

Disponibilidad de hierro en suelos de la región Oriental del Paraguay

Availability of iron in soils of the Eastern region of Paraguay

Jimmy Walter Rasche Alvarez¹ , Carlos Andrés Leguizamón Rojas¹ , Diego Augusto Fatecha Fois¹ , Mirelly Paola Rolón Galeano² , Gustavo Adolfo Rolón Paredes¹ , Camila Erna Aurora Ortiz Grabski² 

¹ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Área Suelos y Ordenamiento Territorial. San Lorenzo, Paraguay.

² Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, San Lorenzo, Paraguay.

Autor correspondiente: jwrasche@agr.una.py

Resumen: El hierro (Fe) es un micronutriente requerido por las plantas, existiendo pocos estudios relacionados a su disponibilidad en suelos de Paraguay, por lo que resulta importante conocer su disponibilidad y distribución. El objetivo de la investigación consistió en evaluar y clasificar la disponibilidad de Fe 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 Fe disponible de los suelos de 11.436 resultados, en nivel “alto” ($>12 \text{ mg kg}^{-1}$); nivel “medio” ($4 - 12 \text{ mg kg}^{-1}$) y nivel “bajo” ($<4 \text{ mg kg}^{-1}$), generándose un mapa de disponibilidad de Fe a nivel distrital. Se realizó una estadística descriptiva a partir de los valores de Fe disponible. De los 234 distritos que conforman la región Oriental del Paraguay, el 82% presentó nivel “alto” de Fe (192 distritos), el 1% nivel “medio” de Fe (2 distritos), y el 17% no fueron clasificados por falta de datos. El departamento con mayor valor promedio de Fe disponible fue Itapúa con $106,6 \text{ mg kg}^{-1}$ y el menor valor promedio de Fe disponible fue Amambay con $23,1 \text{ mg kg}^{-1}$. Considerando el número total de muestras de suelo analizadas, 10.160 presentaron nivel “alto” de Fe, 1.084 muestras presentaron nivel “medio” de Fe y 192 muestras se clasificaron en el nivel “bajo” de Fe. Los suelos de la región Oriental presentan



predominio de suelos con alta disponibilidad de Fe, ideales para los sistemas de producción agrícola, ganadera y forestal.

Palabras clave: micronutriente, nivel de hierro en el suelo, oligoelementos, metales pesados.

Abstract: Iron (Fe) is a micronutrient required by plants, and there are few studies related to its availability in Paraguayan soils, so it is important to know its availability and distribution. The objective of the research was to evaluate and classify the availability of Fe 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 Fe content of the soils of 11,436 samples was classified as “high” ($>12 \text{ mg kg}^{-1}$); “medium” level ($4 - 12 \text{ mg kg}^{-1}$) and “low” level ($<4 \text{ mg kg}^{-1}$), generating a Cu availability map at the district level. Descriptive statistics were performed based on the available Fe values. Of the 234 districts that make up the Eastern region of Paraguay, 82% presented a “high” level of Fe (192 districts), 1% had a “medium” level of Fe (2 districts), and 17% were not classified due to lack of data. The department with the highest average value of available Fe was Itapúa with 106.6 mg kg^{-1} and the lowest average value of available Fe was Amambay with 23.1 mg kg^{-1} . Considering the total number of soil samples analyzed, 10,160 samples had “high” levels of Fe, 1,084 samples had “medium” levels of Fe, and 192 samples had “low” levels of Fe. The soils of the Eastern region present a predominance of soils with high availability of Fe, ideal for agricultural, livestock and forestry production systems.

Keywords: micronutrient, soil iron level, trace elements, heavy metals.

1. INTRODUCCIÓN

Entre los elementos considerados como esenciales para las plantas, el Fe es uno de los más abundantes en la corteza terrestre, sin embargo, la mayor parte del Fe libre en el suelo se encuentra en forma oxidada (Fe^{+3}), por lo tanto, indisponible a las plantas, ya que las mismas absorben el Fe en la forma de $\text{Fe}^{+2(1)}$. El Fe puede estar presente en los minerales primarios, minerales secundarios, solubles en la solución del suelo y/o retenidos en los coloides orgánicos, en forma intercambiable o no intercambiable⁽²⁾. Tanto el pH del suelo, como las condiciones de óxido-reducción afectan la disponibilidad de Fe a los cultivos⁽²⁾, en suelos ácidos y principalmente en ambientes reducidos el Fe puede alcanzar niveles tóxicos para las plantas^(3,4). Ya en suelos alcalinos y bien oxidados puede haber deficiencia de este elemento⁽⁵⁾, siendo que en suelos con esas características el Fe es apuntado como uno de los micronutrientes

con mayor deficiencia a nivel global⁽⁶⁾.

Los niveles de Fe en los suelos varían ampliamente de acuerdo al suelo y su interacción con el ambiente. En ese sentido, en el noreste de Argentina, en suelos poco intemperizados, se encontró valores promedios de Fe total de 27,3 mg kg⁻¹, con oscilación de 8 a 40 mg kg⁻¹, y Fe disponible de 2,61 mg kg⁻¹, con rango de entre 0,13 a 15,44 mg kg⁻¹; también se observaron que en la camada superficial del suelo hay mayor acumulación de Fe, y que la presencia y distribución del Fe en el perfil del suelo también es afectado por la concentración de arcilla y de materia orgánica del suelo⁽⁷⁾, ya en suelos del nordeste brasileiro, de clima tropical, analizando 35 suelos de Pernambuco se encontraron niveles promedio de Fe disponible en la camada superficial de 55,8 mg kg⁻¹, oscilando entre 5,9 a 317 mg kg⁻¹ y en la camada subsuperficial de 51,5 mg kg⁻¹, oscilando con valores entre 9,1 a 229 mg kg⁻¹, respectivamente⁽⁸⁾.

Últimamente en Paraguay se está dando destaque a la posible deficiencia de Fe, considerando que se aplica mucho glifosato en los suelos agrícolas, y este posee característica quelante, lo que puede ocasionar la inmovilización de nutrientes como Fe, tanto en el suelo, como en la planta, específicamente en el caso de plantas transgénicas resistentes a este herbicida como la soja y el maíz^(9,10). De esta manera la preocupación en relación a la disponibilidad de Fe se da en parcelas con la aplicación continua de glifosato, donde existe preocupación de los productores acerca de la disponibilidad de Fe en los cultivos, lo mismo ocurre en suelos próximos a la neutralidad o alcalinos, como es el caso de los invernaderos, o mismo, por antagonismo debido con la aplicación de otros nutrientes, como por ejemplo el Co, Ni y Cu^(11,12).

Actualmente existe escasa información generada sobre los niveles de Fe disponible en los suelos en el país, así como experimentos relacionados a la respuesta de los cultivos a la aplicación de Fe. El objetivo de esta investigación fue evaluar y clasificar la disponibilidad del Fe en suelos de la región Oriental del Paraguay.

2. MATERIALES Y MÉTODO

El área de estudio abarca la región Oriental del Paraguay (RO) con una superficie de 159.827 km², lo que constituye el 40% de la superficie total del país. Los órdenes de suelo reconocidos en esta región son en extensión son: Ultisol (35,6%), Alfisol (32,5%), Entisol (13,6%), Inceptisol (5,7%), Oxisol (5,6%), Vertisol (1,2%) y Mollisol (1,0%)⁽¹³⁾. Los suelos de la zona centro y oeste de la región Oriental son originarios de arenisca; en la zona este son de origen basáltico; en el extremo este y sureste son originarios de sedimentos aluviales, estos suelos se encuentran en los departamentos de Ñeembucú y Misiones, los cuales permanecen saturados de

agua gran parte del año⁽¹⁴⁾. El clima de la RO es tropical de sabana (Aw) al norte y subtropical húmedo (Cfa) al sur⁽¹⁵⁾. La temperatura media anual varía de 20 °C hacia el sur a 24 °C al norte de la RO y la precipitación oscila entre 1.800 mm al sur hasta 1.250 mm al norte de la RO, siendo las lluvias mejor distribuidas durante el año hacia el sur que hacia el norte^(16,17). El área de estudio posee relieve plano a ligeramente ondulado, donde el 80% de la superficie 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 para la evaluación de la disponibilidad de Fe fue generada a partir de la recolección de resultados de análisis de suelos comprendidos entre los años 2006 y 2017. Fueron registrados 11.436 resultados de análisis de suelo para Fe. Los resultados de los análisis de suelo provinieron de los archivos de la base de datos de los laboratorios del Centro de Investigación Hernando Bertoni – CIHB dependiente del Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (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 la extracción de Fe disponible por el método de Mehlich-1⁽¹⁸⁾.

El contenido de Fe disponible de los suelos fue clasificado en nivel “alto” (>12 mg kg⁻¹); “medio” (12 - 4 mg kg⁻¹) y “bajo” (<4 mg kg⁻¹), establecidos por Raij⁽¹⁹⁾.

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 Secretaría Técnica de Planificación (STP)⁽²⁰⁾.

Fue empleado el Sistema de información geográfica 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 Fe disponible con la generación de los mapas correspondientes. Los datos fueron sometidos a análisis estadístico descriptivo con la ayuda del programa Agrostat.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 234 distritos que componen la región Oriental de Paraguay, 192 municipios (82%) del total fueron clasificados con nivel “alto” de Fe

disponible en el suelo, 2 distritos (1%) fueron clasificados con nivel “medio” de Fe, correspondiendo a los distritos de Lima (San Pedro) y Bella Vista Norte (Amambay). Ningún distrito presentó nivel “bajo” de Fe (Figura 1).

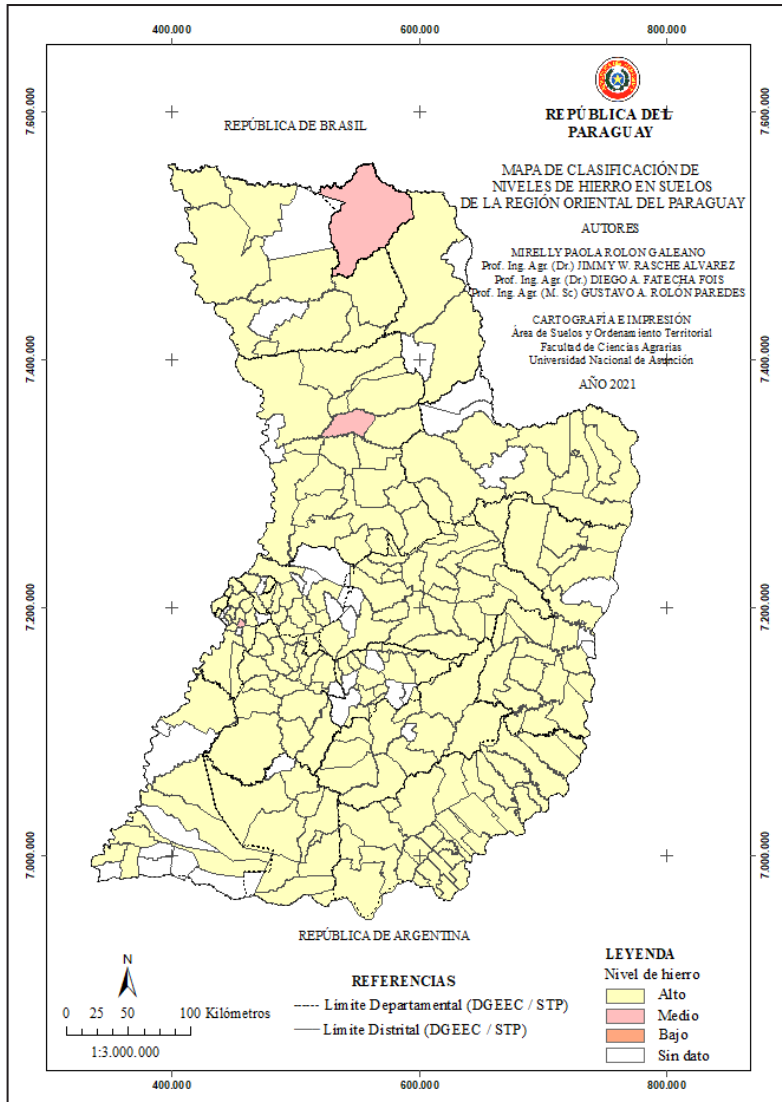


Figura 1. Clasificación de niveles de hierro disponible en suelos de la región Oriental del Paraguay basados en 11.436 resultados de análisis de suelos procesados entre 2006 y 2017.

De los 234 distritos 39 distritos no fueron clasificados por ausencia de datos (17% del total de distritos), siendo los mismos aquellos ubicados en Ñeembucú (8 distritos); Guairá, Cordillera y Central (5 distritos en cada departamento); Alto Paraná y Canindeyú (3 distritos en cada uno); y en Concepción, Caaguazú y Amambay (2 distritos en cada uno); San Pedro, Caazapá, Paraguarí y Misiones (1 distrito). Las razones de la falta de información en estos distritos, se da por ser mayormente urbanos, como es el caso de Central, por ser municipios relativamente nuevos o poseer poca o nula actividad agrícola (Figura 1).

Considerando, que la mayor parte de las muestras de suelo provienen de parcelas donde se practica agricultura y ganadería, y que los suelos de usos agrícolas y pecuarios están localizados principalmente sobre suelos intemperizados (oxisoles, ultisoles y alfisoles), es de esperarse altos niveles de Fe disponible en nuestros suelos, sumado a que principalmente los suelos de la región Oriental en gran parte son ácidos⁽²¹⁾.

El promedio de Fe disponible a nivel de región oriental ($72,8 \text{ mg kg}^{-1}$), clasificado como nivel “alto” de Fe en el suelo. Este valor se asemeja al nivel encontrado en suelos intemperizados de climas tropicales, como los estudiados por Oliveira y Nascimento⁽⁸⁾ quienes en el nordeste de Brasil observaron nivel promedio de Fe de $55,8 \text{ mg kg}^{-1}$, con intervalo entre 5,9 a 317 mg kg^{-1} y Mielki et al.⁽²²⁾ quienes evaluando 13 suelos en clima tropical del estado de Minas Gerais, Brasil encontraron valor promedio de $64,4 \text{ mg kg}^{-1}$.

Los suelos de climas tropicales y subtropicales predominantes son los oxisoles, ultisoles, caracterizados por ser ácidos, poseer baja saturación de bases y altos niveles de aluminio y hierro, siendo que gran parte de la agricultura y ganadería paraguaya se desarrolla sobre estos tipos de suelos⁽¹³⁾.

A nivel departamental, se puede observar que en todos los departamentos, 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 Fe disponible.

También, se puede constatar que, en todos los departamentos, con excepción de Amambay, el valor del cuartil inferior ya es superior a 4 mg kg^{-1} de Fe, que se consideraría clasificado como nivel “bajo” de Fe en el suelo, es decir, la mayoría de las muestras fueron superiores al mismo.

Por otro lado, analizando el desvío estándar y el coeficiente de variación (CV) se observa alta dispersión de los resultados de Fe en los análisis de suelo (Tabla 1).

Esta dispersión de datos podría clasificarse como aceptable, considerando que el suelo de por sí es un componente heterogéneo y además influenciado por efectos de factores antrópicos como el uso que se da al suelo, la aplicación de cal agrícola y de fertilizantes⁽²³⁾.

En relación a la cal agrícola, su aplicación ocasiona el aumento del pH del suelo, resultando en la disminución exponencial del nivel de Fe disponible para las plantas⁽²⁴⁾; así mismo, la aplicación de fertilizantes químicos, como el fósforo y la aplicación de enmiendas orgánicas, pueden alterar los niveles de Fe aumentando su variabilidad en el suelo, cuando se compara a la variación natural existente a causa del material de origen y la formación del suelo^(25,26).

Tabla 1. Estadística descriptiva sobre los niveles de Fe disponible en suelos de la región Oriental del Paraguay a nivel departamental basados en 11.436 resultados de análisis de suelos, procesados entre 2006 y 2017.

Distrito	Muestras analizadas	Hierro (Fe)						CV
		Promedio	Mediana	Desviación estándar	Quartil inferior	Quartil superior	Intercuartil	
		mg kg ⁻¹						%
Concepción	82	41,8	20,0	69,1	9,5	39,8	30,3	165,2
San Pedro	854	36,4	21,3	40,7	9,5	54,9	45,4	112,9
Cordillera	448	49,9	24,9	55,1	10,0	73,5	63,5	110,6
Guiará	134	56,8	27,0	70,4	17,3	62,0	44,7	123,9
Caaguazú	1340	73,1	45,1	124,8	23,0	78,1	55,1	170,8
Caazapá	203	57,6	56,5	45,5	23,0	69,7	46,6	79,1
Itapúa	4528	106,6	93,0	65,3	67,0	135,0	68,0	61,3
Misiones	235	86,1	71,3	62,4	48,0	117,3	69,3	72,4
Paraguarí	571	32,6	17,3	51,8	13,5	21,2	7,7	159,0
Alto Paraná	1320	56,7	34,0	52,3	21,3	78,0	56,7	92,4
Central	153	61,4	40,6	56,5	16,4	95,0	78,6	92,1
Ñeembucu	28	58,7	41,5	41,9	22,3	100,1	77,8	71,4
Amambay	69	23,1	9,5	41,4	2,7	27,2	24,5	179,0
Canindeyú	1471	29,6	18,0	37,5	12,0	34,0	22,0	126,6
Total	11.436	72,8	56,0	74,8	21,0	100	79,0	102,6

En relación al número total de muestras de suelos analizadas (11.436), se

observa que a nivel de región Oriental, el 89% de las mismas se encuentran clasificados en nivel alto de Fe disponible a las plantas (10.160 muestras), el 9% de las muestras se clasifican en nivel medio (1.084 muestras) y el 2% (192) se encuentran en nivel bajo (Tabla 2), es decir, que en la región Oriental del Paraguay solo en el 2% de las muestras presentan una alta probabilidad de respuesta a la fertilización con Fe, principalmente en los cultivos más exigentes en relación a este micronutriente.

Tabla 2. Clasificación de los niveles de Fe disponible en suelos de la región Oriental del Paraguay a nivel departamental basados en 11.436 resultados de análisis de suelos procesados entre 2006 y 2017.

Distrito	muestra analiza- das	Niveles de Fe			
		alto	medio	bajo	nivel
.....%.....					
Concepción	82	70	23	7	alto
San Pedro	854	67	25	8	alto
Cordillera	448	69	19	12	alto
Guiará	134	96	4	0	alto
Caaguazú	1340	92	6	2	alto
Caazapá	203	92	6	2	alto
Itapúa	4528	99	1	0	alto
Misiones	235	97	3	0	alto
Paraguarí	571	78	22	0	alto
Alto Paraná	1320	96	4	0	alto
Central	153	85	12	3	alto
Ñeembucú	28	96	4	0	alto
Amambay	69	49	12	41	alto
Canindeyú	1471	72	28	0	alto
Total muestras	11.436	10.160	1.084	192	alto
% de las muestras	100	89	9	2	--

A nivel departamental se observa que los valores de Fe disponible se encuentran en forma general en nivel “alto” (Tabla 2), sin embargo, al desglosar la tabla se observan que existen departamentos con mayor cantidad de muestras con niveles “medios” o “bajos”, como es el caso del departamento de Amambay, en

que solo el 49% de las muestras de suelos presentaron valores considerados “altos”, comparados a los departamentos de Itapúa, cuyo porcentaje de muestra de suelos con nivel “alto” fue de 99%, respectivamente.

Los niveles de Fe disponible en “alto” ($>12 \text{ mg kg}^{-1}$); “medio” ($12 - 4 \text{ mg kg}^{-1}$) y “bajo” ($<4 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente fueron establecidos por Raij (2011).

En el caso del departamento de Amambay específicamente, no hay suficientes datos a nivel departamental (69 muestras), aunque por el promedio general se clasifica en nivel “alto”, de los cinco municipios, en dos municipios (Capitán Bado y Pedro J. Caballero) los niveles de Fe disponible son clasificados como “alto” el municipio de Bella Vista Norte se encuentra clasificado con nivel “medio” de Fe disponible (Figura 1), y en dos no existieron datos analíticos (Karapai y Zanja Pyta).

Del mismo modo era de esperarse que gran parte de las muestras de suelo analizadas de los departamentos de Canindeyú, Itapúa y Alto Paraná posean niveles de Fe disponible clasificados como “alto”, considerando que esos suelos son arcillosos, cuyo material de origen es basalto, derivados de una roca ígnea que naturalmente posee mayor cantidad de Fe que las rocas sedimentarias areniscas ⁽²⁴⁾.

4. CONCLUSIONES

El 82% de los distritos presentan nivel “alto” de Fe (192 distritos), el 1% nivel “medio” de Fe (2 distritos), y el 17% (39 distritos) no fueron clasificados por falta de datos.

En la región Oriental existe predominio de suelos con alta disponibilidad de hierro, ideales para los sistemas de producción agrícola, ganadera y forestal.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), enmarcada en el proyecto 14-INV-130 “Manejo sostenible de la fertilidad del suelo para la producción de alimentos”. A los laboratorios del Centro de Investigación Hernando Bertoni – CIHB dependiente del Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA), de la Fundación Universitaria Ciencias Agrarias de Itapúa (FUCAI) y de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA) por ceder los resultados de análisis de suelos.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

MPRG: Clasificación, verificación y análisis de los datos, realización del mapa de Fe. JWRA: Planificación del experimento, análisis e interpretación de datos, redacción del manuscrito. DAFF: Planificación y conducción del experimento, obtención de los datos, revisión del manuscrito. GARP: Interpretación de los resultados, realización del mapa de Fe en el suelo a nivel de distrito. CALR: Financiamiento del proyecto. Interpretación de los resultados, revisión del manuscrito. CEAOG: Obtención de los datos, clasificación de los mismos y análisis parcial de los datos.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún tipo de conflicto de interés y autorizan la publicación del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Raij B van. Geoquímica de micronutrientes. In: Ferreira ME, Cruz MCP. (Ed.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato/CNPq; 1991.
2. Colombo C, Palumbo G, He JZ, Pinton R, Cesco S. Review on iron availability in soil: interaction of Fe minerals, plants, and microbes. *Journal of Soils and Sediments*, 2013; 14(3), 538–548.
3. Schmidt F, Fortes MDÁ, Wesz J, Buss GL, Sousa ROD. Impacto do manejo da água na toxidez por ferro no arroz irrigado por alagamento. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2013;37(5):1226-1235.
4. Mascarenhas HAA, Esteves JAS, Wutke EB, Gallo PB. Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. *Nucleus*. 2014;11(1):323-343.
5. Mengel K, Kirkby E, Kosegarten H, Appel T Iron. In: Mengel K, Kirkby EA (Eds.) *Mineral nutrition*, 5 ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 2001.
6. Alloway BJ. Soil processes and the behavior of heavy metals. In: *Heavy metals in soils*. London: Ed Blackie Academic & Professional; 1995.
7. Roca N, Pasos MS, Bech J. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO argentino. *Revista Ciencia del Suelo*. 2007;25(1):31-42.

8. Oliveira ABD, Nascimento WAD. Formas de manganês e ferro em solos de referência de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2006;30(1):99-110.
9. Zobiole LHS, Junior RSDO, Kremer R J, Muniz AS, Junior ADO. Nutrient accumulation and photosynthesis in glyphosate resistant soybeans is reduced under glyphosate use. *Journal Plant Nutrition*, Philadelphia, 2010;33(12-14):1860-1873.
10. Merotto Jr A, Wagner J, Meneguzzi C. Efeitos do herbicida glifosato e da aplicação foliar de micronutrientes em soja transgênica. *Biosci. j.* 2015;499-508.
11. Barton LL, Johnson GV, O’Nan AG, Wagener BM. Inhibition of ferric chelate reductase in alfalfa roots by cobalt, nickel, chromium, and copper. *Journal of Plant Nutrition*, 2000;23(11-12):1833-1845.
12. Sfredo GJ, Oliveira MCM. Soja: molibdênio e cobalto. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 34p. (Embrapa Soja. Documentos, 322).
13. López O, González E, de Llamas PA, Molinas AS, Franco ES, Garcia S, Ríos E. Mapa 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. (Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra). 1995; 245 p.
14. Gardi C, Angelini M, Barceló S, Comerma J, Cruz GC, Encina A, et al. (Eds.). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Luxemburgo, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. 2014; 176 p.
15. Pastén M, González V, Espínola C. Clasificación climática del Paraguay utilizando los métodos de Köppen y Thornthwaite. San Lorenzo, Paraguay; 2011.
16. DMH (Dirección de Meteorología e Hidrología). Mapas normales de la precipitación mensual y anual. 2015.
17. González PRE. 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. 2017; 107 p.
18. Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. Análises de

solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995; 174 p.

19. Raij B van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba, Brasil: International Plant Nutrition Institute; 2011; 420 p.
20. DGEEC (Dirección General de Estadística, Encuesta y Censos, Paraguay). Compendio estadístico (2018). Fernando de la Mora, Paraguay. 2018.
21. Bataglia VD. Clasificación de los niveles de acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la Región Oriental del Paraguay. (Tesis Grado). San Lorenzo: Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, 2011; 76 p.
22. Mielki GF, Novais RF, Ker JC, Vergütz L, Castro, GFD. Iron availability in tropical soils and iron uptake by plants. Revista Brasileira de Ciencia do solo, 2016;40.
23. Prieto AM. 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. 2018. 49 p.
24. Camargo AO. Micronutrientes no solo. In: Anais do Simpósio: enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Borket, MC; Lantmann, AF, Editores. Londrina, PR, BR. EMBRAPA-CPSO/IAPAR/SBCS. 1988; 103-120.
25. Menezes RS, Silva TOD. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2008; 12(3): 251-257.
26. Biondi CM, Nascimento CWAD, Fabricio Neta ADB, Ribeiro MR. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2011;35:1057-1066.