

Artículo Original

Disponibilidad de cobre en suelos de la Región Oriental del Paraguay
Availability of copper in soils of the Oriental Region of Paraguay

Mirelly Paola Rolón Galeano¹, ***Jimmy Walter Rasche Alvarez**^{1,2},
Diego Augusto Fatecha Fois², **Gustavo Adolfo Rolón Paredes**²,
Carlos Andrés Leguizamón Rojas², **Camila Erna Aurora Ortiz Grabski**¹

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

²Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias,
Área Suelos y Ordenamiento Territorial. San Lorenzo, Paraguay

RESUMEN

El cobre (Cu) es un micronutriente requerido por las plantas en pequeñas cantidades, existiendo pocos estudios relacionados a la disponibilidad de este nutriente en suelos de Paraguay, por lo que resulta importante conocer su disponibilidad y distribución. El objetivo de la investigación consistió en clasificar la disponibilidad de Cu 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 Cu disponible de los suelos de 11.395 muestras, en nivel "alto" (>0,8 mg kg⁻¹); nivel "medio" (0,8 – 0,3 mg kg⁻¹) y nivel "bajo" (<0,3 mg kg⁻¹), generándose un mapa de disponibilidad de Cu a nivel distrital. Se realizó una estadística descriptiva a partir de los valores de Cu disponible. De los 234 distritos que conforman la región Oriental del Paraguay, el 71% presentó nivel "alto", el 8% nivel "medio" y el 4% nivel "bajo". El departamento con mayor valor promedio de Cu fue Itapúa con 12,3 mg kg⁻¹ y el menor valor promedio de Cu fue Concepción con 0,8 mg kg⁻¹. Considerando el número total de muestras de suelo analizadas, 8090 muestras presentaron niveles "alto" de Cu. Los suelos de la región Oriental presentan predominio de suelos con alta disponibilidad de Cu, ideales para los sistemas de producción agrícola, ganadero y forestal.

Palabras clave: micronutriente; nivel de cobre en el suelo; oligoelementos; sistemas de producción de cultivos.

ABSTRACT

Copper (Cu) is a micronutrient required by plants in small amounts, and there are few studies related to the availability of this nutrient in Paraguayan soils, so it is important to know its availability and distribution. The aim of the research was to classify the availability of Cu in soils of the oriental 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

Autor de correspondencia: Jimmy Walter Rasche Alvarez. Docente Investigador de Tiempo Completo asociado a la Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Área Suelos y Ordenamiento Territorial. San Lorenzo, Paraguay

Email: jwrasche@agr.una.py

Fecha de recepción: enero 2022 Fecha de aceptación: febrero 2022



laboratories. The availability Cu content of the soils of 11,395 samples was classified as "high" ($>0.8 \text{ mg kg}^{-1}$); "medium" level ($0.8 - 0.3 \text{ mg kg}^{-1}$) and "low" level ($<0.3 \text{ mg kg}^{-1}$), generating a Cu availability map at the district level. Descriptive statistics were performed from the Cu values. Of the 234 districts that make up the oriental region of Paraguay, 71% presented a "high" level, 8% a "medium" level, and 4% a "low" level. The department with the highest average value of Cu was Itapúa with 12.3 mg kg^{-1}) and the lowest average value of Cu was Concepción with 0.8 mg kg^{-1} . Considering the total number of soil samples analyzed, 8,090 samples presented "high" levels of Cu. The soils of the Eastern region present a predominance of soils with high availability of Cu, ideal for agricultural, livestock and forestry production systems.

Keywords: micronutrient; soil copper level; trace elements; crop production systems.

INTRODUCCIÓN

El Cu es un micronutriente que se encuentra en el suelo principalmente en la forma de Cu^{+2} , donde las plantas lo absorben como tal, habiendo en mayor cantidad en rocas ígneas que en rocas silicatadas (Macías y Carreño 1972, Criado et al. 2018). En la litósfera el contenido de Cu total es variable, oscilando de 6 a 80 mg kg^{-1} (McBride 1994) del cual una parte de Cu total está disponible a las plantas. Roca et al., (2007) en Argentina encontraron valores promedios de Cu total de $23,6 \text{ mg kg}^{-1}$, con valores que oscilaron de 8 a 40 mg kg^{-1} , y Cu disponible de $0,91 \text{ mg kg}^{-1}$, con valores de entre 0,31 a $2,51 \text{ mg kg}^{-1}$.

En el suelo los niveles de Cu disponible varían de acuerdo al material de origen, a la textura, al valor de pH, al nivel de materia orgánica, a la profundidad del suelo y del propio sistema de manejo del suelo (Bradl 2004, Alleoni et al. 2005, Roca et al. 2007, Prieto 2018). El Cu es poco móvil en el suelo, habiendo poca variación de disponibilidad de Cu en el perfil del suelo (Roca et al. 2007) estando su disponibilidad relacionada con la textura del suelo, siendo mayor en suelos más arcillosos y proporcional con el nivel de materia orgánica del suelo, siendo mayor su adsorción mientras más materia orgánica tenga el suelo (Tiecher et al. 2013). La disponibilidad de Cu en el suelo también está muy influenciada por el valor de pH, es decir al aumentar el pH, aumenta la adsorción del Cu en la fracción arcilla, principalmente en suelos con cargas variables y con alta saturación de aluminio (Al^{+3}) (Alleoni et al. 2005)

Actualmente, aunque exista algunos experimentos en el Paraguay relacionados a la respuesta de los cultivos a la aplicación de Cu (González et al. 2017; Núñez, 2019; Tellez, 2019), existe aún escasa información generada sobre los niveles de Cu en el país.

El objetivo de esta investigación fue clasificar la disponibilidad del cobre en suelos de la región Oriental del Paraguay.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio abarca la región Oriental del Paraguay con una superficie de 159.827 km^2 , lo que constituye el 40% de la superficie total del país. Los órdenes de suelo reconocidos en esta región son en extensión el Ultisol, Alfisol, Oxisol, Inceptisol, Entisol, Mollisol y Vertisol (López et al. 1995).

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 11.395 resultados de análisis de suelo para Cu. 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 extracción de Cu disponible por el método de Mehlich I (Tedesco et al. 1995).

Fue clasificado el contenido de Cu disponible de los suelos en nivel "alto" ($>0,8 \text{ mg kg}^{-1}$); "medio" ($0,8 - 0,3 \text{ mg kg}^{-1}$) y "bajo" ($<0,3 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, 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 Secretaría 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 Cu 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, 206 municipios (71%) del total fueron clasificados con nivel "alto" de Cu disponible en el suelo, 19 distritos (8%) fueron clasificados con nivel "medio" de Cu, y 9 distritos (4%) con nivel "bajo" de Cu, correspondiendo a los distritos de Belén y San Carlos (Concepción), General Resquí (San Pedro), San Bernardino y Tobati (Cordillera), Quiindy (Paraguari) Yvyrarobana (Canindeyú), el Yabebyry (Misiones) y General Díaz (Ñeembucú) (Figura 1).

De los 234 distritos 39 distritos no fueron clasificados por ausencia de datos (17% del total de distritos), principalmente aquellos distritos ubicados en Ñeembucú (8 distritos), Guairá (6 distritos), Cordillera (5 distritos), Central (5 distritos), Canindeyú (3 distritos), Alto Paraná (3 distritos) y Canindeyú (3 distritos), algunos por ser distritos mayormente urbanos, como es el caso de Central, y otros por ser municipios relativamente nuevos o poseer poca o nula actividad agrícola (Figura 1).

asimétrica, sesgado a la izquierda, es decir, existe una mayor cantidad de muestras de suelo con valores inferiores al promedio de concentración de Cu, con excepción de los departamentos de Guiará y Paraguari, donde distribución del conjunto de datos es asimétrica, sesgado a la derecha, es decir los valores de Cu disponible en el suelo fueron en su mayoría mayores al promedio general del departamento.

También se puede observar que en todos los departamentos, con excepción de Concepción, el valor del cuartil inferior es superior a $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu, que se consideraría clasificado como nivel "bajo" de Cu en el suelo, es decir, la mayoría de las muestras fueron superiores al mismo. Los suelos del departamento de Concepción, en gran parte son originados a partir de rocas calizas, y estas pueden originar suelos con bajos niveles de Cu disponible, coincidiendo con lo observado en el noroeste argentino por Noval et al., (2014) quienes encontraron deficiencias de Cu en el 42% de las muestras investigadas. En los demás departamentos los suelos tienen otro material de origen (arenisca o basalto), naturalmente más ácidos, por lo tal tienden a presentar mayor disponibilidad de Cu en el suelo.

Analizando el desvío estándar y el coeficiente de variación (CV) se observa alta dispersión de los datos en los resultados de análisis de suelo. Esta 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 fertilizantes químicos y enmiendas orgánicas, que pueden ocasionar alta heterogeneidad en los niveles de Cu en el suelo, comparado con la variación natural existente a causa del material de origen, o la formación del suelo que generalmente son menores.

Se puede resaltar lo observado en el cuartil superior y el intercuartil del departamento de Itapúa con valores de 16,7 y $10,0 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente, lo que demuestra la existencia de una mayor amplitud en el valor de Cu en el suelo de Itapúa, comparado con otros departamentos (Tabla 1). Se puede atribuir a la presencia de los mayores valores de Cu en dichos suelos, que además propio material de origen, el uso sucesivo de enmiendas orgánicas en agricultura, principalmente estiércol suino,, en permite el aumento y acumulación de Cu en la camada superficial del suelo (Giroto et al., 2010), ya que este departamento es el principal productor de suinos en Paraguay con 99.271 cabezas, responsable de la cría del 26% del total de suinos en Paraguay, en función a un total de 384.678 cabezas (SENACSA, 2020).

Tabla 11. Estadística descriptiva sobre los niveles de Cu disponible en suelos de la región Oriental del Paraguay a nivel departamental basados en 11.395 resultados de análisis de suelos entre 2006 y 2017

Distrito	muestra analizadas	Cu						CV
		promedio	media na	desviación estandar	Quartil Inferior	Quartil superior	Intercuartil	
mg kg^{-1}								
%								
Concepción	79	0,8	0,5	1,1	0,2	0,9	0,7	134,1
San Pedro	853	1,8	1,2	3,4	0,5	2,1	1,6	183,1
Cordillera	452	2,1	1,7	2,2	0,8	2,7	1,9	106,8
Guiará	131	2,9	2,9	2,2	0,9	3,8	2,9	77,5
Caaguazú	1.340	1,4	1,1	1,6	0,7	1,7	1,0	115,1
Caazapá	189	3,2	1,7	4,0	0,7	3,9	3,2	122,4
Itapúa	4.518	12,3	11,8	7,9	6,7	16,7	10,0	64,3

Misiones	235	2,4	1,9	2,5	0,9	2,9	2,0	104,7
Paraguarí	567	2,9	3,6	2,4	0,9	3,8	2,9	82,9
Alto Paraná	1.318	5,7	4,0	5,8	1,9	7,7	5,8	102,7
Central	151	3,5	1,4	6,0	0,5	2,6	2,1	172,5
Ñeembucu	28	2,9	1,2	3,5	0,5	3,5	3,0	121,2
Amambay	69	1,8	0,4	2,2	0,4	3,1	2,7	122,3
Canindeyú	1.463	1,9	1,0	3,1	1,9	7,7	5,8	102,7
Total	11.395	6,5	3,1	7,3	1,1	10,5	9,4	112,7

En relación al número total de muestras de suelos analizadas (11.935), se observa que a nivel de región Oriental, el 71% de las mismas se encuentran con niveles clasificados como "alto" (8.090 muestras), el 21% de las mismas se encuentran con niveles clasificados como "medio" (2.393 muestras) y el 8% (912) clasificadas como "bajo" (Tabla 2), es decir, que a nivel de la región Oriental del Paraguay solo en el 8% de las muestras presentan una alta probabilidad de respuesta a la fertilización con Cu, principalmente en los cultivos más exigentes en relación a este micronutriente.

Los experimentos con fertilización cúprica en algunos cultivos agrícolas, realizados en Paraguay son escasos. En este contexto, González et al. (2017) no observaron respuesta de la aplicación de Cu en el cultivo de trigo en un experimento a campo, por otro lado, en un experimento en macetas bajo invernadero, Núñez (2019) en el cultivo de trigo y Tellez (2019) en la soja observaron que la producción de materia seca aérea respondieron significativamente a la aplicación de Cu, principalmente en suelo arenoso, sin embargo, el contenido de Cu en la parte aérea del cultivo y el contenido de Cu en el suelo arenoso y arcilloso no presentan diferencias.

A nivel departamental se observa que los valores de Cu se encuentran en de forma general en niveles altos (Tabla 2), sin embargo, al desglosar la tabla se observan que existen departamentos con mayor cantidad de muestras con niveles "medios" o niveles "bajos", como es el caso del departamento de Concepción que solo el 38% de las muestras de suelos presentaron valores considerados "altos", comparados a los departamentos de Itapúa y Alto Paraná, cuyo porcentaje de muestra de suelos con niveles "alto" fueron de de 97 y 93%, respectivamente.

En el caso del departamento de Concepción específicamente, aunque por el promedio general se clasifica con nivel "medio", de los once municipios, en dos municipios (Belén y San Carlos los niveles de Cu son clasificados como "bajo" y dos municipios (Concepción y Azotey) clasificados con nivel "medio" de Cu (Figura 1), además en dos no existieron datos analíticos. Era de esperarse esos niveles "bajo" a "medio" en estos municipios, considerando que el material de origen que formaron los suelos de los mismos están representadas por rocas calizas, con valores de pH muy próximos a la neutralidad, dado que a medida que aumenta el pH del suelo disminuye la disponibilidad de Cu en el suelo (Alleoni et al. 2005).

Tabla 22. Clasificación de los niveles de Cu disponible en suelos de la región Oriental del Paraguay a nivel departamental basados en 11.395 resultados de análisis de suelos entre 2006 y 2017.

Distrito	muestra analizadas	Niveles de Cu				Promedio
		alto	medio	bajo	nivel	
		%				mg kg ⁻¹
Concepción	79	38	25	37	medio	0,8
San Pedro	853	68	20	12	alto	1,8
Cordillera	452	75	15	9	alto	2,1
Guairá	131	84	16	0	alto	2,9
Caaguazú	1.340	70	21	8	alto	1,4
Caazapá	189	73	19	7	alto	3,2
Itapúa	4.518	97	2	1	alto	12,3
Misiones	235	83	12	5	alto	2,4
Paraguarí	567	77	20	3	alto	2,9
Alto Paraná	1.318	93	5	2	alto	5,7
Central	151	71	23	6	alto	3,5
Ñeembucu	28	64	29	7	alto	2,9
Amambay	69	48	51	2	alto	1,8
Canindeyu	1.463	58	31	12	alto	1,9
Total muestras	11.395	8090	2393	912	alto	6,5
% de las muestras	100	71	21	8	--	--

Los niveles de Cu disponible en "alto" ($>0,8$ mg kg⁻¹); "medio" (0,8 – 0,3 mg kg⁻¹) y "bajo" ($<0,3$ mg kg⁻¹), respectivamente fueron establecidos por Raj (2011).

Del mismo modo era de esperarse que las muestras de suelo analizadas de los departamentos de Itapúa y Alto Paraná posean niveles de Cu clasificados como "alto", considerando que esos suelos son de origen arcilloso, cuyo material de origen es basalto, derivados de una roca ígnea que naturalmente posee mayor cantidad de Cu que las rocas sedimentarias areniscas, además del uso continuo de fertilizantes, enmiendas orgánicas y fungicidas que en muchos casos poseen Cu. No obstante, en aquellos distritos que componen estos departamentos, en los suelos de textura más arenosa, se observan mayores porcentajes de muestras de suelo con valores clasificados como "medio" de Cu, notándose en el distrito de San Pedro del Paraná que presentan solo el 76% de las muestras de suelo clasificados con nivel "alto" de Cu, siendo que estos distritos en general poseen suelos derivados de areniscas.

En el departamento de Alto Paraná, la mayoría de los distritos presentaron más del 90% de sus muestras dentro del nivel "alto", a excepción del distrito de Itakyry que presentó solo el 67% de sus muestras entre los niveles "alto". Prieto (2018) observó en suelos de Minga Guazú que el mayor nivel de Cu disponible se encontraba en suelos con pasturas, comparados a suelos con sistemas de siembra directa, sistema convencional o tradicional de labranza y sistema de bosques, sin embargo, no observó correlación de Cu con el pH o contenido de materia orgánica de los suelos.

CONCLUSIÓN

En la región Oriental existe predominio de suelos con alta disponibilidad de Cu, ideales para los sistemas de producción agrícola, ganadero 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.

Conflicto de interés: Ninguno.

Contribución de autores: Mirelly Paola Rolón Galeano. Clasificación, verificación y análisis de los datos, realización del mapa de Cu

Jimmy Walter Rasche Alvarez. Planificación del experimento. Análisis e interpretación de datos, redacción del manuscrito

Diego Augusto Fatecha Fois. Planificación y conducción del experimento, obtención de los datos, revisión del manuscrito.

Gustavo Adolfo Rolón Paredes. Interpretación de los resultados, realización del mapa de Cu en el suelo a nivel de distrito.

Carlos Andrés Leguizamón Rojas. Financiamiento del proyecto. Interpretación de los resultados, revisión del manuscrito.

Camila Erna Aurora Ortiz Grabski. Obtención de los datos, clasificación de los mismos y análisis parcial de los datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alleoni, L.R.F., Iglesias, C.S.M., Mello, S.C., Camargo, O.A., Casagrande, J.C., Lavorenti, N.A. (2005). Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. *Acta Scientiarum Agronomy*, 27(4), 729-737. Consultado 17 ene. 2022. Disponible en:

<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/1348/1124>

Bradl, H.B. (2004). Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Colloid Journal of Colloid and Interface Science*, 277:1-18. Consultado 23 set. 2021. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002197970400356X>

Criado, M., Alonso R., P., Santos F., F. (2018). El papel de la geología en la determinación de los niveles de referencia para la evaluación de la contaminación del suelo. *Geogaceta*. 64: 131-134. Consultado 10 ene. 2022. Disponible en:

http://www.sociedadgeologica.es/archivos/geogacetas/geo64/geo64_33.pdf

DGEEC (Dirección General de Estadística, Encuesta y Censos, Paraguay). Compendio estadístico (2018) (en línea). Fernando de la Mora, Paraguay. Consultado 17 may. 2020. Disponible en:

https://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/documento/6a53_Compendio%20Estadistico%202018.pdf

Giroto, E., Ceretta, C.A., Brunetto, G., Santos, D.R., Silva, L. S., Lourenzi, C.R., Lorensini, F., Vieira, R.C.B, Schmatz, R. (2010). Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 34, 955-965. Consultado 17 ene. 2022. Disponible en:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/sjSBZkNqgmdtmc9kt6zfR6g/abstract/?lang=pt>

- González, A., Szostak, J., Morel, J. (2017). Fertilización del cultivo de trigo con micronutrientes boro, cobre, zinc y cloro en un suelo arcilloso rojo bajo siembra directa en Capitán Miranda-Paraguay. *Tecnología Agraria*, 2(1), 24-28.
- 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).
- Macías D, E., Carreño G, T. (1972). Estudio de oligoelementos en suelos de pastos de la provincia de Salamanca. 1. Cobre. *Pastos*, 2(2), 228-235.
- McBride, M.B. (1994). *Environmental Chemistry of Soils*. Oxford University Press, New York, 406p
- Noval, A.E., García, D.J.R., García, L.R., Quiñones, R.R., Mollineda, T.A. (2014). Caracterización de algunos componentes químicos, en suelos de diferentes agroecosistemas ganaderos. *Centro Agrícola*, 41(1), 25–31. Consultado 10 ene. 2022. Disponible en: http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V41-Numero_1/cag051141956.pdf
- Núñez, P. (2019). Fertilización cúprica en el cultivo de trigo en suelos de diferentes texturas. Tesis. San Lorenzo, PY, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial. 41 p
- 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.
- Raj Van, B. (2011). *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba, Brasil, International Plant Nutrition Institute. 420 p.
- Roca, N., Pasos, M.S., Bech, J. (2007). Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO argentino. *Revista Ciencia del Suelo*. 25(1), 31-42. Consultado 10 ene. 2022. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v25n1/v25n1a05.pdf>
- SENACSA (2020). Avances estadísticos 2020. Consultado 10 ene. 2022. Disponible en: https://www.senacsa.gov.py/application/files/3716/0009/0661/Avances_Estadistica_2020-12.pdf
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., 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).
- Tellez R, H. (2019). Fertilización cúprica en el cultivo de soja en suelos de diferentes texturas. Tesis. San Lorenzo, PY, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial. 30 p
- Tiecher, T.L., Ceretta, C.A., Comin, J.J., Giroto, E., Miotto, A., Moraes, de M.P., Benedet, L., Ferreira, P.A.A., Lorenzi, C.R., Couto, R da R., Brunetto G. (2013). Formas e acúmulo de cobre e zinco em um argissolo vermelho com histórico de aplicação de dejetos líquido e cama sobreposta de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(3), 812-824. Consultado 11 ene. 2022. Disponible en: [10.1590/S0100-06832013000300028](https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300028)