

Nota Técnica

CORRELACION ENTRE METODOS DE ANALISIS DE Zn DISPONIBLE EN CUATRO ORDENES DE SUELOS DE COSTA RICA¹

Eloy Molina²/, Elemer Bornemisza**

Palabras clave: Métodos de análisis, Zn, suelos, Costa Rica.

RESUMEN

Se realizó una comparación entre métodos de análisis del Zn disponible en 4 órdenes de suelos de Costa Rica (Ultisoles, Vertisoles, Andisoles e Inceptisoles, 25 de c/u), utilizando las siguientes soluciones extractoras: Olsen Modificado, Mehlich 3, Morgan Modificado, DTPA y HCl. Las cantidades de Zn extraídas dependieron de la naturaleza química de la solución extractora. El HCl presentó los contenidos más altos de Zn en los suelos, excepto en Vertisoles. Las soluciones que contienen el agente quelante EDTA (Olsen Modificado y Mehlich³), extrajeron niveles intermedios de Zn, en tanto que los métodos que contienen el quelato DTPA (Morgan Modificado y DTPA), obtuvieron los valores más bajos. Las correlaciones de Zn extraíble entre los 5 métodos fueron significativas en la mayoría de los casos, tanto a nivel de orden de suelos como en el conjunto de los 100 suelos analizados. Los coeficientes de correlación más altos, se presentaron entre Mehlich 3, Morgan Modificado y DTPA. Las correlaciones fueron consistentes en los 4 órdenes, lo que indica que estas soluciones poseen un amplio margen de adaptación a diferentes tipos de suelo, siendo una característica ventajosa para la selección de un método de análisis. El Olsen Modificado fue más eficiente para la extracción de Zn en suelos de pH ligeramente ácido o neutro (Vertisoles e Inceptisoles), que en suelos ácidos (Ultisoles y Andisoles).

ABSTRACT

Evaluation of methods for available Zn in four soil orders in Costa Rica. Analytical methods for available Zn determination were evaluated on four soil orders in Costa Rica (Ultisols, Vertisols, Inceptisols and Andisols) with 25 samples for each, using the following extraction solutions: Modified Olsen, Mehlich 3, Modified Morgan, DTPA and HCl. The Zn levels obtained depended on the chemical characteristics of the extracting solutions. The highest levels were obtained with HCl, except for the Vertisols. The solutions with EDTA (Modified Olsen and Mehlich 3) extracted intermediate levels of Zn, while the method using DTPA (Modified Morgan and DTPA) gave the lowest Zn values. In most of the cases, significant values of correlation were obtained between the 5 extraction methods; so for individual soil orders, or comparing all 100 soils. The highest correlation coefficients for extractable Zn were found for the Mehlich 3, Modified Morgan and DTPA. The correlations were consistent for the 4 orders, which indicate that they are adaptable to different soils, a useful characteristic for these methods. The modified Olsen was the most efficient extractor in slightly acid soils (Vertisols and Inceptisols). The HCl extracted very high Zn levels, which are probably not related to plant available forms. It

1/ Recibido para publicación el 25 de setiembre del 2000.
2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: eamolina@cariari.ucr.ac.cr

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

El HCl extrajo cantidades muy altas de Zn que aparentemente están relacionadas con formas no disponibles para las plantas. Se concluye que las soluciones Mehlich 3, Morgan Modificado y DTPA son semejantes en la forma de extraer Zn disponible, y podrían ser una alternativa para sustituir el método tradicional de Olsen Modificado utilizado en Costa Rica. Sin embargo, la eficiencia de ellas no puede ser establecida sino a través de los estudios de correlación contra rendimiento en invernadero y campo.

INTRODUCCION

El propósito del análisis de suelos es determinar su estado de fertilidad e identificar los elementos nutritivos que podrían limitar el rendimiento de las plantas, ya sea por encontrarse en exceso o en deficiencia (Evans 1987). Para el establecimiento de un método de análisis es necesario desarrollar un programa de correlación y calibración de análisis de suelos, el cual requiere de 3 fases principales: laboratorio, evaluación en invernadero y calibración en el campo (Fitts y Nelson 1956, Sánchez 1981, Whitney et al. 1985). La primera etapa consiste en seleccionar una solución extractante que disuelva una parte proporcional de las formas disponibles de nutrientes en diferentes suelos (Martens y Lindsay 1990). En el siguiente paso se determina si los contenidos de los elementos extraídos con un método de análisis, se relacionan con las cantidades absorbidas por la planta o con su rendimiento en invernadero, estableciéndose los niveles críticos tentativos. En la última etapa se realiza la calibración del método de análisis en el campo con un cultivo específico (Sánchez 1981, Dahnke y Olson 1990).

El análisis de suelos para micronutrientos catiónicos es particularmente difícil, debido a que las cantidades requeridas de estos elementos por las plantas son pequeñas, y el ámbito entre el nivel de toxicidad y suficiencia en el suelo es bastante reducido (Viets y Lindsay 1973). La más ligera contaminación de la muestra, o el más

leve error analítico durante el proceso de análisis, podría alterar significativamente los resultados (Cox y Kamprath 1972). Por otra parte, la compleja dinámica de los micronutrientos en los suelos y su alto grado de inmovilidad, han dificultado la selección de un método de análisis efectivo bajo diversas condiciones de clima y suelos (Martens y Lindsay 1990).

La información sobre estudios de correlación y calibración de métodos de análisis es muy escasa en zonas tropicales, especialmente en lo que se refiere a micronutrientos (León et al. 1985).

El Zn es uno de los elementos menores más importantes en la nutrición de plantas de Costa Rica (Bornemisza 1984), y su deficiencia ha sido diagnosticada en buena parte de los suelos y zonas agrícolas del país (Bertsch 1986). Se han sugerido una gran cantidad de métodos de análisis de Zn disponible, los cuales pueden dividirse en 3 categorías principales según el agente extractor: sales neutras, ácidos inorgánicos y agentes quelatantes (Martens y Lindsay 1990).

Las sales neutras extraen Zn intercambiable y en la solución del suelo. El catión que integra la sal puede desplazar al Zn de los sitios de intercambio en las arcillas y disolver parte del elemento que se encuentra acompañado con la materia orgánica (Viets y Lindsay 1973, Martens y Lindsay 1990). Algunas de las sales más utilizadas son: $MgCl_2$ 2 N (Steward y Berger 1965), NH_4OAc 0.5 N pH 4.8 (Viets y Lindsay 1973), NH_4NO_3 y KCl (Cox y Kamprath 1972).

is concluded that the Mehlich 3, Modified Morgan and DTPA solutions are probably adequate for available Zn determination and might present an alternative to substitute the generally used Modified Olsen solution in Costa Rica.

El HCl 0.1 N es el extractante ácido de mayor uso para Zn. Este agente disuelve Zn acompañado con la materia orgánica, Zn intercambiable en las superficies de óxidos hidratados y silicatos laminares, y una pequeña fracción de Zn ocluido y precipitado (Martens y Lindsay 1990). Este método es más apropiado para suelos ácidos y se ha establecido un nivel crítico de 2 mg Zn/L (Wear y Evans 1968).

Los agentes quelatantes son muy eficientes para la extracción de micronutrientes catiónicos, entre los más usados se encuentran el EDTA y DTPA (Lindsay y Cox 1985). La acción del DTPA consiste en acomplejar los elementos menores libres en la solución del suelo (Factor intensidad), disminuyendo su actividad iónica en solución, lo que origina su reemplazo a partir de la fase sólida disponible (Factor capacidad) (Lindsay y Norvell 1978). La cantidad de micronutrientes extraídos por el quelato está relacionada con la actividad de los cationes en solución y con la capacidad del suelo para reemplazar esos iones. De esta forma, el agente quelatante tiende a simular la remoción de nutrientes por las raíces y la restitución de éstos por el suelo que los rodea (Viets y Lindsay 1973). Los quelatos son utilizados en forma individual (EDTA 0.05 M y DTPA 0.005 M), o incorporados en otros extractantes para el análisis de un mayor número de nutrientes, tales como el EDTA en Olsen Modificado (Díaz-Romeu y Hunter 1978) y Mehlich 3 (Mehlich, 1984), y el DTPA en Morgan Modificado (Jones y Wolf 1984).

El Olsen Modificado se ha utilizado en Costa Rica para el análisis de Zn disponible, y se ha sugerido un nivel crítico de 3 mg/L (Díaz-Romeu y Hunter 1978). Sin embargo, no se cuenta con estudios de correlación y calibración que respalden esta información, ni se ha realizado una evaluación de la eficiencia del método para diagnosticar problemas de Zn. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo, como una primera etapa dentro de este proceso de calibración y correlación, fue comparar entre sí el comportamiento de 5 métodos de extracción de Zn disponible, para establecer las relaciones existentes entre ellos, en 4 órdenes de suelos de Costa Rica. Los estudios de correlación contra rendimiento de una planta indicadora serán presentados en un artículo posterior.

MATERIALES Y METODOS

Suelos de 4 órdenes de importancia agrícola en Costa Rica (Ultisoles, Vertisoles, Inceptisoles y Andisoles, 25 de c/u) fueron muestreados a una profundidad de 0-20 cm. La ubicación aproximada de los suelos fue presentada previamente por Henríquez et al. (1991) y se resume a continuación:

Ultisoles: Perez Zeledón (San José), Buenos Aires y Osa (Puntarenas), Talamanca y Siquirres (Limón), Sarapiquí (Heredia) y San Carlos (Alajuela).

Vertisoles: Cañas, Santa Cruz, Bagaces, Carrillo y Nicoya (Guanacaste), Santa Ana (San José) y la Guácima (Alajuela).

Inceptisoles: Nicoya, Santa Cruz, Liberia y Carrillo (Guanacaste), Pococí, Talamanca y Guácimo (Limón), Sarapiquí (Heredia), San Carlos y los Chiles (Alajuela), y Golfito (Puntarenas).

Andisoles: Cordilleras Volcánicas de Talamanca, Central y Guanacaste, Guácimo (Limón) y San Vito (Puntarenas).

Los suelos fueron secados al aire y luego molidos y tamizados a través de una criba de 2 mm. Se utilizaron 5 métodos de extracción de Zn que se describen a continuación:

Olsen Modificado (OM): Muestras de 2.5 ml de suelo fueron agitadas con 25 ml de Olsen Modificado (NaHCO_3 0.5 M, EDTA 0.01 M y Superfloc 127) durante 10 min y luego se filtraron con papel Whatman N°42 (Díaz-Romeu y Hunter 1978).

Mehlich 3 (M3): Muestras de 2.5 ml de suelo fueron agitadas con 25 ml de Mehlich 3 (HOAc 0.2 N, NH_4NO_3 0.25 N, NH_4F 0.015 N, HNO_3 0.013 N, EDTA 0.001 M, pH 2.5) durante 10 min y luego filtradas con papel Whatman N°42 (Mehlich 1984).

Morgan Modificado (MM): Se midió 15 ml de suelo y se agregó 30 ml de Morgan Modificado (NaOAc 1 N, HOAc , DTPA 0.00013 M, pH 4.8), agitando por 5 min y luego filtrando con papel Whatman N°41 (Jones y Wolf 1984).

DTPA: Se midió 10 ml de suelo y se agregó 20 ml de DTPA (Acido Dietilentriaminopentacético 0.005 M, CaCl_2 0.01 M, Trietalonamina 0.01 M, pH 7.3). Se agitó durante 20 min y

luego se filtró con papel Whatman N°42 (Gaines y Mitchell 1979).

HCl: Muestras de 5 ml de suelo fueron agitadas con 20 ml de HCl 0.1 N durante 30 min filtrando luego con papel Whatman N°42 (Wear y Evans 1968).

El equipo semiautomático de Custom Laboratories (Hunter 1975) fue utilizado para las extracciones, determinándose la concentración de Zn con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer 2280.

RESULTADOS Y DISCUSION

Ultisoles

El Zn extraíble con los diferentes métodos varió entre 0.06 y 29.1 mg/L (Cuadro 1). Las so-

luciones MM y DTPA extrajeron las cantidades más bajas de Zn y sus valores fueron similares, probablemente porque ambos métodos poseen el mismo agente quelatante (DTPA). El HCl presentó los valores más altos. En Ultisoles, el HCl puede extraer cantidades excesivas de Zn a partir de formas ocluidas no disponibles para las plantas, mediante la disolución parcial de óxidos de Fe y Al (Trierweiler y Lindsay 1969), lo cual puede causar una sobreestimación de la cantidad de Zn disponible, tal como lo indican los resultados encontrados.

Todas las correlaciones entre los métodos de Zn extraíble fueron significativas (Cuadro 2). Los coeficientes más altos se presentaron entre M3, MM y DTPA. La mejor correlación se obtuvo entre MM y DTPA ($r=0.986^{**}$), lo que se atribuye a la presencia del mismo agente acomplejante en ambos extractantes, tal como se mencio-

Cuadro 1. Contenido de Zn extraíble con 5 soluciones extractoras en 4 órdenes de suelos de Costa Rica.

	Olsen	Mehlich 3	Morgan (mg/L)	DTPA	HCl
Ultisoles					
Ambito	0.65-11.1	0.73-28.2	0.06-19.4	0.07-3.82	1.83-29.1
Promedio	4.23	3.99	1.81	1.08	8.12
D.E.	2.57	5.48	3.9	0.86	6.82
Vertisoles					
Ambito	1.23-24.0	1.10-23.2	0.17-6.05	0.50-20.7	0.14-10.3
Promedio	6.07	5.47	1.43	2.92	3.64
D.E.	5.39	4.48	1.49	4.14	2.41
Inceptisoles					
Ambito	0.70-14.8	0.97-25.0	0.25-5.82	0.37-16.9	1.17-37.6
Promedio	4.00	5.80	1.57	2.84	8.32
D.E.	4.00	6.00	1.40	3.68	9.08
Andisoles					
Ambito	1.2-22.0	0.50-58.7	0.04-11.5	0.11-34.6	0.64-63.1
Promedio	8.43	10.16	2.32	5.79	12.84
D.E.	6.50	14.36	2.89	8.61	16.52

D.E.= Desviación estándar

Cuadro 2. Coeficiente de correlación (r) para valores de Zn extraíble con 5 soluciones extractoras en 4 órdenes de suelos de Costa Rica.

	Olsen	Mehlich 3 (M3)	Morgan (MM)	DTPA
Ultisoles				
M3	0.676**			
MM	0.570**	0.976**		
DTPA	0.523**	0.964**	0.986**	
HCl	0.846**	0.667**	0.593**	0.503*
Vertisoles				
M3	0.924**			
MM	0.805**	0.784**		
DTPA	0.908**	0.951**	0.845**	
HCl	0.134	0.015	0.340	- 0.027
Inceptisoles				
M3	0.838**			
MM	0.940**	0.943**		
DTPA	0.985**	0.956**	0.940**	
HCl	0.872**	0.925**	0.905**	0.918**
Andisoles				
M3	0.654**			
MM	0.696**	0.981**		
DTPA	0.680**	0.992**	0.968**	
HCl	0.557**	0.963**	0.945**	0.962**

* = Significativo al 5%, $r > 0.396$.** = Significativo al 1%, $r > 0.505$.

DTPA = DTPA 0.005 M; HCl = HCl 0.1 N.

nó anteriormente. Rohman y Cox (1988) encontraron una buena correlación entre Zn-OM y Zn-M3 ($r=0.80^{**}$) en suelos ácidos de Carolina del Norte, la mayoría de ellos Ultisoles. El HCl mostró las correlaciones más bajas, indicando la desventaja del método con relación a las soluciones que contienen quelatos. Resultados similares han sido informados por otros autores (Trierweiler y Lindsay 1969, Lindsay y Norvell 1978, Viets y Lindsay 1973), aunque en esos estudios no se dividieron los suelos en clases taxonómicas.

Vertisoles

El nivel de Zn osciló entre 0.17 y 24.0 mg/L (Cuadro 1). Las soluciones OM y M3 extrajeron

casi las mismas cantidades de Zn y hubo una alta correlación entre ellas (Cuadro 2), lo que indica que ambas parecen ser efectivas para la determinación de Zn en suelos de pH alto, probablemente porque los 2 agentes poseen EDTA. El OM trabaja bien en Vertisoles, ya que la presencia del ión CO_3^{2-} evita la solubilidad de carbonatos de calcio que son comunes en estos suelos, disminuyendo con ello la liberación de Zn ocluido, el cual no es disponible para las plantas (Martens y Lindsay 1990).

Al igual que en Ultisoles, MM y DTPA presentaron los valores más bajos de Zn extraíble. El DTPA es recomendado principalmente para suelos de pH alto como los Vertisoles (Lindsay y Norvell 1978), en tanto que el MM se adapta mejor a suelos ácidos (Jones y Wolf 1984). Sin embargo, la efectividad del MM para extraer Zn

fue muy similar al DTPA, tal como lo indica la correlación significativa que hubo entre ambos métodos ($r=0.845^{**}$, Cuadro 2), lo que sugiere que el MM podría ser utilizado en Vertisoles para el análisis de Zn.

El HCl no fue eficaz para extraer Zn y las correlaciones con los otros métodos fueron muy bajas y no significativas (Cuadro 2). Este extractante está recomendado para suelos ácidos, y su comportamiento en suelos de pH neutro ha sido irregular (Wear y Evans 1968).

Inceptisoles

Con excepción del HCl, las cantidades de Zn extraídas en Inceptisoles fueron similares a las de los Vertisoles (Cuadro 1). Todas las correlaciones fueron significativas (Cuadro 2), por lo que los 5 métodos parecen ser efectivos para determinar Zn disponible en estos suelos. Sin embargo, el HCl extrajo cantidades muy altas del elemento en comparación con las otras soluciones, probablemente por disolución de formas no disponibles. En Inceptisoles del Pacífico sur de Costa Rica, Flores et al. (1979) también encontraron valores muy altos de Zn extraíble con HCl.

Andisoles

En estos suelos fueron encontrados los contenidos más altos de Zn extraíble, con un ámbito entre 0.04 y 63.1 mg/L (Cuadro 1), lo que podría explicarse por el alto contenido de materia orgánica y el continuo rejuvenecimiento de cenizas volcánicas que se presenta en Andisoles (Bertsch et al. 1984). Los valores más altos de Zn se obtuvieron con HCl, coincidiendo con los resultados encontrados por Peralta y Bornemisza (1981) en Andisoles del Valle Central de Costa Rica. Esta solución puede disolver Zn acompañado con la materia orgánica, causando una sobreestimación del contenido de Zn disponible para las plantas (Martens y Lindsay 1990). Las soluciones OM y M3 extrajeron en promedio más Zn que en los otros órdenes, debido a la disolución parcial de Zn acompañado a la materia orgánica.

Se ha demostrado que el EDTA que forma parte de estas soluciones, puede evitar la re-adsorción de Zn por la materia orgánica durante el proceso de filtrado de la muestra (Mehlich 1984).

Las correlaciones entre métodos fueron altamente significativas (Cuadro 2), lo que indica que los métodos utilizados parecen ser igualmente efectivos para estimar el nivel de Zn disponible para Andisoles. Las correlaciones más altas se presentaron para M3, MM y DTPA, en tanto que OM mostró coeficientes significativos, pero inferiores a 0.7.

El OM fue más efectivo en suelos con pH ligeramente ácido a neutro (Vertisoles e Inceptisoles). En suelos ácidos (Ultisoles y Andisoles), la correlación entre Zn-OM y los otros extractantes se redujo. El OM fue originalmente diseñado para suelos alcalinos (Rhoman y Cox 1988), debido al pH básico de la solución (8.5). Sin embargo, ha sido utilizado con buen resultado en una gran diversidad de suelos (Lindsay y Cox 1985), especialmente para la determinación de P.

El coeficiente de correlación entre Zn-OM y Zn-HCl ($r=0.557^{**}$) fue similar al encontrado por Peralta y Bornemisza (1981) con estos mismos extractantes en Andisoles del Valle Central de Costa Rica ($r=0.79^{**}$).

General

Las correlaciones entre métodos con los 100 suelos (sin dividirlos en órdenes) fueron también significativas (Cuadro 3). Los coeficientes más altos se presentaron entre M3 y los otros extractantes, destacándose la correlación entre M3 y DTPA (Figura 1), resultado similar al encontrado cuando se separaron los suelos en órdenes. Los métodos de M3, DTPA y MM tuvieron un comportamiento consistente en suelos con amplias diferencias en sus características químicas, lo cual es un aspecto deseable en la selección de una solución extractora. Otros investigadores han informado de una alta correlación entre Zn extraíble con M3 y DTPA, en suelos con diferente taxonomía (Lindsay y Cox 1985, Martens y Lindsay 1990), lo que coincide plenamente con los resultados de este trabajo.

Cuadro 3. Ecuaciones de correlación para valores de Zn extraíble con 5 soluciones extractoras en 4 órdenes de suelos de Costa Rica.

Extractantes	Ecuación de correlación	r
HCl vs OM	$Y = 1.66 + 1.68 X$	0.533**
HCl vs M3	$Y = 1.62 + 1.04X$	0.868**
HCl vs MM	$Y = 3.32 + 2.754X$	0.689**
HCl vs DTPA	$Y = 3.55 + 1.397$	0.793**
DTPA vs OM	$Y = -1.6 + 0.879X$	0.710**
DTPA vs M3	$Y = -0.83 + 0.657X$	0.966**
DTPA vs MM	$Y = -0.21 + 1.996X$	0.880**
MM vs OM	$Y = -0.030 + 0.323X$	0.591**
MM vs M3	$Y = 0.22 + 0.246X$	0.820**
M3 vs OM	$Y = -1.91 + 1.41pX$	0.822**

* = Significativo al 5 %, $r > 0.205$.

** = Significativo al 1 %, $r > 0.267$.

OM = Olsen Modificado; M3 = Mehlich 3; MM = Morgan Modificado; DTPA = DTPA 0.005 M; HCl = HCl 0.1 N.

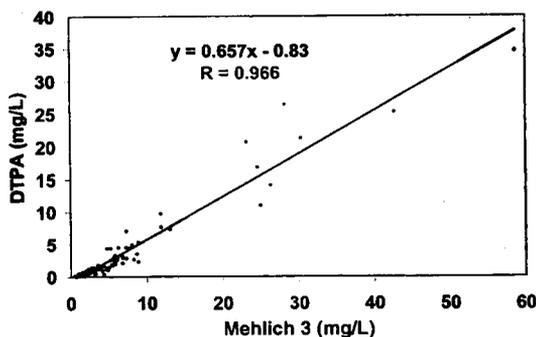


Fig. 1. Correlación para valores de Zn extraíble con DTPA y Mehlich 3 en 4 órdenes de suelos de Costa Rica.

Todas las correlaciones de OM fueron significativas, aunque sus valores fueron más bajos que M3, MM y DTPA, probablemente debido a su menor efectividad en suelos ácidos (Ultisoles y Andisoles), lo cual constituye una ligera desventaja para su uso en forma universal. La mejor correlación del OM fue con Mehlich 3 (Figura 2), quizás por el hecho mencionado anteriormente de contener ambos extractantes el mismo agente quelatante. El HCl correlacionó mejor con los otros métodos que con OM, aunque tiende a extraer cantidades muy altas de Zn y no parece ser eficaz en Vertisoles.

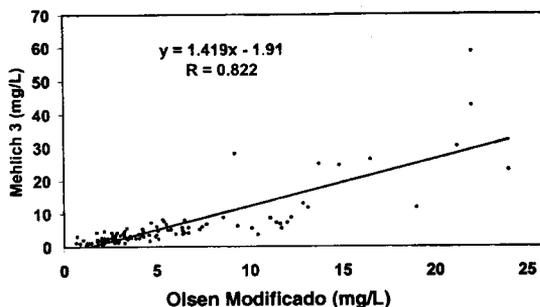


Fig. 2. Correlación para valores de Zn extraíble con Mehlich 3 y Olsen Modificado en 4 órdenes de suelos de Costa Rica.

Los resultados indican que las soluciones M3, MM y DTPA son promisorias para el análisis de Zn disponible debido a que presentaron muy buenas correlaciones con el Zn extraído con el método de OM, del cual existen datos publicados de calibración con rendimiento de plantas, lo que permite hacer comparaciones válidas con otros métodos de extracción.

LITERATURA CITADA

- BERTSCH F., CORDERO A., ALVARADO A. 1984. Fertilidad de Typic Dystrandepts en Costa Rica. I. Metodología, acidez y cationes (Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn y Cu). Turrialba 31:187-197.
- BERTSCH, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Universidad de Costa Rica. 86 p.
- BORNEMISZA E., PERALTA F. 1982. Zinc in Andosols of Costa Rica. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings 40:33-35.
- BORNEMISZA E. 1984. Elementos menores en suelos de Costa Rica. In: Congreso Agronómico Nacional, 6, Vol. 2, San José, Costa Rica. p. 109-120.
- COX FR., KAMPRATH E.J. 1972. Micronutrient soil test. In: Micronutrients in agriculture. Ed. by J.J. Morved, P.M. Giordana and W.L. Lindsay. Madison, Wisconsin, SSSA. p. 45-72.
- DAHNIKE W.C., OLSON R.A. 1990. Soil test correlation, calibration and recommendation. In: Soil testing and plant analysis. Ed. by R.L. Westerman, Madison, Wisconsin, SSSA. p. 47-72.

- DIAZ-ROMEU R., HUNTER A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
- EVANS C.E. 1987. Soil test calibration. *In* Soil testing: sampling, correlation, calibration and interpretation. Ed. by J.R. Brown, Madison, Wisconsin, SSSA. p. 19-23.
- FITTS J.W., NELSON W.L. 1956. The determination of lime and fertilization requirements of soils through chemical test. *Advances in Agronomy* 8:242-282.
- FLORES R.A., BORNEMISZA E., ALVARADO A. 1979. Influencia de propiedades de suelos del Pacífico Sur de Costa Rica sobre su contenido de cationes menores. II. Cobre y Zinc extraíbles. *Turrialba* 29:105-110.
- GAINES T.P., MITCHEL J.A. 1979. Chemical methods for soil and plant analysis. Tifton, University of Georgia. (Agronomy Handbook N°1). 105 p.
- HENRIQUEZ C., CABALCETA G., MOLINA E., GADEA A. 1991. Correlación y calibración de soluciones extractoras en 4 grupos de suelos de Costa Rica (Andisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Ultisoles). *In*: Manejo de suelos tropicales en Latinoamérica. Ed. by T.J. Smyth, Raun, W. y F. Bertsch, II Taller Latinoamericano de manejo de suelos tropicales. San José, Costa Rica. p. 242-246.
- HUNTER A.H. 1975. New techniques and equipment for routine plant analytical procedure. *In*: Soil management in Tropical America. Ed. by E. Bornemisza y A. Alvarado, North Carolina State University, Raleigh. p. 467-483.
- JONES J.B., WOLF B. 1984. Manual of soil testing procedure using modified (Wolf) Morgan extracting reagent. Athens, Georgia. Benton Laboratories. 61 p.
- LEON L.A., LOPEZ A.S., VLEK P.L.G. 1985. Micronutrient problems in tropical Latin America. *In*: Micronutrients in tropical food crop production. Developments in plant and soil science. Vol. 14. Ed. by P.L.G. Vlek, Netherlands, Martinus Nijhoff. p. 95-129.
- LINDSAY W.L., COX F.R. 1985. Micronutrients soil test for the tropics. *Fertilizer Research* 7:169-200.
- LINDSAY W.L., NORVELL, W.A. 1978. Development of DTPA: soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal*. 42:421-428.
- MARTENS D.C., LINDSAY W.L. 1990. Testing soils for copper, iron, manganese and zinc. *In*: Soil testing and plant analysis. Ed. by R.L. Westerman, Madison, Wisconsin, SSSA. p. 229-264.
- MEHLICH A. 1984. Mehlich 3 soil extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in soil science and plant analysis* 15:1409-1416.
- PERALTA F., BORNEMISZA, E. 1981. Comparación de cinco métodos para determinar zinc en ocho Andepts del Valle Central. *Agronomía Costarricense* 5(1-2):97-102.
- RHOMAN P.C., COX F.R. 1988. Evaluation of modified Olsen extracting reagent for copper, zinc and manganese. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 19:1859-1870.
- SANCHEZ P. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. San José, Costa Rica, IICA. 634 p.
- STEWART J.A., BERGER K.C. 1965. Estimation of available zinc using magnesium chloride as extractant. *Soil Science* 100:244-250.
- TRIERWEILER J.F., LINDSAY W.L. 1969. EDTA-ammonium carbonate soil test for zinc. *Soil Science Society of America Proceedings* 33:49-53.
- VIETS F.G., LINDSAY W.L. 1973. Testing soils for zinc, copper, manganese and iron. *In*: Soil testing and plant analysis. Ed. by L.M. Walsh y J.D. Beaton, Madison, Wisconsin, SSSA. p. 153-172.
- WEAR J.I., EVANS C.E. 1968. Relationship of zinc uptake by corn and sorghum to soil zinc measured by three extractants. *Soil Science Society of America Proceedings* 32:543-546.
- WHITNEY D.A., COPE J.T., WELCH I.F. 1985. Prescribing soil and crop nutrients needs. *In*: Fertilizer technology and use, Ed. by O.P. Enyelstad, Madison, Wisconsin, SSSA. p. 25-51.