

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

## Disponibilidad de zinc y variabilidad dentro del perfil en Vertisol Crómico de la provincia de Holguín

### Availability of zinc and variability within the profile in Chromic Vertisol in Holguin province

Yakelin Cobo Vidal<sup>1\*</sup>, Elio Angarica Baró<sup>2</sup>, George Martín Gutiérrez<sup>1</sup>, Adrián Serrano Gutiérrez<sup>1</sup>, Juan Alejandro Villazón Gómez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Holguín (EPICA), Guaro S/N, Mayarí, Holguín, Cuba, CP 83300

<sup>2</sup> Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Oriente Sur (ETICA), Los Coquitos, Palma Soriano, Santiago de Cuba, Cuba, CP 92610

<sup>3</sup> Universidad de Holguín, Sede José de la Luz y Caballero, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Centro de Estudios de Agroecosistemas Áridos (CEAAR), Ave. de los Libertadores, km 3½, Holguín, Cuba, CP 80100

\*Autor para correspondencia: [yakelin.cobo@inicahl.azcuba.cu](mailto:yakelin.cobo@inicahl.azcuba.cu)

#### RESUMEN

El estudio se desarrolló con el objetivo de evaluar el contenido de zinc disponible en cinco perfiles de Vertisol Crómico, su distribución dentro del perfil del suelo y la relación con algunas propiedades químicas del mismo. Las muestras fueron tomadas en áreas dedicadas a la actividad agropecuaria del municipio Mayarí, provincia de Holguín. Las variables evaluadas fueron: pH, fósforo y potasio disponibles, materia orgánica y los cationes intercambiables: calcio, magnesio, potasio y sodio. La determinación de zinc disponible se realizó mediante la extracción con ácido dietilentriamino-pentaacético (DTPA). Los resultados mostraron deficiencias de zinc disponible en los cinco perfiles de suelo, con valores promedio que oscilaron entre 0,23 y 0,30 mg kg<sup>-1</sup>, de acuerdo con los niveles críticos establecidos. La mayor concentración de zinc se presentó en el horizonte superficial, pero la tendencia es a disminuir con la profundidad. La variabilidad de zinc disponible fue baja dentro de la zona de estudio, influenciada fundamentalmente por los niveles de fósforo asimilable en el perfil de suelo.

**Palabras clave:** perfil de suelo, propiedades químicas, zinc disponible

#### ABSTRACT

The study was developed with the objective of evaluating the zinc content available in five profiles of Chromic Vertisol, its distribution within the soil profile and the relationship with some chemical properties. The samples were taken in areas dedicated to the agricultural activity in Mayarí municipality, Holguín province. The variables evaluated were: pH, available

phosphorus and potassium, organic matter and the interchangeable cations: calcium, magnesium, potassium and sodium. The available zinc was determined by extraction with diethylenetriamine pentaacetic acid (DTPA). The results showed deficiencies of zinc available in the five soil profiles, with average values between 0.23 and 0.30 mg kg<sup>-1</sup>, according to the established critical levels. The highest concentration of zinc occurred in the superficial horizon with a tendency to decrease with depth. The available zinc variability was low within the study area, influenced mainly by the assimilable levels of phosphorus in the soil profile.

**Keywords:** soil profile, chemical properties, available zinc

## INTRODUCCIÓN

Los micronutrientes son esenciales para el crecimiento y la reproducción vegetal, pero requeridos en proporciones menores a los macronutrientes. Su esencialidad radica en que se encuentran asociados a enzimas que regulan distintos procesos metabólicos, principalmente la respiración, la fotosíntesis y la síntesis de clorofila (Torri *et al.*, 2015). El zinc (Zn), está involucrado en una amplia variedad de procesos fisiológicos que repercuten negativamente sobre la producción, tanto en el rendimiento como en la calidad los de los frutos, cuando es deficiente (Jain *et al.*, 2013). Se estima que el 50 % de los suelos agrícolas destinados al cultivo de cereales (arroz, maíz, trigo) son potencialmente deficientes de Zn y este micronutriente no solo reducen los rendimientos de esos cultivos, sino también su valor nutricional (Internacional Zinc Association y Asociación Latinoamericana del Zinc, 2011). Actualmente es considerado como el nutriente más limitante en la producción agrícola después del nitrógeno y fósforo.

Alloway (2008) señala que, aunque la deficiencia de Zn puede ser encontrada en muchos tipos de suelos y en diferentes regiones edafoclimáticas del mundo, con frecuencia se asocia a suelos de climas tropicales, pH neutros o alcalinos, suelos calcáreos, salinos, orgánicos, arenosos, altas concentraciones de calcio y magnesio, en Vertisoles y Gleysoles.

Se han detectado deficiencias de Zn en los ecosistemas de llanuras inundadas cultivadas con arroz en la India (Bhaskar y Sarker, 2013; Das, 2014; Bhaskar *et al.*, 2017), el 98 % de las

muestras evaluadas en Vertisoles de Etiopía (Abera y Kebede, 2013) y sitios cultivados con maíz en Argentina (Sainz Rozas *et al.*, 2013). Según Quintero (2018) la producción de arroz en Argentina se encuentra estancada en menos del 50 % de su potencial productivo, debido a un conjunto de factores entre los que menciona las deficiencias de Zn existente en suelos ligeramente alcalinos.

Los Vertisoles son usados intensivamente en Cuba para la producción de caña de azúcar (en regadío y secano), arroz (de regadío) y otros cultivos; aunque, la producción ganadera (mediante la siembra de pastos mejorados con riego o pastizales naturales en secano) conforma casi el 50 % del uso de estos suelos (Cid *et al.*, 2009). Según Hernández y Pérez (1975) los Vertisoles ocupan un área de 209 000 ha en Holguín y son los de mayor importancia agrícola con 22 617 ha del municipio Mayarí al representar más del 60 % de la superficie apta para la producción agropecuaria.

Según lo expuesto, en el contexto actual, diagnosticar oportunamente el estado nutricional de los agroecosistemas a través del análisis de suelo, es una condición indispensable para garantizar la sostenibilidad de los mismos. Sin embargo, no se cuenta con información relevante del contenido de Zn disponible en los Vertisoles de las áreas agrícolas del municipio Mayarí. Para contribuir al conocimiento del estado de la fertilidad de este nutriente, el objetivo del trabajo fue evaluar los contenidos de Zn disponibles en cinco perfiles de Vertisol Crómico, su distribución dentro del perfil del suelo y la relación con algunas propiedades químicas de los mismos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue conducido por la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín, sobre un Vertisol Crómico, en áreas dedicadas a la actividad agropecuaria del municipio Mayarí, provincia de Holguín, cuyo uso actual es el pastoreo natural. Se tomaron muestras de cinco perfiles de suelo, de forma aleatoria y georreferenciada (Tabla 1).

Los perfiles fueron descritos según la Clasificación de los suelos de Cuba propuesta por Hernández *et al.* (2015). A las muestras se les determinó las variables: pH (método potenciométrico relación suelo-solución 1:2,5), fósforo ( $P_2O_5$ ) y potasio ( $K_2O$ ) disponibles ( $H_2SO_4$  0,1 N), materia orgánica del suelo (MOS) por el método de Walkley-Black, cationes cambiabiles ( $cmol\ kg^{-1}$ ), calcio, magnesio, sodio y potasio ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  y  $K^+$ ) y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), extracción con acetato de amonio 1N, tamponado a pH 7, según las Normas y Procedimientos del Departamento de Suelo y Agroquímica del Instituto Nacional de Investigaciones de La Caña de Azúcar (1990). La determinación de Zn disponible se realizó mediante la extracción con DTPA (ácido dietilen-triamino-pentaacético), Ext. 0.005M DTPA, 0.1M TEA en el Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ- Moa), para el cual se utilizó un equipo de Absorción Atómica tipo SOLAAR 929. Para la interpretación de las concentraciones de Zn disponible se utilizó el rango de valor crítico propuesto por Sims y Johnson (1991): <0,5

(bajo), 0,5-1,0 (medio) y >1,0  $mg\ kg^{-1}$  (alto).

Los datos se analizaron con el paquete estadístico STATISTICA 8. Se determinó el intervalo de confianza al 95 % para estimar las concentraciones de Zn disponibles en las diferentes localidades y el análisis de regresión múltiple por el método de introducción por pasos (*Stepwise*) para determinar las variables que mejor expliquen la variación de Zn disponible en los sitios de estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 resume los resultados de las propiedades químicas de los perfiles que caracterizan a los Vertisoles, los que presentan una reacción de suelo entre neutra y ligeramente alcalina en todas las profundidades, debido a la alta saturación de las bases cambiabiles. La disponibilidad de  $P_2O_5$  está dentro del rango medio en el horizonte superficial del perfil ubicado en Morales y alta en el resto de las localidades, asimismo, en los horizontes interiores se pueden encontrar valores que oscilan desde medio a bajo. El  $K_2O$  disponible se considera alto en la superficie de los perfiles de Juan Vicente y Castellano, medio en Corúa y Manacal, así como, bajo en Morales.

En el horizonte superficial la MOS se considera media para la zona de Corúa y Morales, sin embargo, los perfiles de Juan Vicente, Manacal y Castellano poseen porcentajes que sobrepasan el 4 %, valores que pueden estar asociados al aporte de residuos orgánicos debido a la acción prolongada de los

**Tabla 1.** Ubicación geográfica de los sitios de estudio

Perfil	Este	Norte	Altitud (m SNM)
Juan Vicente	75°43'39,2" m	20°40'06,4" m	27,0 m
Morales	75°47'37,6" m	20°42'52,2" m	11,0 m
Manacal	75°48'14,2" m	20°39'46,5" m	31,1 m
Castellano	75°48'02,6" m	20°39'18,6" m	36,8 m
Corúa	75°35'37,8" m	20°41'23,3" m	11,6 m

**Tabla 2.** Propiedades químicas de los perfiles de estudio en áreas agropecuaria del municipio Mayarí

Profundidad (cm)	Horizonte	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg 100g <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (mg 100g <sup>-1</sup> )	MOS (%)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC
<b>Juan Vicente</b>										
0-20	A	6,97	3,64	16,86	4,21	38,63	19,47	0,90	1,00	60,00
20-61	Bt	7,18	1,15	9,41	1,27	22,10	14,74	0,95	0,83	38,62
61-125	Bca	7,31	0,54	10,55	1,02	13,73	18,65	3,14	0,60	36,12
125-157	Bc	7,40	1,12	11,12	0,51	7,51	23,06	2,16	0,30	33,03
<b>Morales</b>										
0-17	A	6,87	2,02	7,72	3,82	38,73	6,21	0,85	1,08	46,87
17-28	Bt	7,02	0,87	3,85	2,17	32,08	6,78	1,85	0,65	41,36
28-49	B1	7,04	0,22	3,85	1,78	26,50	9,94	4,25	0,60	41,29
50-94	Bc	7,11	1,23	2,77	1,78	20,06	11,31	3,05	0,60	35,02
<b>Manacal</b>										
0-28	A	6,79	4,18	11,12	4,08	61,67	7,12	2,00	0,35	71,14
29-53	B1	6,92	2,16	8,85	2,55	50,97	10,42	4,92	0,31	66,62
53-97	Bca	7,04	0,43	6,05	1,27	50,46	10,31	1,20	0,52	62,49
97-139	Bc	6,97	1,23	6,61	1,02	30,47	7,33	7,02	0,26	45,08
<b>Castellano</b>										
0-20	A	6,87	6,09	19,18	4,84	55,79	2,71	1,04	0,49	60,03
20-74	B1	7,00	1,23	13,40	3,57	46,25	6,89	2,40	0,45	55,99
74-117	Bca	7,33	0,22	8,85	2,80	13,30	6,53	6,20	0,41	26,44
118+	Bc	7,24	1,91	15,70	0,76	19,31	11,25	7,83	0,35	38,74
<b>Corúa</b>										
0-23	A	6,79	4,33	13,97	3,23	48,07	9,83	1,14	0,35	59,39
23-54	Bt	6,95	1,80	13,40	1,63	38,63	14,00	3,20	0,28	56,11
54-83	Bca	7,00	1,80	12,26	0,51	33,26	13,90	3,79	0,20	51,15
83-140	Cca	7,18	1,37	8,29	0,11	23,82	13,83	3,66	0,24	41,55

pastos. En todos los perfiles la CIC y las concentraciones de bases cambiables son altas, con predominio del Ca<sup>2+</sup> en el complejo de absorción. La relación Ca:Mg es aceptable (entre 2 y 6 cmol kg<sup>-1</sup>) en los perfiles evaluados de Morales, Manacal, Castellano y Corúa, aunque, muestra valores inferiores a 2 cmol kg<sup>-1</sup> a través de todo el perfil en Juan Vicente. La relación Ca:Mg puede provocar desbalance nutricional debido al predominio del Mg<sup>2+</sup> en la solución del suelo.

La concentración promedio de Zn disponible en los cinco perfiles de suelo se encuentra por debajo de 0,5 mg kg<sup>-1</sup> (Tabla 3), lo que ubica los

mismos en niveles de deficiencias según los estándares sugeridos por Sims y Johnson (1991). Esta deficiencia puede ser una limitante para la producción agrícola de la zona. Los valores obtenidos son comparables con los alcanzados por Yerima *et al.* (2013) cuando reportó concentraciones de Zn entre 0,07 y 0,37 mg kg<sup>-1</sup> a través del perfil edáfico; igualmente, Abera y Kebede (2013) encontraron baja disponibilidad de este elemento en Vertisoles de Etiopía.

Los parámetros estadísticos expuestos indican que los perfiles localizados en Juan Vicente y Corúa son los de más bajo contenido

**Tabla 3.** Estadística de la concentración de Zn disponible (DTPA) en cinco perfiles de suelo del municipio Mayarí

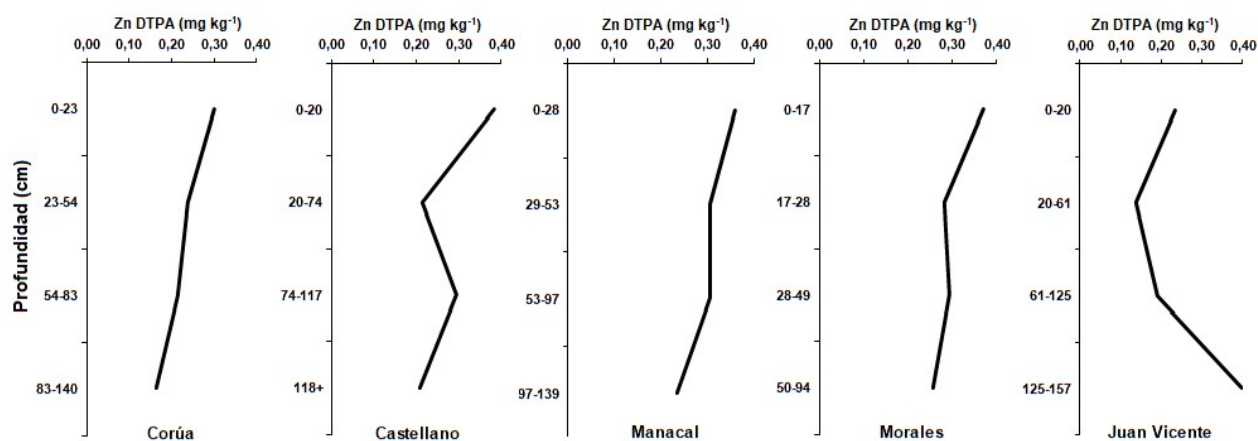
Perfiles	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de Confianza	
		(mg kg <sup>-1</sup> )					-95,00 %	+95,00 %
Juan Vicente	4	0,24	0,14	0,40	0,11	0,06	0,06	0,42
Morales	4	0,30	0,26	0,37	0,05	0,02	0,22	0,38
Manacal	4	0,30	0,24	0,36	0,05	0,03	0,22	0,38
Castellano	4	0,28	0,21	0,38	0,08	0,04	0,14	0,41
Corúa	4	0,23	0,17	0,30	0,06	0,03	0,14	0,32

de Zn disponible, Castellano se ubica en una posición intermedia, seguidos por Morales y Manacal con una concentración superior y similar estadísticamente. En general, los niveles de Zn disponible dentro de los perfiles mostraron poca variación, de igual modo, entre las localidades. Según los intervalos de confianza obtenidos por localidad, existe la probabilidad de que los Vertisoles del municipio Mayarí sean deficientes de Zn (< 0,5 mg kg<sup>-1</sup>).

La distribución de Zn disponible muestra la mayor concentración del micronutriente en el horizonte superficial, seguida de una disminución en el segundo horizonte y luego una zona de ligero incremento en el tercer horizonte. No obstante, la tendencia es que la

disponibilidad del Zn disminuye con la profundidad, en cambio, el perfil de Juan Vicente muestra un aumento a partir de los 125 cm de profundidad (Figura).

Ratto y Miguez (2006) al explicar la disponibilidad del Zn en algunos perfiles de suelo de la provincia de Buenos Aires, refieren que el micronutriente se acumula en la superficie formando parte de los compuestos orgánicos, mientras, en la zona de mayor exploración radical, el contenido se reduce apreciablemente entre los 40 y 50 cm de profundidad, aunque se observa una zona de enriquecimiento que corresponde al horizonte argílico, cuyas arcillas retienen Zn. Asimismo, autores como Hirzel *et al.* (2015), Arévalo *et al.* (2016) y Bhaskar *et al.* (2017) han reportado

**Figura.** Distribución de Zn disponible en perfiles de suelo Vertisol Crómico en áreas agropecuarias del municipio Mayarí

mayor acumulación del contenido de Zn en la capa superficial.

El modelo de regresión múltiple Stepwise evaluó la significación de las propiedades químicas que caracterizan a los perfiles estudiados, a partir del cual se incorporaron las variables predictoras y el poder explicativo de cada una de ellas. La Tabla 4 presenta las variables  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , CIC y MOS que contribuyeron en un 20 % a la variabilidad del Zn disponible, sin embargo, a pesar de ser clasificadas como variables relevantes contempladas en el modelo, solo el  $P_2O_5$  tiene un significativo valor de predicción con un p de 0,046. El error estándar de los predictores  $K_2O$ , CIC y MOS fueron extremadamente bajos por lo que no modifican la variable dependiente.

Las variables pH y cationes intercambiables no fueron relevantes por lo que se excluyeron del modelo de regresión. Eyherabide *et al.* (2012) encontraron que el 27 % de la variación de Zn disponible fue explicado por la relación positiva del contenido de P-Bray y MOS, así como el pH que influyó negativamente, siendo más importante la contribución del P-Bray. La asociación positiva del Zn con el  $P_2O_5$  favorece su disponibilidad. Shuman (1991) refiere que el P favorece la redistribución del Zn desde las fracciones menos disponibles (óxidos de hierro y manganeso) hacia la fracción intercambiable, permitiendo al Zn estar disponible para las plantas, mientras que, Xiaorong Wei *et al.* (2006) consideran que el Zn puede formar complejos solubles con el P y así aumentar su disponibilidad en el suelo.

## CONCLUSIONES

1. Se encontraron valores promedio de zinc disponible en los cinco perfiles de suelo entre 0,23 y 0,30 mg kg<sup>-1</sup>, considerados deficientes según los niveles críticos establecidos.
2. La mayor concentración de zinc se localizó en el horizonte superficial, pero la tendencia es a disminuir con la profundidad.
3. La variabilidad de zinc disponible fue baja dentro de la zona de estudio, influenciada fundamentalmente por los niveles de fósforo asimilable en el perfil de suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABERA, Y. y KEBEDE, M. 2013. Assessment on the Status of Some Micronutrients in Vertisols of the Central Highlands of Ethiopia. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 3 (5): 169-173, Disponible en: <http://www.interesjournals.org/IRJAS>.
- ALLOWAY, B. J. 2008. Micronutrients and crop production. In: Alloway, B.J., editor. *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production*. Netherlands, Springer Science Business Media B.V., 1-39. Disponible en: <https://www.topsoils.co.nz/wp-content/uploads/2014/09/Zinc-in-Soils-and-Crop-Nutrition-Brian-J-Alloway.pdf>. Consultado

**Tabla 4.** Modelo de regresión múltiple para la predicción de Zn disponible en perfiles de suelo Vertisol Crómico en función de algunas propiedades químicas seleccionadas según el criterio *stepwise*

Variable Dependiente	Variable Independiente	Valor del Parámetro	Error Estándar	Valor P	r <sup>2</sup> parcial	r <sup>2</sup> ajustado
Zn Disponible	Ordenada	0,368	0,078	0,000		
	$P_2O_5$	0,034	0,015	0,046	0,141	0,204
	$K_2O$	-0,006	0,005	0,249	0,108	
	CIC	-0,003	0,002	0,189	0,056	
	MOS	0,016	0,013	0,221	0,068	

- el 28/03/2018.
- ARÉVALO, E., OBANDO, M. E., ZÚÑIGA, L. B., ARÉVALO, C. O., *et al.* 2016. Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, 15 (2): 81-89. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.747> Consultado el 28/02/2018.
- BHASKAR, B. P., TIWARI, G., PRASAD, J. 2017. Pedogenic influence on profile distribution of total and DTPA - extractable micronutrients in rice growing hydric soils of Majuli river island, Assam, India. *Spanish Journal of Soil Science. SJSS*, 7 (1).
- BHASKAR, B.P. y SARKAR, D. 2013. Capability and quality assessment of rice growing hydric soils in Majuli river Island, Assam, India. *J Agric Environ Int Dev.*, 107: 13-32.
- CID, G., HERRERA, J., LÓPEZ, T., GONZÁLEZ, F. 2009. Elementos a considerar en la proyección de sistemas de riego en suelos con tendencia al sobrehumedecimiento y la salinización en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18 (3): 54-58.
- DAS, S.K. 2014. Role of Micronutrient in Rice Cultivation and Management Strategy in Organic Agriculture-A Reappraisal. *Agricultural Sciences*, 5, 765-769.
- EYHERABIDE, M., SAINZ ROZAS, H., ECHEVERRÍA, H., *et al.* 2012. Niveles de cinc disponibles en suelos de la Región Pampeana Argentina. En: XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 16 al 20 de abril, Mar del Plata, Argentina.
- HERNÁNDEZ, A., PÉREZ JIMÉNEZ, J.M., BOSCH INFANTE, D., CASTRO SPECK, N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba, 91 p., ISBN 978-959-7023-77-7.
- HERNÁNDEZ, A. y PÉREZ, J.M. 1975. II Clasificación genética de los suelos de Cuba. Consejo Editorial, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, Cuba.
- HIRZEL, J., WALTER, I., MATUS, I. 2015. Estudio prospectivo de los principales metales pesados de suelos agrícolas cultivados con trigo candeal y maíz en diferentes zonas de Chile. IAH 20.12-1, Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/D33E17C9FC03051985257F380050963B/\\$FILE/IAH-2015-4-NLA.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/D33E17C9FC03051985257F380050963B/$FILE/IAH-2015-4-NLA.pdf) Consultado el 17/04/2017.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE LA CAÑA DE AZÚCAR (INICA). 1990. Normas Metodológicas del Departamento de Suelos y Agroquímicas. Departamento de Suelos y Agroquímicas, La Habana, Cuba, 108 p.
- INTERNACIONAL ZINC ASSOCIATION (IZA) y ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DEL ZINC (LATIZA). 2011. Zinc en los fertilizantes. La contribución a la solución de un problema nutricional mundial. *Rev. Fertilizar, Asociación Civil, Argetina*, no. 21: 25-30.
- JAIN, N., BHARGAVA, A., TRADER, J. C., *et al.* 2013. A biomimetic approach towards synthesis of zinc oxide nanoparticles. *Applied microbiology and biotechnology*, 97 (2): 859-869.
- QUINTERO, C. 2018. Fertilización para altos rendimientos de arroz en la región templada Argentina. *Archivo Agronómico*, 17: 1-5. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/7AF77A7A3F1C469F85258274006DEF50/\\$FILE/IAH%202018-1%20NLA.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/7AF77A7A3F1C469F85258274006DEF50/$FILE/IAH%202018-1%20NLA.pdf) Consultado el 03/05/2018.
- RATTO, S. E. y MIGUEZ, F. H. 2006. Zinc en el cultivo del maíz, deficiencia de oportunidad. *Rev. Informaciones Agronómicas*, 63: 8-15.

- SAINZ ROZAS, H.R., EYHERABIDE, M., ECHEVERRÍA, H.E., *et al.* 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? Actas del Simposio Fertilidad, IPNI-FERTILIZAR, Rosario.
- SHUMAN, L.M. 1991. Chemical forms of micronutrients in Soils. En: MORTVEDT, J.J., COX, F.R., SHUMAN, L.M., WELCH, M.R. (Eds.). *Micronutrients in agriculture* (Book series 4): 113- 144. Ed. SSSA, Madison, Wiscconsin, USA.
- SIMS, J.T. y JOHNSON, G.V. 1991. Micronutrient soil test. In: MORTVEDT, J.J., COX, F.R., SHUMAN, L.M., WELCH, M.R. (ed.). *Micronutrients in agriculture*, 2 nd ed., Madison, Wiscconsin, SSSA, p. 427-477.
- TORRI, S., URRICARIET, A.S. y LAVADO, R. 2015. Micronutrientes y Elementos Traza. En: GARCÍA, F. O., ECHEVERRÍA, H. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Segunda Edición, INTA-IPNI, 189-203. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/283492275\\_Micronutrientes\\_y\\_Elementos\\_Traza](https://www.researchgate.net/publication/283492275_Micronutrientes_y_Elementos_Traza). Consultado el 10/05/2017.
- XIAORONG, W., MINGDE, H., MINGAN, S. y WILLIAM, J. 2006. Changes in soil properties and the availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization. *Soil Tillage Res.*, 91: 120-130.
- YERIMA, B. P. K., VAN RANST, E., SERTSU, S. y VERDOODT, A. 2013. Pedogenic impacts on the distribution of total and available Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb and Co contents of vertisols and vertic inceptisols of the Bale Mountain area of Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 8 (44): 5429-5439. DOI: 10.5897/AJAR09.188 ISSN 1991-637X.

---

**Recibido el 8 de febrero de 2018 y Aceptado el 27 de febrero de 2019**