

FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

EFICACIA DE CUATRO EXTRACTANTES EN LA EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE COBRE PARA MAÍZ Y SOJA⁽¹⁾

RAQUEL CARIDAD CANCELA⁽²⁾; ANA ROCA FREIRE⁽²⁾; CLEIDE
APARECIDA DE ABREU^(3,4); ANTONIO PAZ GONZÁLEZ⁽²⁾

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en invernadero con el objetivo de comparar la eficacia de cuatro métodos de extracción: Mehlich-3, Mehlich-1, DTPA y AB-DTPA para evaluar el contenido de Cu disponible para maíz y soja. Se emplearon 61 muestras superficiales de suelo de diversas regiones del Estado de São Paulo para el experimento de maíz y 59 para soja. Se aplicaron nutrientes a las muestras de suelo de tal modo que aquellas que presentaban contenidos de Cu bajos ($<0,2 \text{ mg.dm}^{-3}$) extraídos con DTPA, se separaron en dos tratamientos: completo - que recibió todos los nutrientes e además 1 mg.dm^{-3} de Cu en la forma de sulfato de cobre y completo menos cobre que no recibió Cu, mientras que no se aplicó Cu a las muestras que contenían más de $0,2 \text{ mg.dm}^{-3}$ de Cu. Considerando la totalidad de las muestras, las disoluciones AB-DTPA y Mehlich-3 presentaron mayor capacidad de extracción para el maíz, mientras que para la soja resultó ser el Mehlich-3. Las correlaciones, entre métodos, en las muestras de suelo, fueron muy significativas ($p > 0,01$), resultando siempre superiores para el maíz en comparación con los valores obtenidos para la soja. Además, se evaluó la eficacia de cada una de las disoluciones, considerando el contenido de Cu en la parte aérea de la planta, siendo el Mehlich-3 ligeramente superior en la evaluación de la disponibilidad del Cu disponible, en los tratamientos completo y completo menos cobre, así como para ambos cultivos.

Palabras clave: análisis del suelo, disponibilidad, Mehlich-3, Mehlich-1, DTPA, AB-DTPA.

RESUMO

EFICIÊNCIA DE QUATRO EXTRATORES EM AVALIAR A DISPONIBILIDADE DE COBRE PARA MILHO E SOJA

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação a fim de comparar a eficiência de quatro métodos de extração: Mehlich-3, Mehlich-1, DTPA e ABDTPA em avaliar o conteúdo de Cu disponível para o milho e soja. Utilizaram-se 61 amostras superficiais de solo de diversas regiões do Estado de São Paulo para o experimento de milho e 59 para o de soja. Adicionou-se o Cu somente nas amostras de solo que apresentaram baixos teores desse elemento ($<0,2 \text{ mg.dm}^{-3}$), extraídos com DTPA, em dois tratamentos: completo - que recebeu todos os nutrientes e mais 1 mg.dm^{-3} de Cu na forma de sulfato de cobre, e completo menos Cu - que não recebeu aplicação de Cu; amostras que exibiram altos teores de Cu não foram enriquecidas com esse elemento. Verificou-se em todos os tratamentos que as soluções de AB-DTPA e Mehlich-3 apresentaram maior capacidade de extração para o milho, embora para a soja tenha sido a de Mehlich-3. As correlações entre os teores de Cu no solo, extraídos pelos diferentes métodos, foram muito significativas ($p > 0,01$) e sempre superiores para o milho. Considerando as

⁽¹⁾ Recibido para publicación el 16 de febrero y aceptado el 30 de octubre de 2001.

⁽²⁾ Facultad de Ciencias, Universidad de A Coruña. A Zapateira, 15071. A Coruña. España. E-mail: raket@mail2.udc.es

⁽³⁾ Centro de Solos e Recursos Agroambientais, Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas (SP). E-mail: caabreu@iac.br

⁽⁴⁾ Con beca de productividad en pesquisa del CNPq.

correlações entre Cu, extraído do solo, e a concentração de Cu, na parte aérea das plantas, o Mehlich-3 foi o método mais eficiente em avaliar a disponibilidade desse elemento para as plantas de milho e soja.

Palavras-chave: análise de solo, disponibilidade, Mehlich-3, Mehlich-1, DTPA, ABDTPA.

ABSTRACT

EFFICIENCY OF FOUR EXTRACTANTS TO EVALUATE AVAILABLE Cu FOR MAIZE AND SOYBEAN

This study was conducted in a greenhouse with the purpose of comparing the efficiency of Mehlich-3, Mehlich-1, DTPA and AB-DTPA extractants in assessing Cu availability for maize and soybean. For the experiment with maize, 61 topsoil samples from different representative sites of São Paulo State were utilized, whereas for the soybean experiment 59 topsoil samples were employed. Nutrients were applied to the soil samples as follows: (i) in those with low Cu contents ($<0.2 \text{ mg.dm}^{-3}$ Cu as extracted by DTPA) two treatments were considered: complete, with all nutrients and Cu-enriched, using CuSO_4 , and no Cu-enrichment; and (ii) samples exhibiting Cu contents higher than 0.2 mg.dm^{-3} were not enriched with Cu. Considering all the samples, the AB-DTPA and Mehlich-3 methods showed more Cu extractability under maize, whereas under soybean the Cu extractability was higher for Mehlich-3. Very significant correlations between different methods were found, though correlation coefficients for all pairs of extractants were higher under maize. Taking into account both, Cu-enriched and no Cu-enriched treatments, the Mehlich-3 method was found to be more appropriate to explain the copper concentrations in the aerial part of maize and soybean.

Key words: soil analysis, availability, Mehlich-3, Mehlich-1, DTPA, AB-DTPA.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando el objetivo del análisis del suelo es caracterizar el nivel de fertilidad, se procura determinar aquella porción de un elemento nutritivo, que siendo más o menos lábil pueda ser considerada disponible. Esto también es válido para los micronutrientes. Varios han sido los métodos desarrollados para predecir los niveles de cobre en las plantas a partir de su concentración en los suelos, a pesar de que no se ha encontrado todavía una disolución que pueda evaluar satisfactoriamente la disponibilidad de este elemento. El cobre disponible para las plantas varía de $0,1$ a 10 mg kg^{-1} , teniendo en cuenta el tipo de extractante y las técnicas de extracción empleadas (BAKER, 1974). Los métodos más comunes usados para el análisis de Cu, incluyen: a) disoluciones ácidas que disuelven la fase sólida que retienen a los metales, tales como la disolución Mehlich-1 (MEHLICH, 1953), que ha sido empleada en muchos Estados brasileños para la extracción de micronutrientes, entre ellos el Cu (ABREU et al., 1998), b) el CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (HOUBA et al., 1994), utilizado en Holanda y otros países de Europa y c) el DTPA pH 7,3 (LINDSAY y NORVELL, 1978) para el que se considera que la cantidad de metal quelatado que se acumula en la disolución durante la extracción, es una función tanto de la actividad del ion metálico en el suelo, como de la disponibilidad del suelo de reponer aquellos iones. Se emplean también disoluciones mixtas como Mehlich-3 (MEHLICH, 1984), método inicialmente desarrollado para evaluar niveles de macro y micronutrientes en suelos del sureste

de EEUU, y AB-DTPA (SOLTANPOUR et al., 1977), que presentan en su composición dos o más reactivos, bien sean ácidos, salinos o complejantes.

Sin embargo, es importante considerar que los resultados obtenidos para cada extractante varían considerablemente, dependiendo del método empleado y del cultivo utilizado en cada estudio. GALRÃO y SOUSA (1985) en un estudio con trigo obtuvieron correlaciones entre Cu-suelo y Cu-planta de $0,70$ ($\text{HCl } 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$), $0,47$ (Mehlich-1), $0,56$ (Mehlich-3) y $0,62$ (DTPA). CRUZ y FERREIRA (1990) para maíz obtuvieron correlaciones de $0,72$ ($\text{HCl } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$) y $0,76$ (DTPA pH 7,3), mientras que para trigo ABREU et al. (1996a) encontraron correlaciones de $0,60$ (Mehlich-1), $0,88$ (DTPA pH 7,3) y $0,89$ (Mehlich-3). La complejidad de la química del suelo y de la relación suelo-planta es la principal razón para la existencia de un gran número de métodos usados en el análisis del suelo.

Investigaciones llevadas a cabo en suelos del Estado de São Paulo pusieron de manifiesto que la disolución DTPA a pH 7,3 es una de las mejores opciones para la evaluación de la disponibilidad de micronutrientes (ABREU et al., 1996a,b; ABREU y RAIJ, 1996), ya que es una disolución capaz de discriminar el efecto del pH, al evaluar los micronutrientes del suelo. Por otra parte, el Mehlich-3, ampliamente utilizado para la extracción de micronutrientes en suelos de Estados Unidos (SIMS, 1989; BENTON-JONES, 1998), también puede llegar a ser una buena alternativa para los suelos de Brasil.

En la actualidad, existe una tendencia mundial a emplear disoluciones extractoras de múltiples nutrientes, es decir, disoluciones capaces de solubilizar diversos elementos simultáneamente, que utilizadas conjuntamente con técnicas de determinación multielementales por espectrometría de emisión atómica, son preferidas por los laboratorios de análisis de rutina, incluso para análisis de micronutrientes.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficacia de cuatro disoluciones, Mehlich-1, Mehlich-3, DTPA y AB-DTPA, para la determinación del cobre disponible para maíz y soja en suelos del Estado de São Paulo, Brasil.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo dos experimentos, en invernadero, cultivándose maíz y soja. Se utilizaron 61 muestras de horizontes superficiales de suelos de diversas regiones del Estado de São Paulo para el maíz y posteriormente 59 para la soja. Las propiedades físicas y químicas de las muestras de suelo empleadas en este estudio para ambos cultivos presentaron una gran variabilidad. Dichos suelos pertenecen a las clases Oxisol, Ultisol, Alfisol, Inceptisol y Entisol, según el sistema de Clasificación Americano (USDA, 1975).

Las muestras se secaron al aire y se tamizaron pasándolas por un tamiz de luz de malla de 3 mm. Cuando fue necesario, las muestras se incubaron en maceta con correctores de acidez $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y MgCO_3 puro para análisis, en la proporción de 4:1 moles de Ca:Mg, para elevar la saturación del complejo de cambio a 70%. Durante los 16 días de incubación, la humedad del suelo se mantuvo a 60% de la capacidad de campo, mediante pesadas diarias de las macetas que las contenían y adición de agua por riego.

Tras el periodo de incubación, se mezcló fósforo al suelo, en forma de superfosfato triple, de acuerdo con el contenido de ese nutriente, extraído por la resina. Las dosis utilizadas fueron 358, 179 y 89,5, en $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de P, para suelos con contenidos bajos, medios y altos respectivamente. Además de fósforo, se añadió el equivalente a 100 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de K (nitrato de potasio + sulfato de potasio), 46 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de N (nitrato de potasio y sulfato de amonio) y 20 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de S (sulfato de potasio). En cuanto a los micronutrientes, solamente se añadieron a aquellas muestras de suelo que presentaban contenidos bajos, extraídos por DTPA, conforme RAJ et al. (1997). Las dosis utilizadas, en $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, fueron: 0,5 de B (ácido bórico), 2,0 de Zn (sulfato de zinc) y 15 de Mn (cloruro de manganeso). Todos los micronutrientes se aplicaron a las muestras en forma de disolución.

Las muestras de suelo cuyos contenidos en Cu eran bajos, menores que $0,2\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ extraídos por DTPA, se sometieron a dos tratamientos: completo - que recibió $1\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de Cu en la forma de sulfato de cobre y completo menos cobre - que no recibió cobre. Por contra, no se añadió Cu a aquellas muestras de suelo que presentaban contenidos altos de dicho elemento.

Tras la aplicación de los nutrientes, todos los tratamientos se incubaron durante 15 días. Pasado este período se retiró, de cada maceta, una muestra de suelo que se secó al aire y se analizó el contenido de cobre utilizando los siguientes métodos:

a) Disolución de DTPA ($\text{DTPA } 0,005\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ + TEA $0,1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ + CaCl_2 $0,01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ a pH 7,3) según LINDSAY y NORVELL (1978). Diez cm^3 de suelo + 20 mL de la disolución extractora, y agitación durante 2 horas.

b) Disolución de Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) de acuerdo a MEHLICH (1953). Cinco cm^3 de suelo + 25 mL de la disolución extractora, y agitación durante 30 minutos.

c) Disolución de Mehlich-3 (CH_2COOH $0,2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ + NH_4NO_3 $0,25\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ + NH_4F $0,015\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ + HNO_3 $0,015\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ + EDTA $0,001\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ a pH 2,5) descrita por MEHLICH (1984). Cinco cm^3 de suelo + 20 mL de la disolución extractora y agitación durante 5 minutos.

d) AB-DTPA (SOLTANPOUR et al., 1977). Diez cm^3 de suelo se mezclan con 20 mL de la disolución extractora (NH_4HCO_3 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ + DTPA $0,005\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ a pH 7,6), agitándose durante 15 minutos.

Para la determinación del cobre se utilizó un espectrómetro de emisión atómica por plasma (ICP-AES), simultáneo, JY 50-P, con 40,68 MHz y acoplado a un muestreador aleatorio.

A continuación, se procedió al sembrado del maíz, empleándose 10 semillas por vaso de 2 dm^3 y dejando después del corte tres plantas en cada recipiente. El diseño experimental fue enteramente al azar, con 2 repeticiones. La fertilización con nitrógeno se parceló en tres, usándose nitrato de amonio en la primera y nitrato de calcio en las restantes. Se empleó la dosis de $25\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de N en cada aplicación. Se procuró durante todo el experimento mantener la humedad del suelo a 70% de la capacidad de campo, con el dispositivo ya descrito anteriormente.

Tras pasar 53 días desde la siembra, se realizó un corte de la parte aérea a 1 cm de la superficie, la cual después de lavada y secada en estufa con circulación forzada de aire a $70\text{ }^\circ\text{C}$, hasta conseguir peso constante, fue pesada, molida y sometida a digestión por vía seca (BATAGLIA et al., 1983). Posteriormente, de cada maceta se retiraron las raíces de las plantas de maíz.

Una vez finalizada esta experiencia se utilizaron 59 macetas para realizar el cultivo de soja, durante 53 días, eliminándose del experimento anterior dos macetas por problemas, considerándose éstas, parcelas perdidas. La fertilización, siembra y recolección de la soja se efectuó siguiendo el mismo procedimiento que para maíz.

Se llevó a cabo un análisis estadístico de los datos para inferir parámetros descriptivos como media, mediana, máximo y mínimo. Los cálculos de correlación lineal simple entre los contenidos de cobre extraídos del suelo por diferentes métodos y su concentración en la parte aérea de las plantas se realizaron adaptando los niveles de significación de 5% y 1% (LAMOTE, 1981).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1, en los suelos estudiados para maíz, muestra que los extractantes AB-DTPA y Mehlich-3 tuvieron un comportamiento muy similar al evaluar la disponibilidad de Cu, extrayendo por término medio 2,6 y 2,4 mg.dm⁻³ respectivamente. La capacidad de extracción de ambas disoluciones está de acuerdo con los fundamentos de extracción propuestos para los mismos, ya que combinan el poder de un agente complejante, que extrae preferentemente el Cu adsorbido en la materia orgánica y minerales, y por meca-

nismos de disolución, en caso de los ácidos, como por ejemplo el Mehlich-3, capaces de disolver en parte las estructuras que contienen a los metales, y bicarbonato amónico que extrae el Cu ligado a los componentes minerales del suelo, en el caso del AB-DTPA. De acuerdo con los resultados (Tabla 1), el orden de extractabilidad de los suelos cultivados con maíz sería el siguiente: AB-DTPA \cong Mehlich-3 > Mehlich-1 > DTPA, de modo que las disoluciones ácidas (Mehlich-3 y Mehlich-1) presentan una mayor capacidad de extracción respecto al DTPA. Ello puede explicarse porque la acidez elevada que presentan estas disoluciones sería la responsable de la solubilización de las formas de Cu en el suelo que el DTPA, por presentar reacción alcalina (pH 7,3), no solubiliza.

Para la soja (Tabla 1), y considerando la diversidad de las disoluciones empleadas, el Mehlich-3 resultó ser aquella con mayor capacidad de extracción, con una concentración media de 2,6 mg.dm⁻³, seguido del AB-DTPA (1,8 mg.dm⁻³), DTPA (1,8 mg.dm⁻³) y Mehlich-1 (1,5 mg.dm⁻³).

Estos resultados, obtenidos para ambos cultivos, concuerdan con los obtenidos por ABREU et al. (1997) quienes, trabajando con trigo y alubias, obtuvieron concentraciones más elevadas de Cu extraído por la disolución ácida de Mehlich-3, en comparación con otros extractantes como Mehlich-1 y TEA-DTPA.

Tabla 1. Estadística descriptiva para los contenidos de Cu extraídos por los diferentes métodos. Suelos con contenidos altos, medios y bajos en Cu

Contenido de Cu	Maíz				Soja			
	DTPA	M-3	M-1	ABDTPA	DTPA	M-3	M-1	ABDTPA
	mg.dm ⁻³							
Mínimo	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
Máximo	15,6	19,5	18,0	24,1	14,2	21,9	14,4	10,7
Media	1,5	2,4	1,9	2,6	1,8	2,6	1,5	1,8
Mediana	0,5	1,0	0,8	0,8	0,6	1,2	0,7	0,8
n	61	61	61	61	59	59	59	59

Tabla 2. Estadística descriptiva para los contenidos de Cu extraídos por los diferentes métodos. Suelos originalmente deficientes en Cu

Contenido de Cu	Maíz				Soja			
	DTPA	M-3	M-1	ABDTPA	DTPA	M-3	M-1	ABDTPA
	mg.dm ⁻³							
Mínimo	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
Máximo	0,7	1,3	1,2	5,9	0,9	2,5	1,0	6,2
Media	0,4	0,7	0,6	0,8	0,5	1,0	0,5	1,1
Mediana	0,3	0,6	0,5	0,5	0,5	0,8	0,5	0,6
n	34	34	34	34	32	32	32	32

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre el contenido de Cu en las muestras de suelo orginales usando diferentes extractantes

Extractantes	Maíz				Soja			
	M-3	M-1	DTPA	ABDTPA	M-3	M-1	DTPA	ABDTPA
M-3	1	-	-	-	1	-	-	-
M-1	0,96**	1	-	-	0,88**	1	-	-
DTPA	0,98**	0,94**	1	-	0,94**	0,84**	1	-
ABDTPA	0,96**	0,92**	0,98**	1	0,41**	0,30**	0,40**	1

** : $p < 0,01$.

En la tabla 2 se presentan los resultados para maíz y soja teniendo en cuenta sólo los suelos con contenidos iniciales deficientes. Para el maíz, el orden de extractabilidad fue: AB-DTPA \cong Mehlich-3 > Mehlich-1 > DTPA, mientras que para la soja resultó: AB-DTPA \cong Mehlich-3 > Mehlich-1 \cong DTPA. Al comparar las cantidades extraídas por todas las disoluciones empleadas para cada uno de los suelos, se observa que para las muestras deficientes, los valores medios extraídos de cobre resultaron ser menores y el rango de variación entre máximo y mínimo pequeño, respecto a los suelos con contenidos altos, medios y bajos de Cu.

En la tabla 3 se muestran los coeficientes de correlación para el Cu, usando diferentes extractantes. De manera general, las correlaciones estadísticas entre los métodos fueron muy significativas ($p < 0,01$), pero dependiendo del cultivo resultaron más altas (maíz) o más bajas (soja). Se dieron buenas correlaciones entre AB-DTPA y DTPA, utilizando ambos el mismo agente quelante a pesar de actuar a pH diferente. También se apreciaron buenas correlaciones entre Mehlich-3 y Mehlich-1, disoluciones ácidas capaces de extraer micronutrientes disolviendo la fase sólida en la cual los metales se encuentran (LUCENA y BASCONES, 1993). Además, se estableció una correlación muy significativa entre DTPA y Mehlich-3 ($r = 0,98$). Para estas dos disoluciones otros autores también observaron correlaciones elevadas, entre ellos, WALWORTH et al. (1992) para suelos de Alaska, CHILIMBA et al. (1999) para suelos de Malawi y por ZBÍRAL y NEMEC (2000) para suelos de Chequia.

La concentración de cobre en la parte aérea de la planta puede ser un buen índice de la biodisponibilidad de ese elemento en el suelo. Por ello, resulta de interés establecer correlaciones entre la concentración de cobre en la parte aérea de la planta del maíz o de soja respecto a la concentración extraída desde el suelo. En la figura 1, para los suelos estudiados y considerando el maíz, se obtuvieron correlaciones elevadas entre la concentración de cobre presente en la planta y la extraída por los cuatro agentes em-

pleados, variando los coeficientes de correlación entre 0,64 (Mehlich-1) y 0,71 (Mehlich-3). El Mehlich-3 fue el que presentó mejor correlación respecto a la concentración de Cu encontrada en la planta, pudiendo ser en principio considerado más eficiente en la evaluación de la disponibilidad de cobre para la planta de maíz, en términos globales. GALRÃO (1988) también observó una mayor eficacia del Mehlich-3 para cultivos de trigo.

Considerando los suelos deficientes, los coeficientes oscilaron entre 0,45 (AB-DTPA) y 0,72 (Mehlich-1). Nótese, sin embargo, que tres de las disoluciones (Mehlich-1, Mehlich-3 y DTPA) presentaron coeficientes de correlación muy similares.

Para la soja, cuando todos los suelos fueron incluidos en el análisis de regresión, los coeficientes de correlación variaron entre 0,36 (AB-DTPA) y 0,73 (Mehlich-3). Mehlich-3 y DTPA, presentando un coeficiente de correlación muy elevado, midieron, con

Tabla 4. Ecuaciones de regresión simple y coeficientes de correlación entre el contenido de Cu en la parte aérea de la soja (P.A.P) y el contenido de Cu en el suelo extraído por Mehlich-3, Mehlich-1, ABDTPA y DTPA

Ecuación ⁽¹⁾	Coeficiente de correlación (r)
Todos los Suelos	
$Y = 0,61 X_{DTPA} + 4,52$	0,72**
$Y = 0,47 X_{M3} + 4,42$	0,73**
$Y = 0,61 X_{M1} + 4,71$	0,60**
$Y = 0,33 X_{AB_DTPA} + 5,04$	0,36**
Suelos deficientes	
$Y = 3,83 X_{DTPA} + 2,73$	0,49**
$Y = 1,71 X_{M3} + 2,85$	0,66**
$Y = 3,60 X_{M1} + 2,56$	0,55**
$Y = -0,08 X_{AB_DTPA} + 4,59$	ns

⁽¹⁾ Donde Y representa el contenido de Cu en la parte aérea y X, el contenido de Cu en el suelo.

** : $p < 0,01$; ns: no significativo.

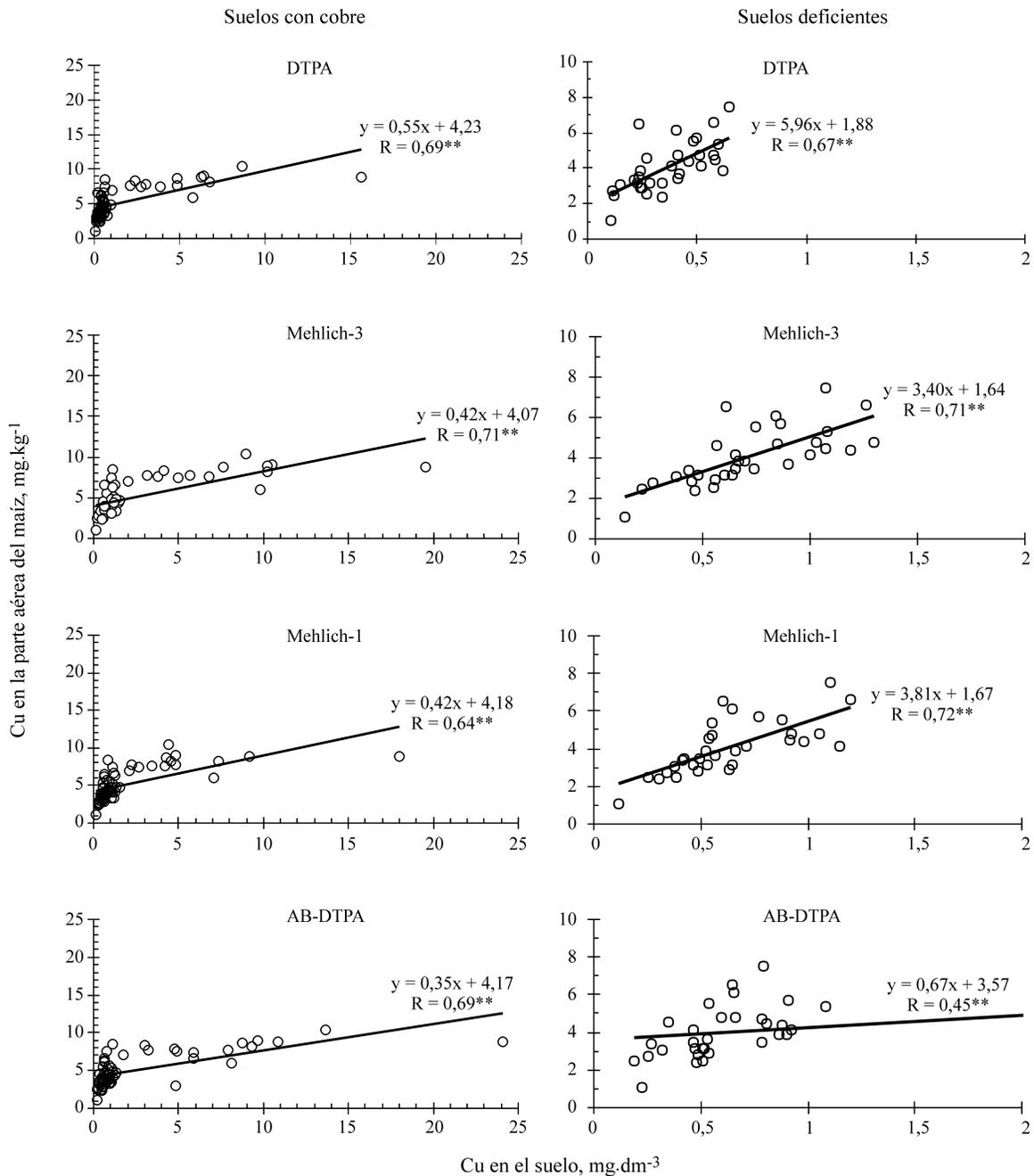


Figura 1. Correlaciones entre la concentración de cobre en la parte aérea de la planta de maíz y las cantidades de cobre en el suelo extraídas mediante los diferentes métodos.

una ligera superioridad del primero sobre el segundo, más satisfactoriamente la variación encontrada en la concentración de Cu en la parte aérea de la soja. Los bajos coeficientes de correlación obtenidos para el AB-DTPA pueden estar motivados por factores como tipo de cultivo, materia orgánica, pH o con el porcentaje de CaCO₃ (BENTON JONES, 1998). Considerando solamente los suelos deficientes, las correlaciones no resultaron tan elevadas, obteniéndose correlaciones

con el Mehlich-3 de 0,66, con el Mehlich-1 de 0,55 y con el DTPA de $r = 0,49$ (Tabla 4).

Resulta también de interés comparar las pendientes de las rectas de regresión entre el contenido de cobre en planta de soja y cobre en suelo. Cuando se consideran suelos deficientes en Cu, se aprecia que dicha pendiente es muy elevada, lo que significa que un pequeño aumento del Cu disponible en el suelo, independientemente de la disolución empleada, supone un rápido incremento del Cu en la planta. Por el

contrario, teniendo en cuenta todo el conjunto de las muestras de suelo, la concentración de cobre en la planta se mantiene bastante estable, poniéndose de manifiesto que para cada disolución extractante existe un nivel de Cu en el suelo a partir del cual el contenido en la planta se mantiene constante.

4. CONCLUSIONES

1. Tanto para el maíz como para la soja, y para suelos deficientes y no deficientes, Mehlich-3 y AB-DTPA fueron las disoluciones extractantes con mayor capacidad de extracción. El orden de extractabilidad para maíz fue: AB-DTPA \cong Mehlich-3 > Mehlich-1 > DTPA, y para soja resultó: Mehlich-3 > AB-DTPA \cong DTPA > Mehlich-1.

2. El Mehlich-3 y DTPA fueron ligeramente superiores en la evaluación de la disponibilidad del cobre para maíz y soja.

3. En los suelos deficientes, la concentración de cobre aumentó inicialmente en función del Cu del suelo, y a partir de cierto umbral en el suelo, la concentración en la planta tiende a mantenerse estable.

AGRADECIMIENTOS

La autora Raquel Caridad Cancela agradece a la Xunta de Galicia la beca recibida para realizar la estancia en el Instituto Agronómico, Campinas, Brasil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A. de; ABREU, M.F. de; ANDRADE, J.C.; RAIJ, B. van. Restrictions in the use of correlation coefficients in comparing methods for the determination of the micronutrients in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.29, n.11/14, p.1961-1972, 1998.
- ABREU, C.A. de; RAIJ, B. van. Efeito da reação do solo no zinco extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich-1. *Bragantia*, Campinas, v.55, n.2, p.357-363, 1996.
- ABREU, C.A. de; RAIJ, B. van; ABREU, M.F. de; ANDRADE, J.C. Efficiency of multinutrients extractants for determination of available copper in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.27, n.3/4, p.763, 1996a.
- ABREU, C.A. de; RAIJ, B. van; ABREU, M.F. de; SANTOS, W.R. dos; ANDRADE, J.C. Efficiency of multinutrient extractants for the determination of available copper in soils. In: HOOD, T.M.; BENTON-JONES, J. Jr. *Soil and Plant Analysis in Sustainable Agriculture and Environment*. New York: Marcel Dekker, 1997. p.331-339.
- ABREU, C.A. de; RAIJ, B. van; TANAKA, R.T. Fontes de manganês para soja e seus efeitos na análise do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.20, p.91-97, 1996b.
- BAKER, D.E. Copper: soil, water, plant relationships. *Federation Proceedings*, v.33, p.1188-1193, 1974.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. *Métodos de análise de plantas*. Campinas: Instituto Agronômico. 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78)
- BENTON-JONES, J. Jr. Soil test methods: past, present and future use of soil extractants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.29, n.11/14, p.1543-1552, 1998.
- CHILIMBA, A.D.C.; MUGHOGHO, S.K.; WENDT, J. Mehlich-3 or modified Olsen for soil testing in Malawi. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.30, n.7/8, p.1231-1250, 1999.
- CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E. Seleção de métodos para avaliação do cobre disponível nos solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.25, p.647-659, 1990.
- GALRÃO, E.Z. Resposta do trigo à aplicação de cobre em um solo orgânico de várzea. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.12, p.275-279, 1988.
- GALRÃO, E.Z.; SOUSA, D.M.G. de. Resposta do trigo à aplicação de cobre em um solo orgânico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, p.149-153, 1985.
- HOUBA, V.J.G.; NOVAMSKY, I.; TEMMINGHOFF, E. Soil analysis procedures. Extration with 0.01 M CaCl₂. *Soil and Plant Analysis*, Part 5A. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Agricultural University, 1994. 66p.
- LAMOTE, M. *Estadística Biológica: principios fundamentales*. 5.ed. Barcelona: Toray-Masson, 1981. 163p.
- LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.442, n.3, p.421-428, 1978.
- LUCENA, J.J.; BASCONES, I. AB-DTPA Cation Extraction in Spanish Soil Samples. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.24, n.17/18, p.2427-2440, 1993.
- MEHLICH, A. *Determination of P, Ca, Mg, K and NH₄*. Raleigh, NC: North Carolina Soil Test Division Mineo, 1953.
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant. A modification of Mehlich-2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.15, n.12, p.1409-1416, 1984.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. de. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed.rev.atual. Campinas,

- Instituto Agronômico/Fundação IAC. 1997. p.8-13. (Boletim Técnico, 100)
- SIMS, J.T. Comparison of Mehlich-1 and Mehlich-3 extractants for P, K, Mg, Mn, Cu and Zn in Atlantic coastal plain soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.20, n.17/18, p.1707-1726, 1989.
- SOLTANPOUR, P.N.; SCHWAB, F.S.; DEAN, L.A. A new soil test for simultaneous extraction of macro- and micronutrients in alkaline soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.8, p.195-207, 1977.
- USDA. SOIL SURVEY STAFF: SOIL TAXONOMY. *A basic systems of soil classification for making and interpreting soil survey*. Agriculture Handbook, Washington, 436. 754p, 1975.
- WALWORTH, J.L.; GARLAK, R.G.; PANCIERA, M.T. Mehlich-3 extractant for determination of available B, Cu, Fe, Mn and Zn in cryic Alaskan soils. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.72, n.4, p.517-526, 1992.
- ZBÍRAL, J.; NEMEC, P. Integrating of Mehlich-3 extractant into the Czech soil testing scheme. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.31, n.11/14, p.1403, 2000.