EVALUACIÓN DE COBRE DISPONIBLE EN ANDISOLES E INCEPTISOLES DE COSTA RICA PLANTADOS DE CAFÉ^{1,*}

Gilberto Cabalceta^{2/**}
Alessandro D'Ambrosio ***
Elemer Bornemisza **

ABSTRACT

Evaluation of available copper in Andisols and Inceptisols of Costa Rican coffee plantations. The available Cu contents in Andisols and Inceptisols of Costa Rica were determined. Soil and foliar samples were collected from coffee farms in the Central Valley (Andisols and Inceptisols), from the Turrialba area (Inceptisols) and from the Coto Brus region (Andisols). The samples in each region were divided into two groups according to the intensity of management used: (1) those receiving two or more Cu fungicide applications per year, called "intensive management" and (2) those receiving one or no applications of Cu per year, called "low intensity management". Most samples showed high concentrations of Cu in the soil. These high levels reflect a gradual increase of Cu use in coffee plantations during the last 30 years. The accumulation of Cu was higher for farms with higher technology levels. The Andisols and Inceptisols had average values of 43.2 mg/L for higher technology levels and 29.4 mg/L for lower technology levels. Higher accumulation was noted in the Andisols of Coto Brus than in those in the Central Valley, with an average of 53.1 mg/L for high technology, in Coto Brus, and 34.5 mg/L for low technology levels; in the Central Valley, the Andisols had an average 34.6 mg/L for high technology and 25.4 mg/L for low technology levels. An accumulation of approximately 1 mg/L/year of available copper was found in farms of higher technology levels, in ten years. Foliar Cu levels were also high for most farms. The highest average levels were found for the Andisols (17.4 mg/kg) in high technology farms, for the Inceptisols (17.9 mg/kg) of the Central Valley, and for the Andisols (30.1 mg/kg) at Coto Brus. No significant correlations were found between soil and foliar Cu levels. Similarly, soil Cu did not present a significant correlation with organic matter. Some negative correlations, however, were detected between soil Cu levels and extractable base sums.

1/ Recibido para publicación el 21 de marzo de 1996.

2/ Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

El Cu es considerado el menos móvil de los oligoelementos del suelo pues por lo general se inmoviliza en los primeros 20 cm. Algunos de los factores que influyen en la adsorción del Cu en los suelos son: el pH, los contenidos de carbonatos, la CIC y el contenido de arcilla y de materia orgánica

^{*} Parte de la tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia, presentada por el segundo autor ante la Universidad de Costa Rica. Proyecto VI-312-88-004.

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

^{***} Dirección Actual: Apartado postal 678-1200, San José, Costa Rica.

como factores principales (Singh et al., 1989; Fassbender y Bornemisza, 1987). Aplicaciones moderadas de este elemento tienden a fijarse en las primeras capas del suelo, causando fitotoxicidad a los cultivos presentes cuando alcanzan niveles altos (Cordero y Ramírez, 1979; Fassbender y Bornemisza, 1987). Los fungicidas a base de Cu son muy utilizados por los productores de café para contrarrestar las principales enfermedades que atacan el cultivo. Con la aparición de la roya (Hemileia vastatrix) y el uso de nuevas tecnologías más intensivas para la producción, se incrementó aún más su aplicación.

Koss et al. (1973), en un estudio realizado en Costa Rica encontraron niveles moderados de Cu en el suelo y en las plantas de café (con promedios de 22,9 mg/kg y 13,9 mg/kg, respectivamente) donde no existían síntomas de toxicidad visibles. Sin embargo, esos niveles probablemente se han incrementado por el aumento en la aplicación de fungicidas cúpricos y se debe estar alerta por posibles problemas con este elemento en el cultivo del café.

En la región del Pacífico Sur de Costa Rica existe un alto acúmulo de Cu, que puede ocupar 50000 ha en terrenos que estuvieron sembrados de banano, debido a la aplicación de 100 kg Cu/ha/año del fungicida caldo bordelés (a base de sulfato de cobre y cal), durante los años 1935 a 1960, encontrándose concentraciones de Cu disponible de hasta 3900 y 3100 mg/L extraídos con HCl 1N y bicarbonato de sodio más EDTA, respectivamente (Cordero y Ramírez, 1979). También Flores et al. (1979), estudiando el contenido de Cu extraído con HCl 0.1N en esta misma zona de Costa Rica. encontraron valores altos de Cu (máximo 623 mg/kg), especialmente en el Valle de Diquís (promedio 103 mg/kg), en sitios previamente sembrados de banano y obtuvieron pocas diferencias entre suelos cultivados o no cultivados (94 mg/kg contra 113 mg/kg, respectivamente), va que inundaciones fuertes han alterado la distribución del Cu en ellos. Pérez y Bornemisza (1986) realizaron un fraccionamiento del Cu y obtuvieron que el Cu total (Cu-T) fue alto en los suelos procedentes de la región bananera del sur de Costa Rica (662 a 778 mg/kg).

En Andisoles de Costa Rica, Bertsch et al. en 1984, encontraron que el Cu estaba en el ámbito de trazas a 23 mg/L, pero Granados y Bornemisza (1991a) obtuvieron valores altos de 94 mg/kg, que los atribuyeron a las continuas aplicaciones de fungicidas cúpricos.

En Inceptisoles de Turrialba, Costa Rica, Serpa y Bornemisza (1983) reportan contenidos de Cu entre 21 y 41 mg/kg.

El objetivo del presente trabajo fue determinar los niveles de Cu disponible existentes en Andisoles e Inceptisoles de fincas de café de diferentes regiones de Costa Rica, bajo prácticas de manejo intensivas y extensivas, y correlacionar los contenidos de Cu en el suelo con los de la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo y ubicación de los sitios

Este ensayo se realizó en 3 zonas del país, el Valle Central (Andisoles e Inceptisoles), Turrialba (Inceptisoles) y Coto Brus (Andisoles). El trabajo de campo consistió en hacer un muestreo foliar y de suelo en diferentes fincas de café, clasificadas en dos categorías: manejo intensivo y manejo extensivo. El suelo se muestreó de 0-20 cm de profundidad, en un área mínima de 1 ha. Las muestras foliares se recolectaron del tercer y cuarto par de hojas y a la altura media de la planta.

Por cada orden de suelo se seleccionaron en cada zona 16 fincas, 8 de alta y 8 de baja tecnología, obteniéndose así un total de 64 fincas. Se definió como fincas de alta tecnología aquellas que hacen 2 ó más aplicaciones de fungicida de Cu por año, y de baja tecnología aquellas que realizan de 0 a 1 aplicación. Se estableció que la tecnología usada por cada finca tuviera como mínimo 8 años. La ubicación y manejo de cada finca se presenta en el Cuadro 1.

Las muestras de suelo fueron procesadas según la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (1978) y Hunter (1975). Específicamente, las extracciones de Cu fueron hechas con Olsen modificado.

Los análisis de textura y foliares se hicieron siguiendo la metodología utilizada en el Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (Briceño y Pacheco, 1984).

Se realizaron correlaciones entre las concentraciones de Cu en el suelo, Cu foliar y materia orgánica, por orden de suelo y por tecnología, como también entre órdenes y tecnologías, así como Cu en el suelo contra pH, porcentaje de arcilla, porcentaje de arcilla más limo, P y suma de bases, por orden de suelo y tecnología en cada localidad.

Se realizaron análisis de varianza a los contenidos de Cu en el suelo, foliar y a la materia or-

gánica, en un mismo orden de suelo, para comparar localidades; de la misma forma se realizaron pruebas para comparar Inceptisoles y Andisoles

de Valle Central. Se efectuaron pruebas de t para encontrar diferencias entre tecnologías en cada localidad así como también por orden de suelo.

Cuadro 1. Localidad, suelo, aplicaciones de Cu/año, Cu en el suelo y Cu foliar, de las muestras de alta y baja tecnología utilizadas para evaluar el Cu en plantaciones de café.

Localidad	Finca	Aplicaciones Cu/año	Cu suelo mg/L	Cu foliar mg/kg
	Andisoles			
Valle Central				
Alta tecnología				
San Pablo, Heredia	Belarmino Soto	. 3	34	31
San Pablo de Barva, Heredia	Macatán	3	44	16
Birrí, Heredia	José Henrys	3	15	24
San Pedro de Barva, Heredia	Porrosati	3	39	18
Naranjo, Alajuela	Sacramento	3	37	12
tiquís, Alajuela	La Esperanza	3	36	10
San Isidro, Alajuela	Rubén Jiménez	3	30	16
El Cacao, Alajuela	El Cacao	3	42	12
Baja tecnología				
San Pablo, Heredia	Edurardo González	0	13	13
San Joaquín de Flores, Heredia	Jorge Campos	0-1	30	14
San Joaquín de Flores, Heredia	Jorge Campos	1	25	12
San Lorenzo, Heredia	Oscar Bogantes	0-1	22	14
San Isidro, Alajuela	Estellina Delgado	0-1	21	19
tiquís, Alajuela	Luis León	0-1	38	iź
Γambor, Alajuela	El Cementerio	0-1	23	14
Carrillos, Alajuela	Luisa Sáenz	o ·	31	12
Coto Brus				
Alta tecnología				
San Luis, Río Negro, Sabalito	Río Negro	3	123	21
La Pintada	Marcos Villalobos	3	36	64
Copal, Agua Buena	Guido Lerici	3	33	25
_a Pintada	Angelo D`Ambrosio	3	40	39
San Vito	La Alborada	3	43	20
Copal, Agua Buena	Stefano Cesare	3	85	27
San Francisco, Sabalito	Eliécer Bogantes	2-3	37	23
Sabalito	San Anselmo	3	28	22
Baja tecnología				4.5
a Gutiérrez	Rigo Solano	1	42	20
ourdes, Sabalito	Fernando Politi	1	44	24
a Lucha	Nino Vindas	0-1	19	20
a Lucha	Juan Rodríquez	0-1	13	25
Aguas Claras	Alessio Pirola	0	39	18
abalito	Barrantes-Murillo	0-1	19	19
Aguas Claras	Juan P. Ulcigrai	0	76	18
La Pintada	Batista Pirola	0	24	24

arranion alu

Cuadro 1. (Continuación)

,	Inceptisoles	.,		
Valle Central	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Alta tecnología				
Esquipulas, Palmares, Alajuela	Daniel Solórzano	2-3	83	18
Palmeto, Naranjo, Alajuela	Víctor Arias	3	32	15
Rincón de Palmares, Alajuela	Guido Rojas	3	73	16
Cocaleca, Palmares, Alajuela	Julio Arias	2	42	11
Santa María de Dota, San José	Malaquielo Fallas	2-3	31	21
San Marcos, Tarrazú, San José	La Meseta	3	24	21
Santa Elena, Cartago	Santa Elena	3	32	20
Tucurrique, Palmares, Alajuela	Evelio Araya	3	21	21
Baja tecnología				
San José Norte, Atenas, Alajuela	Alfredo González	0	35	12
Cocaleca, Palmares, Alajuela	Danilo Sánchez	0-1	35	13
San Pablo de León Cortez, S.J.	Francisco Leiva	0-1	11	15
Tucurrique, Palmares, Alajuela	Carmelo Araya	0	23	22
Desamparados, San José	Juan Luis Peña	0-1	85	23
Aserrí, San José	Manuel Morales	0-1	26	11
Desamparados, San José	Juan B. Fernández	0-1	22	10
Ujarrás, Cartago	La Fiora	1	17	12
Turrialba				
Alta tecnología				
Pueblo Nuevo	Atirro	3	43	25
La Suiza	Lucian Smith	2	51	21
Santa Rosa (abajo)	E. Guardia	2 2 2 3 3	33	15
La Suiza	Carlos Delgado	2	79	16
Recope	Jiménez de la Guardia	3	28	15
Pejibaye	Atirro		50	18
Turrialba	CATIE	3	50	17
Azul	La Julia	3	36	20
Baja tecnología				
La Suiza	Rolando Castro	1	43	15
Azul	Sergio Castro	0	28	15
Canadá, La Suiza	Cristóbal López	0	25	44
Azul	Luis Calderón	0-1	10 · ₁₁ .	21
Pejiballe	Venancio López	0	17	20
Eslabón	Los Guardia	1	33	15
La Suiza	Teresina González	0-1	18	16
La Suiza	Argentina Adams	0-1	23	24
	rugomma ridanis	0-1	4.5	47

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cu en los suelos

En el Cuadro 1 se presentan las localidades muestreadas según el orden de suelo, el número de aplicaciones de fungicidas cúpricos, el Cu disponible en el suelo y el Cu foliar. Los niveles de Cu en el suelo encontrados están dentro del ámbito propuesto como normal (2 a 100 mg/kg), por Fassbender y Bornemisza (1987), excepto el valor de la finca Río Negro en Coto Brus (123 mg/L). Sin embargo, si se comparan los datos con las categorías propuestas por Carvajal (1984) para café (bajo < 1, óptimo 1-20 y alto > 20 mg/kg), el 84% de los datos presentan una concentración alta. Es-

to sugiere que podrían haberse aplicado cantidades significativas de Cu en los cafetales, que han tendido a incrementar su contenido.

Los promedios de Cu en los suelos estudiados se presentan en el Cuadro 2. Al analizar el total de Andisoles e Inceptisoles se obtuvo promedios no muy diferentes de Cu para alta tecnología (44 y 43 mg/L) y para baja tecnología (30 y 29 mg/L), extraídos con Olsen Modificado. Si estos datos se comparan con los promedios encontrados por Koss et al. en 1973 de 23,1 mg/kg y 22,9 mg/kg utilizando HCl y EDTA como soluciones extractoras, respectivamente, se puede observar que estas concentraciones han aumentado en forma importante en Costa Rica, con promedios cercanos al doble, si se comparan con fincas de alta

Cuadro 2. Ambito, promedio y desviación estándar de los valores de cobre en el suelo encontrados en los Andisoles del Valle Central y Coto Brus, y en los Inceptisoles del Valle Central y Turrialba.

			Andisoles	
Tecnología		Valle Central	Coto Brus	Total
ŭ			mg/L	
Alta	ámbito	15-44	28-123	15-123
	promedio	34,6	53,1	43,9
	d.e.	9,1	33,3	25,4
Baja	ámbito	13-38	13-76	13-76
	promedio	25,4	34,5	29,9
	d.e.	7,6	20,5	15,7

		Inceptisoles		
	Valle Central	Turrialba	Total	
ámbito	21-83	24-79	21-83	
promedio	42,3	43,0	42,6	
d.e.	23,1	17,5	19,8	
ámbito	11-85	10-43	10-85	
promedio	31,8	25,9	28,8	
d.e.	23,0	9,8	17,4	
	d.e. ámbito promedio	ámbito 21-83 promedio 42,3 d.e. 23,1 ámbito 11-85 promedio 31,8	Valle Central Turrialba mg/L ámbito 21-83 24-79 promedio 42,3 43,0 d.e. 23,1 17,5 ámbito 11-85 10-43 promedio 31,8 25,9	Valle Central Turrialba mg/L Total ámbito 21-83 24-79 21-83 promedio 42,3 43,0 42,6 d.e. 23,1 17,5 19,8 ámbito 11-85 10-43 10-85 promedio 31,8 25,9 28,8

tecnología. En el caso máximo, hubo una acumulación promedio de 19 mg/L de Cu en 19 años (desde el estudio de Koss et al. de 1973 a 1992), por lo que se podría hablar de una acumulación anual promedio máxima de 1 mg/L de Cu en la fracción extraíble.

Hay que tomar en cuenta que las estimaciones anteriores incluyen la totalidad de Andisoles muestreados, mientras que el estudio de Koss et al. (1973), se realizó utilizando solamente los Andisoles del Valle Central, pues no existen estudios previos de las demás zonas. Si se comparan los datos antiguos con los encontrados actualmente en los Andisoles del Valle Central (35 mg/L y 25 mg/L para alta y baja tecnología, respectivamente, Cuadro 2), se observa una acumulación menor, la cual corresponde a 11 mg/L para alta tecnología y 2 mg/L para baja tecnología. Si bien es cierto que hubo un aumento en el uso de fungicidas cúpricos con la aparición de la roya en el año 1982, estos productos se han venido usando en esta zona, desde hace más de 30 años. Si se establece la comparación entre los valores de 1973 y 1992, se puede hablar de una acumulación promedio de Cu disponible de 0,5 mg/L/año, para alta tecnología.

Debe considerarse que en cualquiera de los casos, es probable que la acumulación de Cu-total, resulte ser mucho mayor, como lo demostraron Granados y Bornemisza (1991a), quienes informaron que la mayor parte del Cu aplicado al suelo pasa en un corto período de tiempo a formas esta-

bles, las cuales no son extraíbles con Olsen Modificado, y es en esas fracciones donde se encuentra la mayor parte del elemento. Grandes diferencias fueron reportadas por Malewar *et al.* (1978) entre el Cu total (84-176 mg/kg) y el Cu disponible (1,84-4,56 mg/kg) en el suelo.

Se encontraron diferencias significativas (P<0,066) en las concentraciones de Cu entre los Andisoles del Valle Central y Coto Brus (Cuadro 2), siendo mayores en Coto Brus, probablemente debido a que en esta zona la precipitación es mayor, por lo tanto la aplicación de fungicidas cúpricos para el combate de enfermedades es más continuo.

Los niveles de Cu encontrados son superiores a los que citan Bertsch *et al.* (1984), para varios Andisoles de Costa Rica, los cuales estaban entre 3,3-25,0 mg/kg, con un promedio de 10,2 mg/kg, en ese año.

La acumulación anual de Cu en el suelo encontrada en Costa Rica es baja al compararla con los informes de Lepp et al. (1984), de 5 mg/kg/año en Kenya y con las estimaciones de Moshi et al. (1982), las cuales alcanzaron 8 mg/kg/año, en Tanzania. Estas altas acumulaciones anuales coinciden con concentraciones altas encontradas por Maroko (1987) y Dikinson et al. (1984) en Kenya.

Tecnologías

Se obtuvieron grandes diferencias entre los contenidos promedios de Cu en alta y baja tecnología, tanto en Andisoles como en Inceptisoles (Cuadro 2). Se encontró diferencia significativa (P<0,045) entre los valores de Cu en alta y baja tecnología para el total de Inceptisoles, y para el total de Andisoles (P<0,072). Se consideró que esta última significancia resulta satisfactoria en este caso, dada la alta variabilidad de ambientes con los que se trabajó.

En los Inceptisoles del Valle Central y Turrialba se encontró diferencias significativas (P<0,051) entre tecnologías (Cuadro 2), correspondiendo las mayores concentraciones de Cu a los suelos bajo una tecnología alta; individualmente en Turrialba, la diferencia entre alta y baja tecnología fue mayor (promedio de 43 y 26 mg/L respectivamente), con una P<0,03. Igual comportamiento se obtuvo entre los Andisoles del Valle Central y Coto Brus (P<0,064).

Cu foliar

En el Cuadro 1 se presentan las concentraciones de Cu foliar para todas las muestras. Los niveles foliares de Cu indican que el 85% de los datos se encuentran en el límite alto, mientras que el resto (15%) está en el óptimo, si se comparan con los ámbitos propuestos por Carvajal (1984): alto > 12 mg/kg, medio 6 a 12 mg/kg y bajo < 6 mg/kg. Si se comparan estos niveles con los encontrados por Koss et al. en 1973 (13,9 mg/kg), se

puede observar que la mayoría de los valores actuales son mayores. De igual forma, los valores inferiores y superiores del ámbito encontrado por Koss et al. (1973), (6-26 mg/kg), son inferiores a los actuales, los cuales están entre 10 y 64 mg/kg (Cuadro 3). Esto podría atribuirse a las aplicaciones de Cu que se realizan de manera foliar principalmente desde hace unos 14 años, cuando la roya apareció en Costa Rica. Anteriormente, incluyendo la época en que Koss et al. (1973) hicieron el estudio, el número de aplicaciones era menor. Esto coincide con lo informado por Aduayi (1978), quien encontró que los niveles de Cu aumentaban conforme aumentaba la cantidad del elemento aplicado.

Se encontró diferencias significativas (P<0,085) entre las muestras provenientes de fincas de alta y baja tecnología para el Valle Central, tanto en Andisoles como en Inceptisoles. Entre órdenes el comportamiento es muy similar entre sí, si se comparan las concentraciones de Cu en ambos órdenes del Valle Central (Cuadro 3); se observa que los datos promedios y las diferencias entre niveles tecnológicos son muy similares entre sí.

Analizando ambos órdenes por separado se encontró diferencias (P<0,053) entre niveles tecnológicos para Andisoles. Gran diferencia (P<0,003) se encontró al comparar ambas localidades (Valle Central y Coto Brus), donde Coto Brus mostró las mayores concentraciones. Individualmente, hubo

Cuadro 3. Ambito, promedio y desviación estándar de los valores de cobre foliar encontrados en plantaciones de café sembradas en Andisoles del Valle Central y en Coto Brus y en los Inceptisoles del Valle Central y Turrialba.

lecnología (Valle Central	Coto Brus mg/L	Total
Alta	ámbito	10-31	20-64	10-64
	promedio	17,4	30,1	23,8
	d.e.	7,0	15,0	13,1
Baja	ámbito	12-19	18-25	12-25
	promedio	14,4	21,0	17,7
	d.e.	2,5	2,9	4,3

		Valle Central	Turrialba mg/L	Total
Alta	ámbito	11-21	15-25	11-25
	promedio	17,9	18,4	18,1
	d.e.	39,6	3,5	3,4
Baja	ámbito	10-23	15-44	10-44
•	promedio	14,8	21,3	18,0
1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1	d.e.	5,0	9,8	8,2

diferencias en Coto Brus entre tecnologías (P<0,13), encontrándose las mayores concentraciones foliares en alta tecnología.

En Turrialba, las concentraciones de Cu fueron un poco mayores en muestras provenientes de baja tecnología que en las de alta (Cuadro 3), contrario al comportamiento de las demás localidades, pero si se analizan los valores de Cu foliar por separado (Cuadro 1), se observa que son similares entre alta y baja tecnología, excepto en la finca, de Cristóbal López: si se elimina este valor los promedios son iguales (18 mg/kg).

Granados y Bornemisza (1991b), encontraron leves síntomas de toxicidad en plantas de café
con niveles de 200 mg/kg de Cu en el suelo en un
Andisol del Valle Central de Costa Rica, valor que
está muy por encima de los encontrados en este
estudio. Dickinson y Lepp (1983), y Dickinson et
al. (1984), encontraron concentraciones de Cu foliares en cafetos de Kenya, mayores a las encontradas en este estudio y en el país en general.

Aparentemente aunque los niveles de Cu en el suelo han aumentado en el país, por el momento no presentan peligro de toxicidad a las plantaciones de café.

Correlaciones

No se encontraron correlaciones estadísticas, por orden de suelos ni por nivel tecnológico, entre los contenidos de Cu en el suelo y el Cu foliar. Este resultado se respalda con lo encontrado por Lepp et al. (1984), y Granados y Bornemisza (1991b). Sin embargo, se esperaría que existiera algún grado de asociación entre los contenidos de Cu del suelo y los de la planta. Al analizar los datos reales de las localidades de Coto Brus y Valle Central para Andisoles (Cuadro 2 y 3), se puede apreciar que efectivamente en cada localidad, en promedio, los niveles superiores de Cu en el suelo coinciden con niveles superiores en las muestras foliares para ambas tecnologías.

No hubo correlación entre la concentración de Cu en el suelo y los niveles de materia orgánica, contrario a lo manifestado por Guerrero y Burbano (1978), quienes encontraron que, conforme aumenta el porcentaje de materia orgánica disminuye la disponibilidad de Cu. Asimismo, Bertsch et al. (1984), encontraron correlaciones negativas entre el Cu y la materia orgánica. Fagbmi et al. (1985), en cambio informan de una correlación

pobre entre la materia orgánica y las formas extraíbles de Cu.

Se analizaron las correlaciones entre el Cu en el y con el pH, P, porcentaje de arcilla, porcentaje de limo más arcilla y la suma de bases, en ambos órdenes de suelo y en cada localidad divididos por tecnología. No se encontró correlación con el P, contrario a lo informado por Sakal et al. (1988), quienes encontraron una correlación positiva entre la disponibilidad de P v la de Cu. Con el pH, en general no hubo correlación excepto en la localidad de Turrialba (Inceptisoles) y con la totalidad de los Andisoles, ambos en baja tecnología, en donde se encontraron correlaciones negativas con P<0,1 (r= -0,68 y -0,48, respectivamente). Según Serpa y Bornemisza (1983), el Cu empieza a precipitarse a pH de 6,3 y, en este caso, ningún suelo estudiado sobrepasó ese valor. Guerrero y Burbano (1978) mencionan que la disponibilidad del Cu se incrementa a medida que las condiciones del suelo se tornan ácidas y encontraron, al igual que Malewar et al. (1978), correlación negativa entre el pH y la disponibilidad del Cu.

Con la fracción fina (limo más arcilla), sólo se encontró una correlación negativa con el promedio del total de los Andisoles en baja tecnología (r=-0,44); esto último no coincide con Flores et al. (1979), quienes encontraron una correlación positiva.

Hubo una correlación negativa, en algunos casos, entre los niveles de Cu disponible con la suma de bases (total de Inceptisoles de alta tecnología; r= -0,70, P<0,01; Inceptisoles del Valle Central; r= -0,79, P<0,05, y total de Andisoles de baja tecnología; r=-0,43, P<0,1). Hubo una tendencia de reducción del Cu, en aquellos suelos con mejor estado nutricional, por lo tanto es posible que los problemas dados por el Cu disponible se disminuvan si se mantiene un régimen adecuado de fertilización. Bertsch et al. (1984) encontraron correlación negativa entre los contenidos de Cu y Ca. En los suelos del presente trabajo, los niveles de Ca están en un ámbito medio aunque no se ve una relación inversa entre las concentraciones de este elemento con los valores de Cu en los suelos.

En síntesis dentro del marco en el cual se realizó este estudio, se puede mostrar que los niveles de Cu en el suelo han aumentado con respecto a estudios anteriores y en respuesta al uso de alta tecnología; o sea, el mayor número de aplicaciones de Cu por año en los cafetales ha contribuido a aumentar las concentraciones de este elemento en el

suelo. Los niveles actuales no afectan aún las plantas de café y están por debajo de los que pueden causar efectos tóxicos visibles en éstas.

Se encontraron diferencias significativas en los contenidos de Cu entre alta y baja tecnología en ambos órdenes de suelo, pero no se encontraron correlaciones entre los niveles de Cu en el suelo con los niveles foliares y tampoco con los contenidos de materia orgánica.

RESUMEN

Se determinaron las concentraciones de Cu disponible en Andisoles e Inceptisoles de Costa Rica. Se tomaron muestras de suelo y plantas en fincas de café del Valle Central (Andisoles e Inceptisoles), Turrialba (Inceptisoles) y Coto Brus (Andisoles). El muestreo en cada localidad se dividió por tecnología según el número de aplicaciones de Cu que se realizan al año: 2 ó más aplicaciones corresponde a alta y 1 ó ninguna a baja.

Las concentraciones de Cu en el suelo fueron altas en la mayoría de las fincas estudiadas y mayores en las de alta tecnología. Los valores promedios para ambos órdenes de suelo, Andisoles e Inceptisoles fueron de 43 y 29 mg/L para alta y baja tecnología, respectivamente. Esos niveles evidencian que se ha incrementado de manera importante el Cu en los suelos plantados con café en los últimos años. Estimados realizados al comparar con estudios previos sugiere una acumulación promedio máxima de 1 mg/L/año de Cu disponible en fincas de alta tecnología. Se encontró mavores acumulaciones en los Andisoles de Coto Brus que en los del Valle Central, con valores promedios de 53 y 35 mg/L para alta y baja tecnología en el primero, contra 35 y 25 mg/L para alta y baja tecnología en el segundo.

El Cu foliar presentó concentraciones altas en la mayoría de las fincas. Los mayores niveles en promedio fueron encontrados en alta tecnología, tanto el los Andisoles e Inceptisoles del Valle Central (17 mg/kg y 18 mg/kg, respectivamente) como en los Andisoles de Coto Brus (30 mg/kg). No se encontraron correlaciones entre los contenidos de Cu en el suelo con las concentraciones foliares. Tampoco se obtuvo correlación entre los contenidos de Cu en el suelo y la materia orgánica. Se encontraron algunas correlaciones negativas entre los contenidos de Cu con la suma de bases.

LITERATURA CONSULTADA

- ADUAYI, E.A. 1978. Role of phosphorus and copper on growth and nutrient composition of Arabica coffee grown in sand culture. Turrialba 28(2):105-111
- BERTSCH, F.; CORDERO, A.; ALVARADO, A. 1984. Fertilidad de Typic dystrandepts de Costa Rica. I. Metodología, Acidez y Cationes (Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn, Cu). Turrialba 34(2):187-197.
- BRICEÑO, J.; PACHECO, R. 1984. Métodos analíticos para el estudio de suelos y plantas. San José, Editorial Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. Costa Rica. 137 p.
- CARVAJAL, J.F. 1984. Cafeto. Cultivo y Fertilización. 2™ Edición. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza. 254 p.
- CORDERO, A.; RAMIREZ, G. 1979. Acumulamiento de Cu en los suelos del Pacífico Sur de Costa Rica y sus efectos detrimentales en la agricultura. Agronomía Costarricense 3(1):63-78.
- DIAZ-ROMEAU, 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.
- DICKINSON, N.M.; LEPP, N.W. 1983. Copper contamination of plants and soils associated with the cultivation of coffee (Coffea arabica L.) in Kenya. Heavy metals in the environment. Volume 2. Edinburgh, UK; CEP Consultants Ltd 797-800.
- DICKINSON, N.M.; LEPP, N.W.; ORMAND, K.L. 1984.
 Copper contamination of a 68-year-old coffee (Coffee arabica L.) plantation. Environmental Pollution, B. 7(3):223-231.
- FAGBMI, A.; AJAYI, S.O.; ALIE, M. 1985. Nutrient distribution in the basement complex soils of the tropical, dry Rainforest of sowthwestern Nigeria; 2 micronutrientszinc and copper. Soil Science 139(6):531-537.
- FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. 1987. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Editorial IICA. San José, Costa Rica. 395-397 p.
- FLORES, R.A.; BORNEMISZA, E.; ALVARADO, A. 1979. Cu y Zinc en suelos del Sur de Costa Rica. Turrialba 29(2):105-110.
- GRANADOS, L.; BORNEMISZA, E. 1991a. Cambios en los contenidos de las fracciones de Cu en un Udand, en respuesta a la aplicación del elemento. Agronomía Costarricense 15(1/2):45-49.
- GRANADOS, L.; BORNEMISZA, E. 1991b. Efecto de las concentraciones de Cu en el suelo sobre los contenidos de nutrimentos en plantas de almácigo de café cv Catuai Rojo. Agronomía Costarricense 15(1/2):51-55.

- GUERRERO, R.; BURBAÑO, H. 1978. Estado de los micronutrientes en suelos derivados de cenizas volcánicas. Suelos Ecuatoriales 9(2):171-183.
- HUNTER, 1975. New techniques and equipment for routine plant analytical procedure. In Soil Management in Tropical America. Ed. por E. Bornemisza y A. Alvarado, North Carolina State University, Raleigh. p. 467-483.
- KOSS, J.; CARVAJAL, J.F.; SOLANO, J.A. 1973. Nutrición por Cu en algunos suelos cafetaleros y cafetos de Costa Rica. Turrialba 23(2):208-215.
- LEPP, N.W.; DICKINSON, J.F.; ORMAND, K.L. 1984. Distribution of fungicide derived copper in soils, litter and vegetation of different age stands of coffee in Kenya. Plant and Soil 77:263-270.
- MALEWAR, G.U.; VARADE, S.B.; JADHAV, N.S. 1978.
 Distribution of Manganese and copper in some soils of the citrus growing tract of Marathwada. Indian Journal of Agricultural Research 12(4):227-230.
- MAROKO, J.B. 1987. Copper levels in soil and coffee plant material from Bahati-Solai. Nakuru, (Kenya) 52(613):215-217.

- MOSHI, A.O.; LEMA, N.M.; MEDA, R.M.A.; SHIKONY, E.N. 1982. Accumulation of copper in some coffee growing soils of Kilimanjaro, Tanzania. Soil Science Society of East Africa 66-74.
- PEREZ, J.; BORNEMISZA, E. 1986. Suelos contaminados con Cu en el Pacífico Sur de Costa Rica. I. Fracciones de Cu y efecto del fosfato sobre ellas. Agronomía Costarricense 10(1/2):165-172.
- SAKAL, R.; SINGH, A.P.; SINGH, S.P. 1988. Distribution of available zinc, copper, iron and manganese in old alluvial soil as related to certain soil characteristics. Journal of the Indian Society of Soil Science 36(1):59-63.
- SERPA, R.; BORNEMISZA, E. 1983. Disponibilidad y contenido de Cu, Zinc y Manganeso en un Ultisol y un Inceptisol bajo diferentes niveles de manejo. Turrialba 33(3):223-230.
- SINGH, K.; KUHAD, M.S.; DHANKAR, S.S. 1989. Influence of soil characteristics on profile distribution of DTPAextractable micronutrient cations. Indian Journal of Agricultural Science 59(5):331-334.