, sin embargo las plantas lo absorben como Mn+2 (Oliveira Jr et al, 2000).

La disponibilidad de Mn es influenciada principalmente por el pH del suelo (Pegoraro et al, 2006), y por el estado de oxidación del mismo (Chig et al, 2016), siendo mayor su disponibilidad a medida que disminuye el pH y menos oxidado esté el suelo, llegando inclusive a niveles de toxicidad en suelos con muy alta acidez y con problemas de aireación (Hue et al, 2001; Mascarenhas et al, 2014). Otros factores que también presentan influencia sobre la disponibilidad de Mn en el suelo, es el nivel de materia orgánica (MO) (Pegoraro et al, 2006; Oliveira y Nascimento 2006), el sistema de manejo de suelo, el contenido de arcilla, la profundidad del suelo (Chig et al, 2016) y la presencia de otros elementos como el hierro (Fe) (Leidi y Gomez 1991) y el sulfato (Hue et al, 2001).

Actualmente existe aún escasa información generada sobre los niveles de Mn disponible en el suelo en Paraguay, pudiéndose mencionar algunos estudios, como los realizados por Golin (2014) que evaluando tres perfiles de suelo en el departamento de Canindeyú, observó que los niveles de Mn eran clasificados como alto, con valores que variaron entre 10,5 y 71,73 mg.kg-1 de Mn disponible, con disminución del nivel de Mn en profundidad, así como el de Prieto (2018) quien evaluó el nivel de Mn en suelos del distrito de Minga Guazú, departamento de Alto Paraná, constatando mayores niveles de Mn en el sistema de siembra directa (68,3 mg.kg-1) y en el bosque (57,0 mg.kg-1), comparados a un

sistema de pastura (49,5 mg.kg-1) y sistema convencional o tradicional de labranza de suelo (43,4 mg.kg-1), del mismo modo, pudo constatar que en la camada superficial de suelo de 0 a 15 cm contaba con mayor contenido de Mn y que este disminuye en profundidad. En otro estudio Rios (2020) en suelos de orden Ultisoles, ubicados en el distrito de Caaguazú, constató que el nivel de Mn fue mayor en la camada de 0-5 cm (182,1 mg.kg-1) y mucho menor entre 100 a 150 cm (18,6 mg.kg-1), presentando una correlación positiva con el contenido de MO del suelo y negativa con el Fe, observando mayor nivel de Mn en el Bosque (117,4 mg.kg-1) \geq sistema convencional (111,7 mg.kg-1), $>$ sistema silvopastoril (100,5 mg.kg-1) \geq pastura (81,8 mg.kg-1) \geq al sistema de siembra directa (67,1 mg.kg-1 de Mn disponible).

El objetivo general de esta investigación consistió en clasificar la disponibilidad del micronutriente Mn en suelos de la región Oriental del Paraguay a nivel de distrito. Para ello se tuvo como objetivo específico generar una base de datos con los resultados de análisis de suelo de los laboratorios de la FCA-UNA, CIHB-IPTA y FUCAI-UCA, clasificar los niveles de Mn de los suelos en “alto”, “medio” y “bajo” a base distrital, y generar mapas y tablas con los diferentes niveles de Mn tanto a nivel de distrito y departamental. La hipótesis planteada en la investigación era que los niveles de Mn en la región oriental se presentaban en niveles adecuados y eran suficientes para suplir las necesidades de las plantas habitualmente cultivadas en el ámbito de la agricultura, ganadería y forestal, en la región oriental del Paraguay.

MÉTODO

Los resultados de este estudio forma parte de los resultados obtenidos en el proyecto 14-INV-130 “Manejo sostenible de la fertilidad del suelo para la producción de

alimentos” financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), cuyo objetivo general era generar conocimientos sobre mejores prácticas de manejo de nutrientes en sistemas agrarios y unos de sus cinco objetivos específicos era obtener un diagnóstico del estado de fertilidad de suelos en la región oriental del Paraguay observando la disponibilidad de macro y micronutrientes en los suelos de esta región a partir del estudio, clasificación e interpretación de resultados de análisis de suelos existentes en los laboratorios.

El área de estudio abarca la región Oriental del Paraguay con una superficie de 159.827 km², lo que constituye el 39,3% de la superficie total del país. Los órdenes de suelo reconocidos en esta región en orden de superficie son el Ultisol, Alfisol, Entisol, Inceptisol, Oxisol, Vertisol y Mollisol (López et al, 1995).

La región Oriental puede ser subdividida en zonas, donde la zona centro y oeste son originarios de arenisca; en la zona este son de origen basáltico; la zona este y sureste son originarios de sedimentos aluviales, donde se encuentran los departamentos de Ñeembucú y Misiones, los cuales permanecen saturados de agua gran parte del año (Gardi et al, 2014). El clima de la región Oriental es tropical de sabana (Aw), al norte y subtropical húmedo (Cfa) al sur (Pastén et al, 2011). La temperatura media anual varía de 20° C hacia el sur a 24 °C al norte y la precipitación oscila entre 1800 mm al sur hasta 1250 mm al norte, siendo las precipitaciones mejor distribuidas durante el año hacia el sur que hacia el norte (González 2017). La región Oriental posee relieve plano a ligeramente ondulado, donde el 80% está por debajo de los 300 msnm, siendo la menor altitud de 55 msnm hacia la desembocadura del río Paraguay y las tierras más altas se encuentran hacia el noreste, en el departamento de Amambay superando los 450 msnm.

La base de datos fue generada a partir de la recolección de resultados de análisis de suelos comprendidos entre los años 2006 y 2017. Fueron registrados 11.331 resultados de análisis de suelo para Mn disponible. Los resultados de los análisis de suelo provinieron de los archivos de la base de datos de los laboratorios pertenecientes al Centro de Investigación Hernando Bertoni, dependiente del Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (CIHB- IPTA), ubicado en el distrito de Caacupé, departamento Cordillera; de la Fundación Universitaria Ciencias Agrarias Itapúa (FUCAI) situada en el distrito de Hohenau, departamento Itapúa y de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA) ubicada en el distrito de San Lorenzo, departamento Central. Todos estos laboratorios realizan extracción de Mn disponible por el método de Mehlich I de acuerdo a la metodología establecida por Tedesco et al., (1995).

Fue clasificado el contenido de Mn disponible en el suelo en nivel “alto” (>5 mg.kg⁻¹); “medio” (5 – 1,2 mg.kg⁻¹) y “bajo” (<1,2 mg.kg⁻¹), respectivamente, rangos establecidos por Raij (2011).

Para la elaboración del mapa de la región Oriental fue utilizada como unidad cartográfica el mapa con la división política a nivel distrital, provista por la Dirección General de Encuestas Estadísticas y Censos - DGEEC de la Secretaria Técnica de Planificación (STP) (2018).

Fue empleado el SIG del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial de la FCA-UNA, con la utilización del software ArcGIS, en el cual fueron introducidos los resultados de la clasificación de los niveles de Mn disponible con la generación de los mapas correspondientes. Los datos fueron sometidos a análisis estadístico descriptivo con la ayuda del programa Agrostat.

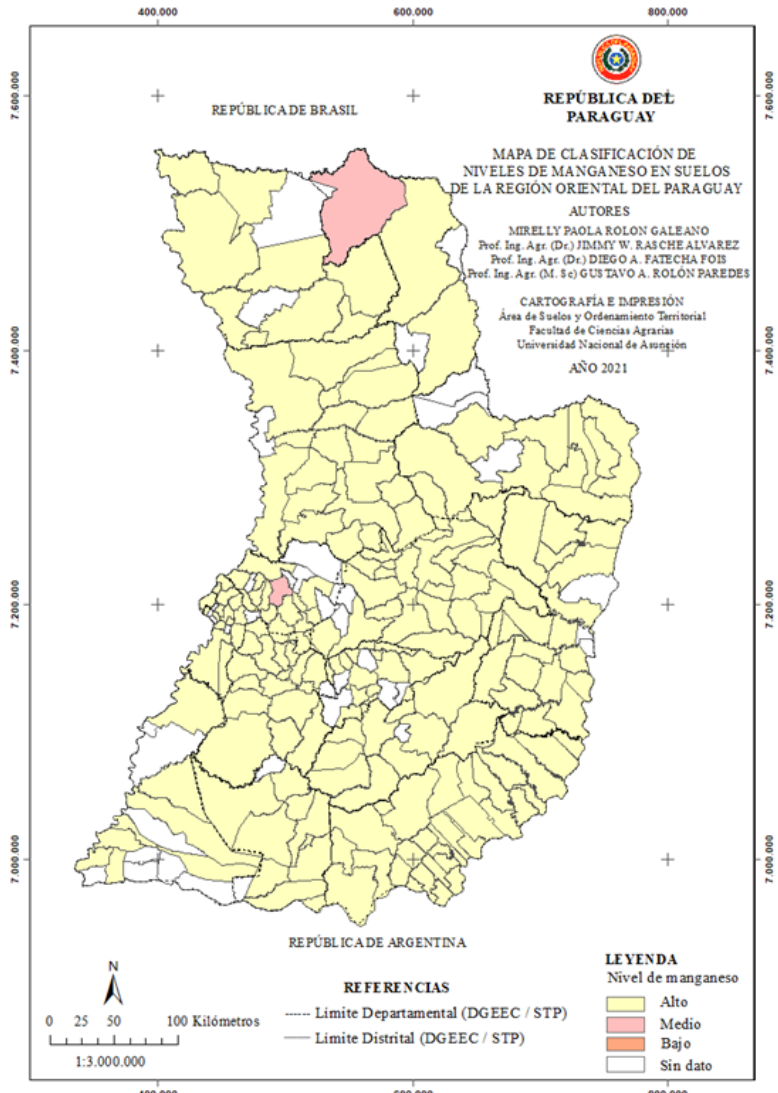
RESULTADOS

De los 234 distritos que componen la región Oriental de Paraguay, 195 fueron clasificados, de los cuales 193 municipios (98%) del total fueron clasificados con nivel “alto” de Mn disponible en el suelo, y 2 distritos (2%) fueron clasificados con nivel “medio” de Mn, correspondiendo a los distritos de Tobati (Cordillera) y Bella Vista Norte (Amambay), no encontrándose distritos clasificados con nivel “bajo” de Mn disponible (Figura 1).

Cabe resaltar que el 17% de los municipios (39 distritos) no fueron clasificados por ausencia de datos principalmente aquellos distritos ubicados en el departa-

mento de Ñeembucú (7 distritos), Guairá (6 distritos), Cordillera (5 distritos), Central (5 distritos), Alto Paraná (3 distritos), Canindeyú (3 distritos), Concepción, Caaguazú y Amambay (con 2 distritos en cada departamento, respectivamente) y San Pedro, Caazapá, Misiones y Paraguarí (1 distrito en cada departamento respectivamente). La ausencia de datos de resultados de análisis de suelo puede deberse a que algunos distritos son mayormente urbanos, como los situados en el departamento Central, y otros por ser municipios relativamente nuevos o poseer poca o ninguna actividad agrícola (Figura 1).

Figura 1. Clasificación de niveles de Mn disponible en suelos de la región Oriental del Paraguay basados en 11.331 resultados de análisis de suelos entre 2006 y 2017



Analizando el desvío estándar y el coeficiente de variación (CV) se observa alta dispersión de los datos en los resultados de análisis de suelo. Considerando los datos de Mn disponible a nivel departamental, se puede observar que en todos los departamentos, a excepción de Concepción, el valor de la mediana fue inferior al valor del promedio (Tabla 1), por lo tanto, la distribución del conjunto de datos es asimétrica, sesgado a la izquierda, es decir, existe una mayor cantidad de muestras de suelo con valores inferiores al promedio de concentración de Mn disponible, en el caso del departamento de Concepción, la distribución del conjunto de datos es asimétrica, sesgado a la derecha, es decir,

los valores de Mn disponible en el suelo fueron en su mayoría mayores al promedio general del departamento, eso se puede explicar también parte porque el rango de Mn disponible en los suelos de Concepción (valor máximo – valor mínimo) es el más bajo entre todos los departamentos (82,4 mg.kg-1).

También se puede resaltar que en todos los departamentos, con excepción de Amambay, el valor del cuartil inferior es superior a 1,2 mg.kg-1 de Mn disponible, que se consideraría clasificado como nivel “bajo” de Mn en el suelo, es decir, la mayoría de las muestras fueron superiores al mismo.

Tabla 1. Estadística descriptiva sobre los niveles de Mn disponible en suelos de la región Oriental del Paraguay a nivel departamental basados en 11.331 resultados de análisis de suelos entre 2006 y 2017

Departamento	muestras analizadas	Mn							CV
		promedio	mediana	valor mínimo	valor máximo	Desviación típica	Quartil Inferior	Quartil superior	
.....mg.kg ⁻¹									%
Concepción	82	29,3	32,8	2,4	84,8	18,7	13,3	38,4	63,7
San Pedro	821	40,0	38,0	0,3	208,1	26,8	22,0	52,8	67,1
Cordillera	475	30,8	26,6	0,3	242,5	27,0	12,0	39,4	87,9
Guiará	135	22,5	15,7	4,0	104,6	18,2	9,0	35,7	80,8
Caaguazú	1.340	59,1	53,8	0,6	232,0	40,0	30,0	78,8	67,7
Caazapá	164	39,6	36,3	0,7	130,2	28,4	17,9	52,2	71,8
Itapúa	4.467	34,9	22,0	0,1	492,0	47,0	12,6	39,2	134,8
Misiones	235	30,3	24,7	0,2	202,4	24,6	15,0	39,8	81,2
Paraguarí	571	20,4	10,0	0,9	195,2	21,5	9,0	26,1	105,4
Alto Paraná	1.320	61,1	60,5	0,4	449,1	41,9	32,2	78,1	68,5
Central	153	61,4	40,6	1,0	237,0	56,5	16,4	95,0	92,1
Ñeembucu	28	45,9	21,5	2,2	349	69,8	13,2	41,5	152,1
Amambay	69	20,0	14,1	0,6	84,5	22,9	1,0	34,7	114,2
Canindeyu	1.471	68,4	53,8	0,3	486,4	59,4	27,4	95,0	86,8
Total	11.331	44,2	32,1	0,1	492,0	45,8	15,3	59,8	103,6

En relación al número total de muestras de suelos analizadas (11.331), se observa que a nivel de región Oriental, el 94,2%

de las mismas se encuentran con niveles clasificados como “alto” (10.670 muestras) de Mn disponible, el 2,6% de las mis-

mas se encuentran con niveles clasificados como “medio” (516 muestras) y solo el 1,3% (145) muestras de suelo fueron clasificadas como “bajo” (Tabla 2), es decir solo en el 1,3% de las muestras presentan una alta probabilidad de respuesta a la fertilización con Mn, principalmente en los cultivos más exigentes en relación a este micronutriente.

A nivel departamental se observa que los valores de Mn disponible se encuentran en de forma general en niveles “altos” (Tabla 2), sin embargo, al desglosar la tabla se observan que existen departamentos como es el caso del departamento de Amambay que solo el 56,5% de las muestras de suelos presentaron valores considerados “alto”,

comparados a los demás departamentos que en todos los casos poseen más del 90% de las muestras clasificadas como “alto”.

En el caso específico del departamento de Amambay, aunque por el promedio general se clasifica con nivel “alto”, de los cinco municipios que lo componen, dos de ellos (Capitán Bado y Pedro Juan Caballero) los niveles de Mn son clasificados como “alto” y uno clasificado con nivel “medio” de Mn disponible (Bella Vista Norte), además de que en dos municipios no existieron datos analíticos como para poder realizar la clasificación (Karapai y Zanja Pytá) (Figura 1).

Tabla 2. Clasificación de los niveles de Mn disponible en suelos de la región Oriental del Paraguay a nivel departamental basados en 11.331 resultados de análisis de suelos entre 2006 y 2017

Departamento	muestras analizadas	Niveles de Mn*			nivel
		alto	medio	bajo	
	 %			
Concepción	82	90,2	9,8	0,0	alto
San Pedro	821	94,5	4,8	0,7	alto
Cordillera	475	90,0	5,6	4,4	alto
Guiará	135	98,5	1,5	0,0	alto
Caaguazú	1.340	96,6	2,8	0,5	alto
Caazapá	164	93,9	5,5	0,6	alto
Itapúa	4.467	92,3	6,1	1,5	alto
Misiones	235	95,3	3,4	1,3	alto
Paraguarí	571	97,9	1,8	0,4	alto
Alto Paraná	1.320	97,4	2,2	0,4	alto
Central	153	96,7	2,6	0,7	alto
Ñeembucú	28	92,9	7,1	0,0	alto
Amambay	69	56,5	4,3	39,1	alto
Canindeyú	1.471	95,4	4,4	0,2	alto
Total muestras	11.331	10670	516	145	alto
% de la muestras	100	94,2	2,6	1,3	--

*Los niveles de Mn disponible en “alto” ($>5 \text{ mg kg}^{-1}$); “medio” ($5 - 1,2 \text{ mg kg}^{-1}$) y “bajo” ($<1,2 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente fueron establecidos por Raij (2011).

DISCUSIÓN

Los suelos del distrito de Bella Vista Norte, departamento de Amambay, en gran parte son originados a partir de rocas areniscas y son clasificados como entisoles y alfisoles (López et al., 1995), por lo tanto suelos pocos interperizados y eso pudo influenciar a que tenga en general bajos niveles de Mn disponible en ese departamento.

La alta dispersión de datos podría clasificarse como aceptable, considerando que el suelo de por sí es un componente heterogéneo y además influenciado por su uso y efecto de factores antrópicos, como la aplicación de cal agrícola y enmiendas orgánicas, alteración de la materia orgánica del suelo por el uso, laboreo del suelo, etc. que pueden ocasionar alta heterogeneidad en los niveles de Mn disponible en el suelo, comparado con la variación natural existente a causa del material de origen, o la formación del suelo que generalmente son menores.

Los niveles de Mn por encima del umbral de respuesta de los cultivos es común en los suelos (Mascarenhas et al., 2014), inclusive en aquellos suelos menos intemperizados, como del pampa argentino (Buffa y Ratto, 2005) que tendrían características similares a parte de los suelos del Chaco paraguayo. Entre las posibles causas del nivel “bajo” de Mn disponible encontrada en algunos suelos se puede citar, suelos con pH próximos a la neutralidad o alcalinos, ya que por cada aumento de pH en una unidad la disponibilidad de Mn se reduce en 100 veces (Hue et al., 2001; Malavolta y Kliemann, 1985), además si es un suelo arenoso, con bajo nivel de Mn en el material de origen, o suelos con alto nivel de

materia orgánica en ambiente bien oxidado poseen mayor probabilidad de presentar deficiencia de Mn (Oliveira y Nascimento 2006). Al contrario, suelos con pH bajos y principalmente en ambientes reducidos poseen mayor probabilidad de poseer Mn disponible en niveles que llegan a ser tóxicos para las plantas (Mascarenhas et al., 2014; Millaleo et al., 2010).

Actualmente no existen datos de experimentos de fertilización con Mn a campo, en cultivos agrícolas realizados en Paraguay. En este contexto, se puede inclusive ver que a nivel internacional se estudia más sobre la toxicidad del Mn sobre los cultivos (Salinas, 1979, Ducic y Polle 2005, Lavres Jr et al., 2009, Millaleo et al., 2010), que su deficiencia, aunque en algunos casos se observan respuesta a la aplicación de este nutriente (Gómez et al., 2006; Villa y Barrientos 2012, Prato y Gómez, 2014) principalmente en hortalizas.

Considerando que en general los suelos utilizados en sistemas de agricultura y ganadería en nuestro país son de naturaleza ácida (Bataglia 2011), y que la corrección de la acidez del suelo asociado al manejo adecuado del mismo, principalmente en sistema de siembra directa a través del aumento de cobertura y MO, es un asunto aún pendiente, era de esperarse que las muestras de suelo analizadas de la región Oriental presenten niveles de Mn disponible clasificados como “alto”.

De forma general, los datos promedios encontrados es este levantamiento de suelos, son similares a los determinados por Golin, (2014), Prieto (2018) y Ríos (2020) quienes obtuvieron niveles altos de Mn en los suelos que fueron evaluados.

CONCLUSIONES

La región Oriental del Paraguay presenta un predominio de suelos con alta disponibilidad de Mn, por lo que presencia en el suelo se encuentra garantizada para los sistemas de producción agrícola, ganadera y forestal.

REFERENCIAS

1. Bataglia, V.D. (2011). Clasificación de los niveles de acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay. Tesis de grado en Ingeniería Agronómica. San Lorenzo: Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Asunción, 76 p.
2. Buffa, E.V., y Ratto, S.E. (2005). Disponibilidad de cinc, cobre, hierro y manganeso extraíble con DTPA en suelos de Córdoba (Argentina) y variables edáficas que la condicionan. *Ciencia del Suelo*. 23(2),107-114. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v23n2/v23n2a01.pdf>
3. Chig, L. A., Couto, E. G., Beirigo, R. M., de Oliveira Lobato, L. A., y Filho, J.P.N. (2016). Distribuição espacial de ferro e manganês trocáveis em solos do pantanal. *Ambiência*, 12, 233-249. Disponible en: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/3321/pdf>
4. DGEEC (Dirección General de Estadística, Encuesta y Censos, Paraguay). Compendio estadístico (2018) (en línea). Fernando de la Mora, Paraguay. Disponible en https://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/documento/6a53_Compendio%20Estadistico%202018.pdf
5. Ducic, T., y Polle, A. (2005). Transport and detoxification of manganese and copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 17(1), Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100009>
6. Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz, G.C., Encina A, et al. (eds). (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Luxemburgo, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. 2014; 176 p. Disponible en: <https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/7e06def6-10cf-4c8f-90f4-b981f410ef68>
7. Golin G., K.A. (2014). Caracterización de los suelos del departamento de Canindeyú, Paraguay. Tesis Licenciatura en Geología. San Lorenzo: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción. 79 p. Disponible en: <https://geologiadelparaguay.com/Suelos-Canindeyu.pdf>
8. Gómez, M. I., López, M. Á., y Cifuentes, Y. C. (2006). El manganeso como factor positivo en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) y arveja (*Pisum sativum* L.) en suelos del altiplano Cundiboyacense. *Agronomía colombiana*, 24(2), 340-347. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/20048/21172>

9. González, P.R.E. (2017). Análisis de la variabilidad del clima en la región Oriental del Paraguay en el período 1960-2012. Tesis Grado en Ingeniería Ambiental. San Lorenzo, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 107 p. Disponible en: <https://www.opades.org.py/resources/investigaciones/ruth-gonzalez.pdf>
10. Hue, N.V., Vega, S., y Silva, J.A. (2001). Manganese toxicity in a Hawaiian Oxisol affected by soil pH and organic amendments. *Soil Science Society of America Journal*, 65(1), 153-160. Disponible en: https://www.ctahr.hawaii.edu/huen/hue_mn_essay.pdf
11. Lavres Jr, J., Malavolta, E., Nogueira, N. D. L., Moraes, M. F., Reis, A. R., Rossi, M. L., y Cabral, C. P. (2009). Alterações anatômicas e ultraestruturais em genótipos de soja pela desordem nutricional em manganês. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(2), 395-403. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000200017>
12. Leidi, E.O., y Gómez, M. 1991. Influencia de los niveles de hierro en la absorción de manganeso por plantas de soja. *Turrialba*. 41(2):266-272. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10137/A0790e02-21.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
13. López, G., González, E.; De Llamas, P., Molinas, A., Franco, S., García, S., Ríos, E. (1995). Estudio de Reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay. Asunción, Paraguay, SSERNMA/MAG/Banco Mundial. 245 p. (Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra). Disponible en: <https://www.geologia-delparaguay.com/Estudio-de-Reconocimiento-de-Suelos-Regi%C3%B3n-Oriental-Paraguay.pdf>
14. Malavolta, E. y Kliemann, H.J. (1985). *Desordens nutricionais no cerrado*. Piracicaba, Potafos, 136p.
15. Mascarenhas, H.A.A., Esteves, J.A.S., Wutke, E.B., y Gallo, P.B. (2014). Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. *Nucleus*, 11(1), 323-343. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1102>
16. Millaleo, R, Reyes-Diaz, M, Ivanov, A.G, Mora, M.L, y Alberdi, M. (2010). Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. *Journal of soil science and plant nutrition*, 10(4),470-481. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162010000200008>
17. Oliveira Jr, J.A., Malavolta, E., y Cabral, C.P. (2000). Efeitos do manganês sobre a soja cultivada em solo de cerrado do triângulo mineiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35:1629-1636. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000800016>
18. Oliveira, A.B.D., y Nascimento, W.A.D. (2006). Formas de manganês e ferro em solos de referência de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(1), 99-110. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000100011>
19. Pastén. M., González, V., y Espínola. C. (2011). Clasificación climática del Paraguay utilizando los métodos de Köppen y Thornthwaite. San Lorenzo, Paraguay. Disponible en: <http://sdi.cnc.una.py/catbib/documentos/525.pdf>
20. Pegoraro, R.F., Silva, I.R.D., Novais, R.F., Mendonça, E.D.S., Gebrim, F.D.O., y Moreira, F.F. (2006). Fluxo difusivo e biodisponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês no solo: influência da calagem, textura do solo e resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30, 859-868. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000500012>

- 21.** Prato, A.I., y Gómez, M.I. (2014). Aplicación líquida edáfica y foliar de manganeso en espinaca (*Spinacia oleraceae* L.) cultivada en sustrato vermicompost. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 262-271. Disponible en: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/3468/pdf_10
- 22.** Prieto A., M. (2018). Relación de algunos micronutrientes con el pH y materia orgánica en suelos bajo diferentes usos. Tesis Maestría en Nutrición de Planta y Producción Agrícola. Minga Guazú, Paraguay, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional del Este. 49 p.
- 23.** Raij Van, B. (2011). Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba, Brasil, International Plant Nutrition Institute. 420 p.
- 24.** Rios V., D.N. (2020). Disponibilidad de micronutrientes en suelos del orden ultisol bajo diferentes usos y profundidades en Caaguazú, Paraguay. Tesis Maestría en Suelos y Ordenamiento Territorial. San Lorenzo, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 79 p. Disponible en: <https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/Tesis-Danny%20R%C3%ADos.pdf>
- 25.** Salinas, J.G. (1979). Adaptación de plantas a toxicidades de aluminio y manganeso en suelos ácidos. Curso de fertilidad de suelos. Sociedad Colombiana de Ciencia del suelo. 38 p
- 26.** Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., y Volkweiss, S.J. (1995). Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174 p. (Boletim Técnico de solos, 5).
- 27.** Villa, M.R., y Barrientos, J.C. (2012). Incremento de la rentabilidad económica en el cultivo de papa criolla mediante fertilización con manganeso. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 67-75. Disponible en: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/1282/1278

BIOGRAFÍA

Mirelly Paola Rolón Galeano.

Ingeniera Agrónoma, egresada de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción.

Camila Erna Aurora Ortiz Grabski.

Ingeniera Ambiental, egresada de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción.

Gustavo Adolfo Rolón Paredes.

Ingeniero Agrónomo, Mg Ciencias Ambientales y Políticas Públicas. Docente de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. Investigador categorizado del PRONII del CONACYT.

Carlos Andrés Leguizamón Rojas.

Ingeniero Agrónomo, MSc y Dr. en Ciencia del Suelo. Docente de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. Investigador categorizado del PRONII del CONACYT.

Diego Augusto Fatecha Fois.

Ingeniero Agrónomo, MSc. en Ciencia del Suelo y Dr. en Agronomía. Docente de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. Investigador categorizado del PRONII del CONACYT.