

EVALUACION DE ALGUNOS METODOS PARA LA EXTRACCION DE ZINC DISPONIBLE EN SUELOS ALCALINOS DEL VALLE DEL CAUCA

Fernando Castaño S.*

Lufs E. Castillo P.**

Alvaro García O.**

COMPENDIO

Se determinó el contenido de zinc disponible por varios métodos de extracción y se trató de establecer en una primera aproximación el nivel crítico de este elemento, en 20 suelos alcalinos (Vertisol, Mollisol, Inceptisol y Entisol) de la zona plana del Valle del Cauca. El orden de eficiencia de las ocho soluciones extractoras fue: HCl 0.1 N > EDTA 0.05 M > $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{EDTA}$ > Olsen Modificado > DTPA - CaCl_2 - TEA = NH_4HCO_3 DTPA = Carolina del Norte > HCl 0.05 N. Los niveles críticos de zinc en el suelo estuvieron por debajo de los siguientes valores: Olsen Modificado (1.8 ppm), $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{EDTA}$ (1.8 ppm), DTPA (1.2 ppm), $\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{DTPA}$ (1.0 ppm), EDTA 0.05 M (2.2 ppm), Carolina del Norte (1.0 ppm), HCl 0.1 N (3.0 ppm) y HCl 0.05 N (0.15 ppm). En invernadero no se encontró respuesta significativa de los tratamientos (0, 4, 8, 12, 16 y 20 kg de Zn/ha) sobre el rendimiento de materia seca del híbrido 8239 de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) pero sí en la concentración y contenido foliar de zinc. La concentración de zinc en la planta, determinada por digestión húmeda con mezcla nítrico-perclórica y metanol ácido, estuvo dentro del rango normal establecido para este elemento. Se encontraron correlaciones positivas y altamente significativas entre el contenido de zinc de la planta y el contenido de zinc extraído del suelo por los métodos de Olsen Modificado, DTPA y HCl 0.1 N, los otros métodos presentaron correlaciones positivas, pero no significativas.

ABSTRACT**EVALUATION OF METHODS TO EXTRACT AVAILABLE ZINC IN ALKALINE SOILS OF CAUCA VALLEY**

In order to determine available zinc content using several extraction methods and trying to establish in a first approximation the critical level for this element, 20 alkaline soils (Vertisol, Mollisol, Inceptisol, and Entisol) were collected in the Plain Zone of Cauca Valley. Eight solutions were used; their extraction order was: HCl 0.1 N > EDTA 0.05 M > $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{EDTA}$ > Modified Olsen > DTPA- CaCl_2 - TEA = $\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{DTPA}$ = North Carolina > HCl 0.05 N. It was found that the critical levels are below the following values: Olsen Modified (1.8 ppm), $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{EDTA}$ (1.8 ppm), DTPA (1.2 ppm), $\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{DTPA}$ (1.0 ppm) EDTA 0.05 M (2.2 ppm), Double Acid (1.0 ppm) HCl 0.1 N (3.0 ppm) and HCl 0.05 N (0.15 ppm). In the greenhouse study it was found that the zinc application (0, 4, 8, 12, 16 and 20 kg/ha) did not enhance dry matter accumulation in sorghum, hybrid 8239 (*Sorghum bicolor* L. Moench), but it did increase the foliar concentration, determined by wet digestion using both nitric perchloric acid and acid methanol, and content of this element. The zinc concentration found in the plant was within the normal range given for this element. Significant positive correlations were found between plant zinc content and soil zinc extracted by Modified Olsen, DTPA, and HCl 0.1 N; another methods showed positive but no significant correlations.

* Estudiante de pre-grado. Universidad Nacional de Colombia. A.A. 237 Palmira.

** Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. A.A. 233 Palmira.

1. INTRODUCCION

El Valle del Cauca es una de las regiones agrícolas del país que más emplea fertilizantes a base de micronutrientes, con la perspectiva de mejorar el rendimiento y calidad de las cosechas y evitar el empobrecimiento del suelo; sin embargo, no se ha realizado aún para los suelos y cultivos de mayor importancia en la zona, la suficiente investigación básica que garantice el uso técnico de los micronutrientes.

La determinación de la disponibilidad de micronutrientes permite separar los campos deficientes de los no deficientes. Y debe establecer la probabilidad de una respuesta lucrativa a la aplicación de los mismos (Cox y Kamprath, 1972).

Para la extracción de micronutrientes en suelos, generalmente se hace uso de soluciones ácidas diluidas o de agentes quelatantes en mezcla con los anteriores o en forma individual. Los ácidos diluidos han sido ampliamente utilizados en suelos ácidos mientras que bases como carbonatos y bicarbonatos se usan frecuentemente en suelos alcalinos (Lindsay y Cox, 1985). Los extractantes que contienen quelatos han tenido cierto éxito en suelos normales y calcáreos (Lindsay y Norvell, 1978). Sea cual fuere el extractante utilizado deberá satisfacer tres criterios para ser calificado como buen método: 1) Deberá extraer todo o parte proporcional de la forma o formas disponibles de un nutriente en suelos con propiedades variables; 2) la cantidad de nutriente extractado deberá ser medida con precisión y velocidad razonables y 3) la cantidad extractada deberá correlacionar con el crecimiento y respuesta de cada planta al nutriente en condiciones diversas (Bray, 1948).

Para el caso particular del zinc se han encontrado resultados variables respecto al uso de extractantes y a la determinación de niveles críticos. Wear y Sommer (1948) establecieron que 1 ppm o más de Zn extraído con HCl 0.1 N era suficiente para prevenir síntomas de deficiencia de zinc en el cultivo del maíz. Stewart y Berger (1965), utilizaron sorgo (*Sorghum*

bicolor L. Moench) para comparar los métodos de HCl 0.1 N, ditionone y MgCl₂ 2N y encontraron que los coeficientes de correlación entre el zinc extraído del suelo y el absorbido por las plantas fueron de 0.93, 0.73 y 0.63 respectivamente para los tres métodos en estudio.

Wear y Evans (1968) evaluaron tres extractantes: ácido clorhídrico (HCl) 0.05 N + ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0.025 N; HCl 0.1 N y EDTA 0.05 M a pH 7.0; utilizaron como plantas indicadoras maíz y sorgo sembradas en 12 suelos diferentes y encontraron que el método que mejor correlacionó con el Zn de las plantas fue el del doble ácido, con el cual los valores de "r" fueron 0.89 para maíz y 0.70 para sorgo. Mortvedt (1978), evaluó cuatro extractantes: HCl 0.05 N + H₂SO₄ 0.025 N, EDTA, DTPA, EDDHA para determinar Zn disponible en 85 suelos de Ontario. El Zn extraído por el DTPA y EDTA correlacionó mejor con el Zn absorbido por la planta. Los resultados demostraron que si estos extractantes se usan en suelos ácidos de pH variable, el valor del pH se debe incluir en la ecuación de regresión para obtener una interpretación satisfactoria del Zn disponible.

Gupta y Mittal (1981), establecieron los niveles críticos de Zn para 22 suelos no calcáreos de la India con los extractantes HCl 0.1 N, EDTA + (NH₄)₂CO₃, EDTA - NH₄OAc y DTPA + CaCl₂ + TEA; los niveles fueron respectivamente fijados en 2.2, 0.70, 0.80 y 0.48 ppm para los extractantes indicados. Para la planta indicadora (*Phaseolus aureus* R x b) encontraron una concentración crítica de 19 ppm, seis semanas después de la germinación. Singh *et al* (1987), con base en un ensayo de invernadero con trigo, recomiendan el método del DTPA + CaCl₂ para la determinación de Zn disponible en suelos semi-áridos de la India.

La investigación realizada en Colombia sobre disponibilidad de micronutrientes y evaluación de metodologías para su determinación analítica, es aún insuficiente y por lo tanto no permite una recomendación general sobre la aplicación de un método único para los diferentes suelos y ecosistemas del país. Algunos de los resultados obteni-

dos señalan como método aceptable para la extracción de Zn el de Olsen Modificado que utiliza una solución de NaHCO_3 0.5 N y EDTA 0.01 M ajustado a pH 8.2. Esta recomendación se desprende de investigaciones realizadas por Ortega y Lora (1978) en suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias-Tibatátá, por Villar (1980) en suelos tabacaleros de Santander, por Ruiz (1981) en suelos del departamento del Cauca y por Castillo (1985) en suelos de la cuenca media del río Suárez (Santander y Boyacá). Sin embargo, Molina y Frye (1982), consideran como método promisorio para los análisis de rutina para Fe, Cu y Zn en zonas aldoneras del país, el que utiliza la solución DTPA- CaCl_2 -TEA a pH 7.3. Por su parte Crespo y Jiménez (1987) le confieren buena aceptabilidad al método del DTPA para la extracción de Fe, Mn, Zn y Cu en suelos de las zonas norte y centro del Valle del Cauca.

Con base en las consideraciones anteriores, se planeó esta investigación con los siguientes objetivos:

1. Determinar el contenido de zinc disponible por diferentes métodos de extracción en suelos alcalinos del Valle del Cauca.
2. Determinar el nivel crítico de zinc para los diferentes extractantes en suelos alcalinos del Valle del Cauca.
3. Con base en las correlaciones encontradas entre la concentración de zinc del suelo extraído con los diferentes extractantes y el contenido del mismo nutriente extraído por la planta, determinar los métodos más adecuados para la extracción de zinc disponible en suelos alcalinos del Valle del Cauca.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Suelos

En el Cuadro 1 aparecen la localización geográfica y clasificación taxonómica de los 20 suelos estudiados. La textura y algunas características químicas (ICA, 1989) están contenidas

en el Cuadro 2. El pH varió entre 7.3 y 8.5, con promedio de 8.1; la mayoría de los suelos presentaron contenidos medios de materia orgánica (3-5 %), altos contenidos de fósforo disponible (mayores de 40 ppm), altos en calcio, magnesio y potasio; con excepción de los suelos Udic Pellustert de la finca La Cristalina de Roldanillo y Fluventic Haplustoll de la finca Lúvica de Rozo, los demás se consideran normales en cuanto al nivel de salinidad y porcentaje de sodio; los contenidos de azufre y cobre se consideran altos en todos los suelos; la mayoría de las muestras presentaron contenidos medios de boro y bajos a moderados de hierro y manganeso (ICA, 1981).

2.2 Métodos analíticos

Para la extracción de Zn disponible se utilizaron ocho extractantes: El método de Olsen Modificado según Hunter (1973) que utiliza una solución de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) 0.5 M y EDTA 0.1 M ajustada a pH 8.5, con relación suelo: extractante 1:10 y tiempo de agitación de 10 minutos. El método de bicarbonato de amonio (NH_4HCO_3) 1M y DPTA 0.005M, ajustado a pH 7.6, con relación suelo: solución de 1:2 y agitación por 15 minutos (Soltanpur y Schwab 1977). EDTA 0.01M y carbonato de amonio (NH_4) $_2$ CO $_3$ 1M, ajustado a pH 8.6, con relación suelo:solución de 1:2 y tiempo de agitación de 30 minutos (Trierweiler y Lindsay, 1969). DPTA 0.005M + trietanol amina (TEA) 0.1M + CaCl_2 0.01M, ajustado a pH 7.3, con relación suelo:solución de 1:2 y tiempo de agitación por dos horas (Lindsay y Norvell, 1978). Método de Carolina del Norte que emplea una solución de HCl 0.05N + H_2SO_4 0.025N, con relación suelo:solución de 1:4 y agitación por 20 minutos (Tucher, 1955). Método del HCl 0.1N con relación suelo:solución de 1:10 y 20 minutos de agitación (Thompson citado por Lindsay y Cox, 1985). Método del HCl 0.05N con relación suelo:solución de 1:2 y tiempo de agitación por 5 minutos (Ponamperuma, 1981). EDTA 0.05M ajustado a pH 7.0 con relación suelo:solución de 1:4 y agitación por 15 minutos (Wear y Evans, 1968).

Cuadro 1

Localización de los sitios de muestreo y clasificación taxonómica de los 20 suelos estudiados

Suelo	Ciudad	Hacienda	Clasificación Taxonómica
1	Roldanillo	Grecia	Pachic Haplustoll
2	Roldanillo	Mocoa Occ.	Fluventic Haplustoll
3	Roldanillo	El Diamante	Fluvaquentic Ustropept
4	Roldanillo	La Cristalina	Udic pellustert
5	Tuluá	La Rafaela	Typic Pellustert
6	Buga	Chambimbal	Typic Ustropept
7	Guacarí	Las Vegas	Typic Pellustert
8	Buga	Santa Clara	Typic Pellustert
9	Yumbo	Socal 9	Typic Pellustert
11	Pradera	La Esperanza	Fluventic Haplustoll
12	Yumbo	Arroyohondo	Fluvaquentic Ustropept
13	Yumbo	Piles	Typic Ustropept
14	Palmira	El Guayabal	Typic Pellustert
15	Palmira	ICA	Pachic Haplustoll
16	Yumbo	Socal IA	Vertic Tropic Fluvaquent
17	Yumbo	Socal IC	Typic Pellustert
18	Rozo	Algarrobo	Fluvaquentic Haplustoll
19	Rozo	Miraflores	Udic Pellustert
20	Rozo	Luvica	Fluventic Haplustoll

Cuadro 2
Textura y características químicas de los suelos estudiados

Características	Suelos																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
pH	8.3	8.3	8.5	8.5	8.1	7.8	8.1	8.2	8.2	8.5	8.2	7.7	8.3	8.0	7.3	7.5	7.7	8.5	7.9	7.8
M.O. (%)	3.5	2.2	2.4	2.4	3.2	3.7	3.5	3.5	4.1	2.0	4.1	3.2	3.7	3.2	3.5	3.7	3.5	3.1	4.1	4.4
P(ppm)	46.3	149.3	14.0	49.0	126.1	462.5	36.5	41.2	24.4	21.6	19.0	3.9	32.2	75.8	66.1	16.5	13.3	78.8	73.8	62.0
k (me/100g)	0.78	1.36	0.56	0.56	1.25	4.62	0.39	0.90	1.05	0.68	0.25	0.26	0.40	0.80	0.56	0.22	0.35	0.46	1.25	0.98
Ca (me/100g)	23.8	23.6	17.8	20.5	16.5	7.8	22.9	20.1	32.5	54.6	21.0	27.1	22.2	12.6	9.6	12.7	21.2	17.7	22.3	11.3
Mg (me/100g)	13.8	14.3	10.9	9.0	10.2	9.3	14.7	35.2	8.6	10.8	3.3	14.9	5.5	5.5	7.0	5.3	11.4	5.6	15.0	8.4
Na (me/100g)	0.46	0.52	0.29	4.56	0.30	0.26	0.26	0.81	0.23	1.40	0.12	0.17	0.52	0.25	0.15	0.21	1.14	0.20	0.84	2.39
ClC (me/100g)	38.8	39.4	29.5	34.6	28.3	21.9	38.2	57.0	42.4	67.5	24.7	42.4	28.6	19.1	17.3	18.4	34.1	23.9	39.4	23.1
CE (dS/m)	1.0	0.8	0.6	6.1	1.0	1.4	0.6	0.6	0.6	0.6	1.4	0.6	0.8	0.5	0.5	0.4	0.3	0.5	0.6	3.6
Na (%)	1.2	1.3	1.0	13.2	1.1	1.2	0.7	1.4	0.5	2.0	0.5	0.4	1.8	1.3	0.8	1.1	3.3	0.8	2.1	10.4
Fe (ppm)	5.4	7.9	5.1	5.5	15.8	29.5	5.9	5.2	7.8	6.1	33.5	6.3	20.5	15.9	78.6	54.6	17.8	10.9	4.9	8.0
B (ppm)	0.82	0.63	0.26	0.85	0.44	1.13	0.26	0.30	0.54	0.44	0.26	0.63	0.44	0.26	0.44	0.73	0.31	0.18	0.26	0.54
Cu (ppm)	5.0	5.7	4.6	6.9	11.2	3.2	9.6	4.9	8.0	2.1	16.0	8.2	10.6	10.4	10.2	9.8	9.0	17.4	8.0	10.0
Mn (ppm)	10.1	5.8	5.9	3.7	19.2	24.1	8.9	12.1	8.0	5.9	11.2	20.8	12.0	13.5	27.1	27.8	9.8	6.4	4.1	8.6
S (ppm)	23.3	18.4	13.8	513.4	44.2	57.5	18.4	17.5	21.3	16.5	42.8	14.8	16.5	18.3	14.8	14.8	13.7	16.5	16.5	311.8
Arena (%)	35.14	24.33	28.95	16.67	29.32	60.74	22.05	27.38	21.20	53.30	29.69	37.16	25.54	37.18	45.60	35.24	13.98	24.09	15.31	50.52
Limo (%)	44.86	47.57	46.32	39.25	38.22	28.79	45.70	27.93	43.48	32.97	58.86	36.17	36.17	46.07	44.04	38.86	57.64	54.97	40.98	40.81
Arcilla (%)	20.00	28.10	24.73	44.08	32.46	10.47	32.25	44.69	35.32	12.73	11.45	28.41	38.29	16.75	10.36	25.90	48.38	20.94	43.71	8.67
Textura	F	F	F	Ar	F	FA	F	Ar	F	FA	FL	F	F	F	F	F	Ar	FL	ArL	F

El Zn extractable se determinó antes de la siembra. La valoración cuantitativa del nutrimento se efectuó por absorción atómica.

Al tejido foliar cosechado se le determinó el contenido total de zinc por dos métodos de digestión húmeda: el primero que utiliza una mezcla de ácido nítrico-perclórico en proporción de 2:1 (Salinas y García, 1985) y el segundo que se fundamenta en una mezcla de metanol y ácido sulfúrico en proporción de 4:1 respectivamente. Esta solución en mezcla con peróxido de hidrógeno y ácido perclórico se utiliza en dos digestiones consecutivas hasta completar la mineralización de la muestra de tejido (Hunter, 1973). La cuantificación del nutrimento se efectuó por absorción atómica.

2.3. Ensayo de invernadero

Se utilizó un diseño completamente al azar en un arreglo de parcelas divididas, con seis tratamientos y cuatro repeticiones, correspondiendo las parcelas principales a los suelos y las subparcelas a los tratamientos.

Se aplicaron niveles de 0, 4, 8, 12, 16 y 20 kg/ha de Zn en forma de quelato EDTA-Zn del 14 %. Los tratamientos se aplicaron diez días después de la emergencia de las plantas. Se utilizó como planta indicadora el sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) híbrido comercial Pioneer 8239. Además de los tratamientos indicados todas las unidades experimentales recibieron una fertilización básica en las dosis requerida de N, P₂O₅, K₂O, Fe y Mn, de acuerdo con las necesidades nutricionales del cultivo y de las características de fertilidad de cada suelo.

El ensayo se efectuó en materos plásticos con 2.0 kilogramos de suelo seco al aire, molido y tamizado para pasar malla de 4 mm. Se sembraron 10 semillas y a los ocho días después de la emergencia se efectuó un raleo, dejando cinco plantas por pote. Las plantas se cosecharon a los 60 días después de la germinación, se lavaron con agua desmineralizada se secaron en estufa a 70°C hasta peso constante. Posteriormente se les

determinó peso seco y se molieron para ser analizadas.

2.4. Métodos estadísticos

Para evaluar las técnicas de extracción del nutrimento se utilizó el análisis de correlación entre la cantidad de Zn extraída del suelo por ocho métodos de extracción y la concentración de Zn en el tejido foliar extraída por dos métodos de digestión.

Como parámetro para evaluar la disponibilidad y respuesta de Zn se utilizó el rendimiento relativo, que se calculó como:

$$\frac{\text{Rendimiento sin aplicación de Zn}}{\text{Rendimiento con el nivel óptimo de Zn}} \times 100$$

Se utilizó también el sistema gráfico de Cate y Nelson (1965) para determinar los niveles críticos de Zn tanto en el suelo como en la planta, graficando los valores de rendimiento relativo contra el Zn extractable del suelo y la concentración de Zn en el tejido foliar.

Se utilizó también el análisis de varianza para evaluar el efecto de los tratamientos aplicados sobre el rendimiento de materia seca y concentración foliar de Zn en la planta.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Contenido de zinc disponible en los suelos estudiados

La secuencia en eficiencia de extracción de zinc disponible fue: HCl 0.1N > EDTA 0.05M > (NH₄)₂CO₃ + EDTA > NaHCO₃ + EDTA > DPTA + CaCl₂ + TEA = NH₄HCO₃ + DTPA = HCl 0.05N + H₂SO₄ 0.025N (Carolina del Norte) > HCl 0.05N (Cuadro 3).

Con pocas excepciones los métodos presentaron correlaciones positivas y altamente significativas entre sí, obteniéndose la mejor correlación entre el método de DTPA + CaCl₂ + TEA y el NH₄HCO₃ + DTPA con un valor de r = 0.971

Cuadro 3

Contenido de Zinc disponible (ppm) en suelos alcalinos del Valle del Cauca determinado por varios métodos de extracción. (Promedio de tres repeticiones)

Suelo	EDTA NaHCO ₃	EDTA (NH ₄) ₂ CO ₃	EDTA 0.05M	DPA CaCl ₂ -TEA	DTPA NH ₄ HCO ₃	HCL H ₂ SO ₄	HCL 0.1	HCL 0.05
1	3.50	5.00	4.40	2.00	2.10	1.76	7.3	0.38
2	2.80	4.60	6.04	2.60	2.40	1.68	6.3	0.28
3	1.90	1.82	2.24	1.24	1.10	1.16	4.8	0.32
4	1.90	2.40	2.76	1.30	1.34	0.40	4.9	0.18
5	3.50	4.94	9.20	2.90	3.34	4.36	9.5	1.70
6	6.90	5.80	2.92	4.90	4.60	3.64	35.0	1.26
7	2.80	3.68	5.36	2.62	2.84	2.00	8.0	0.30
8	1.80	3.04	3.48	1.96	1.68	0.84	4.4	0.42
9	2.70	4.86	5.20	2.80	2.90	1.64	5.8	0.34
10	1.80	2.00	2.84	1.64	1.06	0.60	3.0	0.16
11	2.40	3.48	4.00	2.10	2.08	2.76	8.3	0.36
12	2.30	2.80	4.12	2.12	1.84	1.88	6.0	0.64
13	2.60	4.00	5.64	2.84	2.68	3.12	9.0	0.46
14	3.40	4.62	5.60	2.76	3.52	6.88	7.0	0.98
15	3.50	5.40	6.16	3.58	3.84	3.12	6.9	1.22
16	3.80	6.80	8.48	7.00	7.12	8.00	8.8	1.88
17	3.10	4.80	6.00	3.20	3.42	3.04	8.1	0.80
18	2.60	3.66	4.92	2.72	2.34	4.20	12.4	0.42
19	2.80	4.04	6.64	2.78	3.34	1.80	7.5	0.42
20	2.50	3.54	4.72	2.32	2.32	2.20	6.2	0.24
Promedio	2.9	4.1	5.0	2.8	2.8	2.8	8.5	0.64
Rango	1.8-6.9	1.82-6.80	2.24-9.20	1.24-7.0	1.06-7.12	0.40-8.0	3.0-35.0	0.16-1.88

Cuadro 4
 Coeficiente de correlación entre métodos de extracción para zinc

Extractante	NaHCO ₃ + EDTA	(NH ₄) ₂ CO ₃ +EDTA	EDTA 0.05M	DTPA +CaCl ₂ TEA	NH ₄ HCO ₃ +DTPA	HCL 0.05N + H ₂ SO ₄ 0.25N	HCL 0.1 N	HCL 0.05 N
NAHCO ₃ + EDTA	1.000	0.744**	0.202 ns	0.681**	0.671**	0.485*	0.891**	0.628**
(NH ₄) ₂ CO ₃ + EDTA		1.000	0.674**	0.845**	0.886**	0.689**	0.453*	0.736**
EDTA 0.05 M			1.000	0.563**	0.665**	0.621**	- 0.076 ns	0.646**
DTPA				1.000	0.971**	0.760**	0.501*	0.789**
NH ₄ HCO ₃ + DTPA					1.000	0.808**	0.433**	0.823**
HCL 0.05N + H ₂ SO ₄ 0.025N						1.000	0.290 ns	0.782**
HCL 0.1 N							1.000	0.395 ns
HCL 0.05 N								1.000

* Significativo: (P < 0.05)

** Altamente significativo: (P < 0.01)

ns: No significativo: (P > 0.05)

(Cuadro 4).

3.2. Respuesta a la aplicación de zinc

El Cuadro 5 muestra el efecto de los tratamientos de Zn sobre el rendimiento de materia seca del sorgo. El análisis de varianza mostró que no hubo diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, lo cual también pudo confirmarse con la comparación estadística entre promedios mediante la prueba de Duncan. Al respecto, es posible que el requerimiento de Zn sea más crítico para incrementar la producción final de grano que para la producción de materia seca; hacia este mismo criterio se enfoca el concepto de Polar, citado por Marschner (1986), quien recalca la necesidad de corregir las deficiencias de Zn para mejorar el rendimiento de grano y semilla. Es posible también que ocurra un mecanismo de adaptación a contenidos bajos de zinc. En este sentido Kannan y Ramani (1982) encontraron que la planta de sorgo adoptaba mecanismos de respuesta a la deficiencia de zinc: las raíces que crecían deficientes en zinc, excretaban H^+ para reducir el pH de la solución nutritiva, la cual cesaba cuando a la solución se le agregaba zinc.

De otra parte, es posible que la no respuesta del sorgo a la aplicación de zinc se explique debido a que el contenido de zinc en los suelos era suficiente para el desarrollo del cultivo durante los primeros 60 días de su ciclo vegetativo, más si se tiene en cuenta que las plantas no presentaron síntomas característicos de carencia de zinc en ninguna de las unidades experimentales. Esta consideración se apoya con los niveles críticos obtenidos (Figuras 1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 1f, 1g, y 1h) por cada método en estudio, cuyos valores están por debajo de los promedios de Zn extractable (Cuadro 3) determinado antes de establecer el ensayo de invernadero.

Aún cuando no se obtuvieron diferencias significativas entre el testigo y los demás tratamientos, se escogió el tratamiento de 4 kg/ha de Zn para obtener los valores de rendimiento relativo, se graficaron contra el contenido de zinc del suelo extractado por diferentes métodos para determinar los niveles críticos (Fig. 1).

El nivel crítico de Zn para el método de $NaHCO_3 + EDTA$ (Olsen Modificado) está por debajo de 1.8 ppm. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Molina y Frye (1982) quienes afirman que existe alta probabilidad de deficiencia para valores menores de 1.2 ppm y consideran que 1.9 ppm de Zn por este método es adecuado. Por su parte Lora, citado por Lindsay y Cox (1985), sugiere un nivel crítico de 1.5 ppm.

Para el método de $DTPA + CaCl_2 + TEA$ el nivel crítico se encuentra por debajo de 1.2 ppm. Niveles críticos muy próximos a este valor por este método son comunicados por Randhawa y Takkar (1975) y Mortvedt (1978).

El nivel crítico para el método de $(NH_4)_2CO_3 + EDTA$ está por debajo de 1.8 ppm. Este mismo nivel se obtuvo por Singh y colaboradores (1987) para el 21 suelos alcalinos de la India. Trierwelier y Lindsay (1969) sugieren un nivel crítico de 1.4 ppm.

El nivel crítico para el método de $NH_4HCO_3 + DTPA$ se encuentra por debajo de 1.0 ppm. La alta correlación encontrada entre los valores de zinc disponible por este método y los del $DTPA + CaCl_2 + TEA$ (0.973**) sugiere que los niveles críticos de ambos métodos son similares.

La cantidad de zinc extractada por el método del EDTA 0.05M es prácticamente el doble de la extractada con la soluciones de $DTPA + CaCl_2 + TEA$ y $NH_4HCO_3 + DTPA$. Este extractante fue el más fuerte entre los agentes complejantes utilizados. Su nivel crítico está por debajo de 2.2 ppm.

El nivel crítico para el método del doble ácido (Carolina del Norte) está por debajo de 1.0 ppm. Este valor concuerda con el de León y colaboradores, citados por Lindsay y Cox (1985), quienes señalan a 1.0 ppm como nivel crítico para este método. Por su parte Lora (1981), fija un nivel crítico de 0.5 ppm.

El método de HCl 0.1 N fue la solución que más zinc extrajo. Similar eficiencia a este extrac-

Cuadro 5

Efecto de la aplicación de zinc sobre la producción de materia seca (g/pote) en plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) sembradas en 20 suelos alcalinos del Valle del Cauca

Suelo	Niveles de Zinc aplicado (kg/ha)						\bar{X}	Rend. relativo
	0	4	8	12	16	20		
1	9.48	9.88	8.45	8.94	9.62	9.61	9.33	95.9
2	4.39	4.24	5.15	4.24	3.86	4.29	4.36	103.5
3	7.57	6.52	7.36	7.10	6.62	6.99	7.03	116.0
4	3.92	3.38	3.92	4.32	4.09	3.20	3.81	115.9
5	17.76	15.59	17.45	17.67	17.72	16.62	17.14	113.9
6	20.63	21.02	19.94	20.75	20.06	21.36	20.63	98.1
7	15.56	16.58	14.02	14.38	16.09	15.57	15.35	93.2
8	19.46	21.42	18.91	19.40	19.44	18.40	19.51	90.8
9	15.98	18.19	17.10	16.65	15.15	17.09	16.69	87.8
10	8.94	8.66	9.80	8.73	8.89	9.53	9.09	103.1
11	16.05	14.99	13.02	15.43	17.21	15.20	15.32	107.0
12	13.71	15.30	14.32	16.08	14.81	14.43	14.78	89.5
13	14.25	13.18	14.11	14.17	13.85	12.99	13.76	108.0
14	19.59	20.23	20.56	20.11	20.67	21.40	20.43	96.8
15	8.94	9.73	9.69	9.09	8.50	9.66	9.27	91.9
16	14.68	13.73	13.82	13.62	13.22	13.42	13.75	106.8
17	12.93	14.33	13.63	13.48	16.00	14.47	14.14	90.2
18	17.32	16.65	15.89	17.25	16.66	17.16	16.82	104.0
19	18.19	17.37	19.61	20.04	19.43	18.95	18.93	104.6
20	18.53	18.09	18.56	18.76	17.96	18.13	18.34	102.4
\bar{X}	13.89	13.95	13.77	14.01	13.99	13.92		
	a	a	a	a	a	a		
Rango	3.92	3.38	3.92	4.24	3.86	3.20		
	20.63	21.42	20.56	20.75	20.67	21.40		

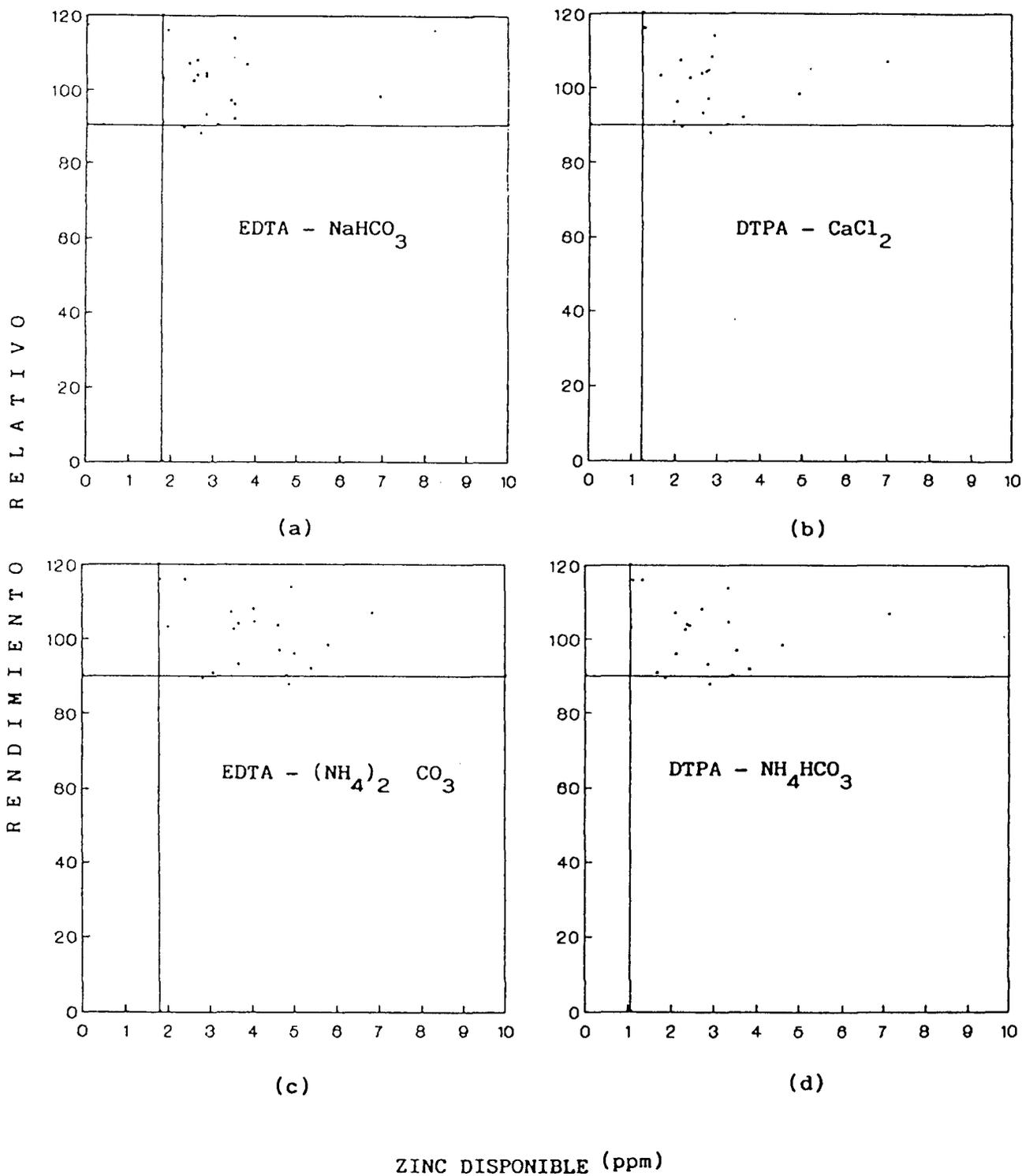


Fig. 1. Relación entre el zinc disponible en el suelo por varios métodos de extracción y el rendimiento relativo

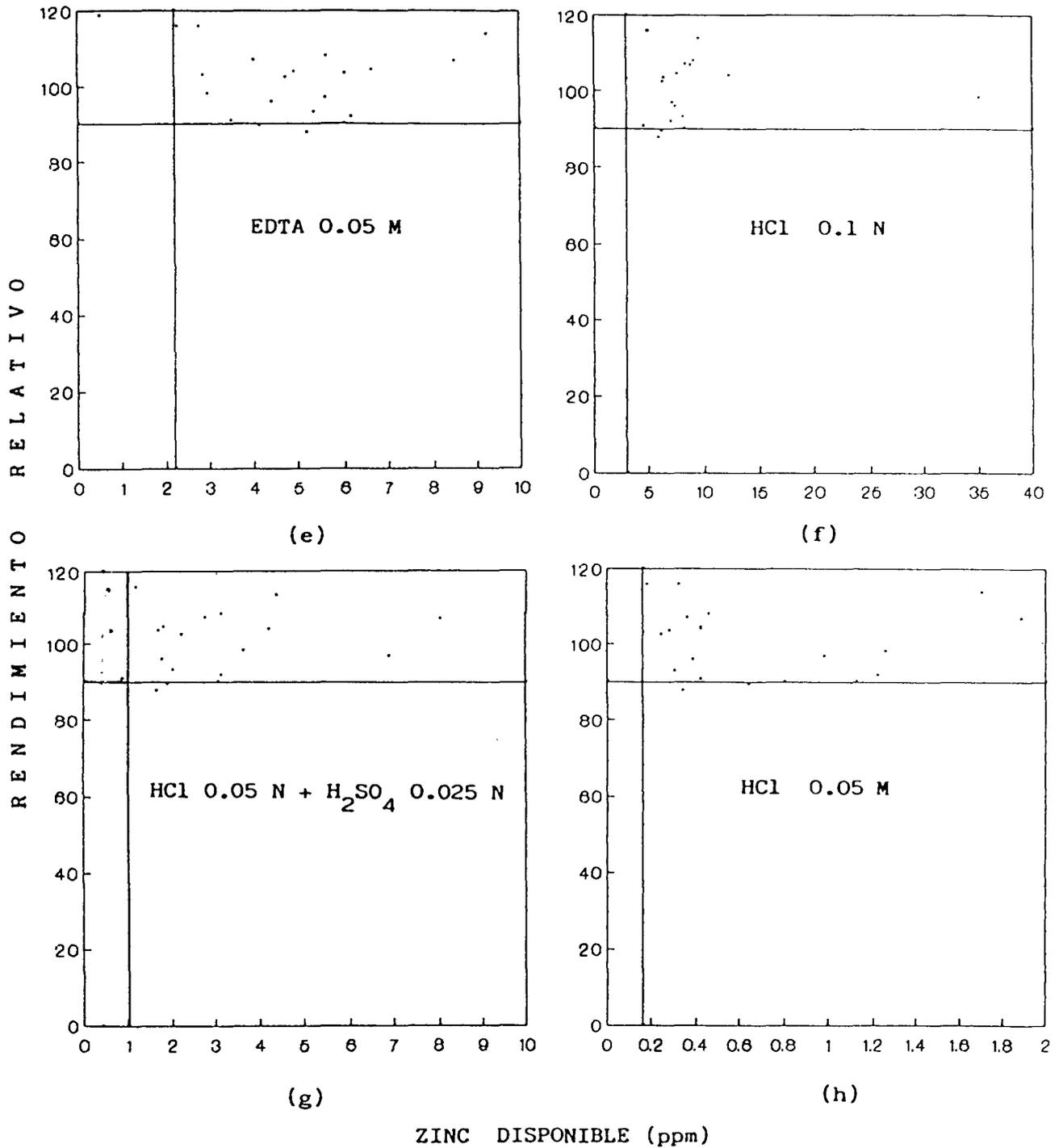


Fig. 1. (Continuación)

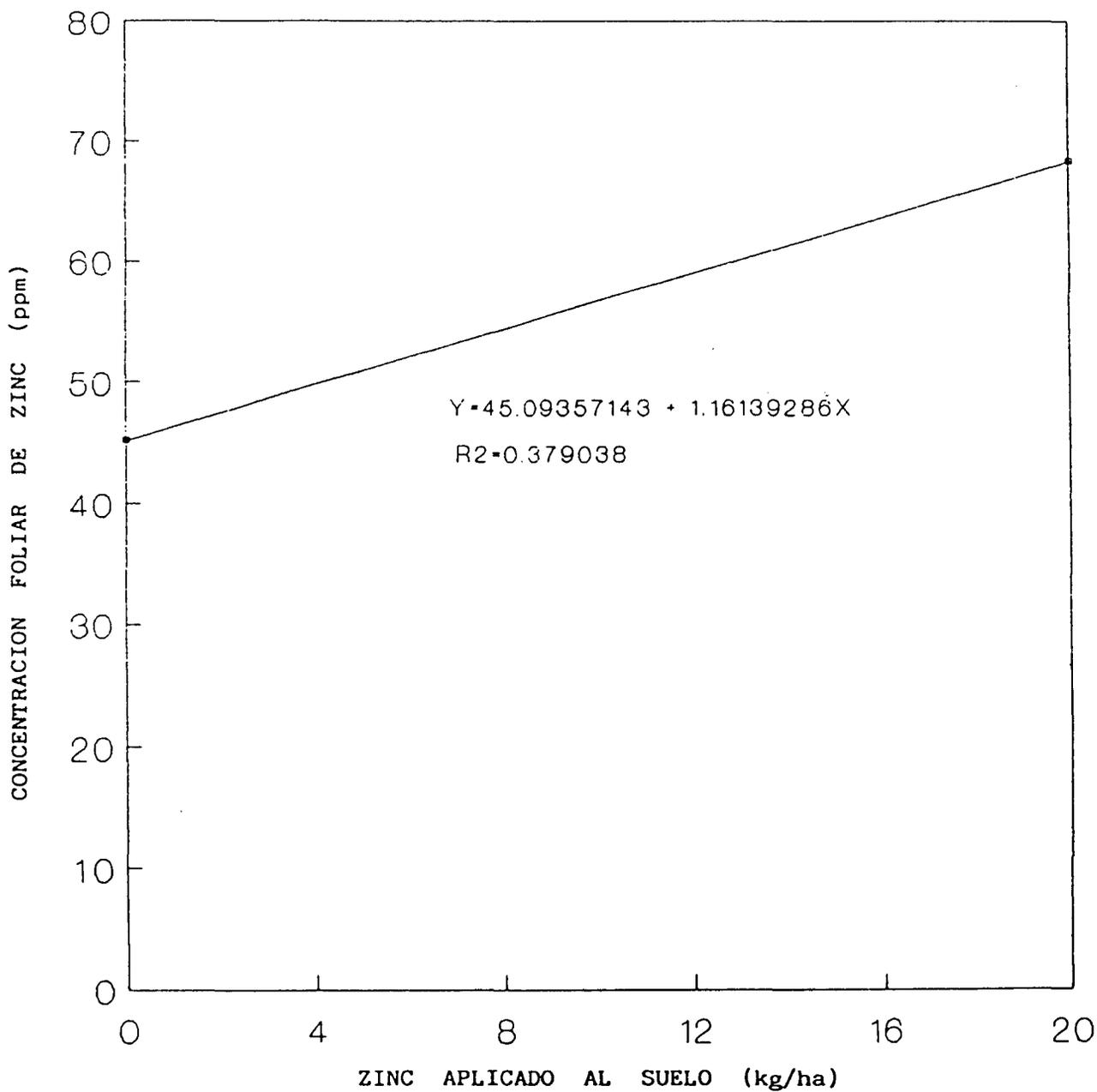


Fig. 2. Efecto de la aplicación de zinc sobre concentración foliar de zinc en plantas de sorgo.

tante le confieren Molina y Frye (1982), Crespo y Jiménez (1987) en trabajos realizados con suelos del Valle del Cauca. El nivel crítico obtenido está por debajo de 3.0 ppm. Para otras regiones tropicales del mundo se han encontrado niveles críticos de Zn que oscilan entre 1.25 y 2.20 ppm, con este extractante; así se desprende de investigaciones realizadas por Gupta y Mittal (1981), Thompson, citado por Lindsay y Cox (1985), y Singh y colaboradores (1987).

Finalmente para el método del HCl 0.05 N el nivel crítico estuvo por debajo de 0.15 ppm. Este extractante presentó la menor eficiencia en extracción de Zn. Ponnampertuma (1981) no lo recomienda para suelos alcalinos pero lo considera adecuado para suelos ácidos, estableciendo como nivel crítico 1.0 ppm.

3.3. Concentración foliar de zinc en la planta indicadora

Las dos soluciones de digestión extrajeron cantidades similares de zinc (Cuadro 6). Se encontraron coeficientes de correlación "r" positivos y altamente significativos entre estos dos métodos, con valores de 0.652, 0.788, 0.920, 0.958, 0.975 y 0.957 respectivamente para los tratamientos de 0, 4, 8, 12, 16 y 20 kg/ha de Zn, (Cuadro 7), los cuales soportan la posibilidad de elegir uno u otro método para la determinación de zinc en plantas de sorgo. Una asociación similar es informada por Crespo y Jiménez (1987) para el mismo cultivo.

La aplicación de zinc aumentó significativamente la concentración foliar de zinc en la planta indicadora (Fig. 2). De otra parte, en el análisis de varianza para la variable concentración se encontraron diferencias significativas para los suelos, los tratamientos y para la interacción suelos por tratamientos.

Tomando como referencia el rango de 25 a 150 ppm de Zn, establecido como suficiente para la parte aérea de la mayoría de las plantas (Benton, 1972) y con base en los resultados del Cuadro 6, se puede inferir que el cultivo de sorgo estuvo bien provisto de este nutrimento aún en las unidades experimentales que no

recibieron adición de Zn, lo cual corrobora que los suelos posiblemente presentaban un nivel adecuado de este nutrimento.

Las Figuras 3a y 3b muestran la relación entre la concentración de Zn y el rendimiento relativo para los dos métodos de digestión. Los niveles críticos encontrados están por debajo de 40 ppm. Marschner (1986) considera que concentraciones entre 15 y 20 ppm de Zn son adecuadas para el cultivo del sorgo.

3.4. Evaluación de los métodos de extracción

La correlación entre la concentración foliar de Zn y el Zn extraído del suelo por cada uno de los métodos se presenta en el Cuadro 7. Se encontraron correlaciones positivas y altamente significativas para los métodos de Olsen Modificado, DTPA + CaCl₂ + TEA y HCl 0.1 N. Resultados similares con estos métodos y el mismo cultivo obtuvieron Molina y Frye (1982), Crespo y Jiménez (1987) en suelos con pH variable. Igualmente Castillo (1985) le confiere aceptable confiabilidad al método de Olsen Modificado para la determinación de zinc en suelos de la cuenca media del río Suárez (Santander y Boyacá) con rango de pH de 5.3 a 6.9. Por agilidad en el procedimiento analítico, economía de reactivos y facilitar la determinación simultánea de otros nutrimentos el método de Olsen Modificado resulta en la práctica ser más recomendable que los otros dos.

Para el método de NH₄HCO₃ + DTPA se encontró un valor de correlación positivo y significativo. En los demás métodos los coeficientes de correlación fueron positivos pero no significativos.

4. CONCLUSIONES

- 4.1. Los niveles críticos de zinc en el suelo para los métodos de extracción estuvieron por debajo de los siguientes valores: Olsen Modificado (1.8 ppm), (NH₄)₂CO₃ + EDTA (1.8 ppm), DTPA + CaCl₂ + TEA (1.2 ppm); NH₄HCO₃ + DTPA (1.0 ppm), EDTA 0.05M (2.2 ppm), Doble Acido (1.0 ppm), HCl 0.1 N (3.0

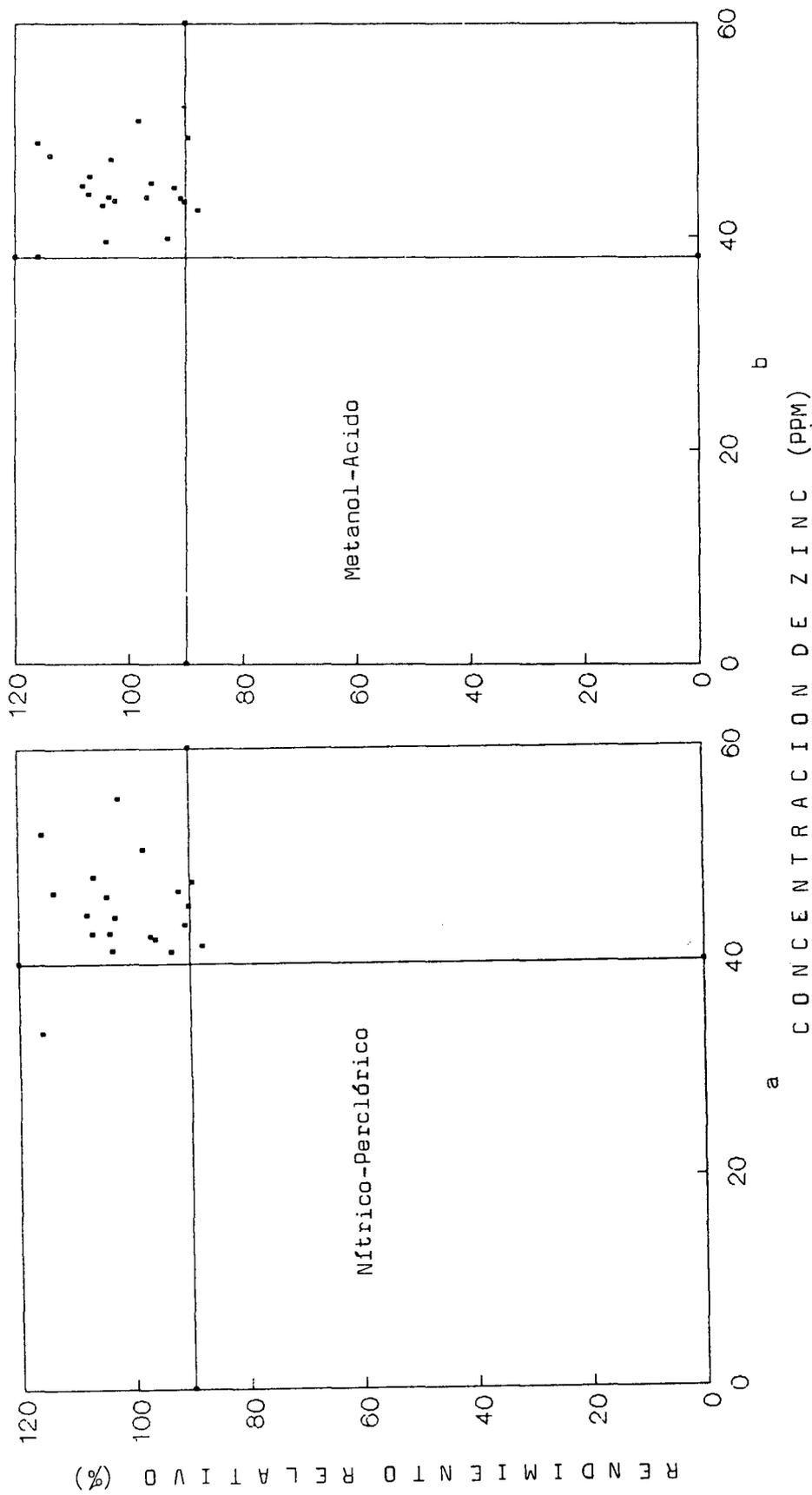


Fig. 3. Relación entre la concentración foliar de zinc por dos métodos de digestión y el rendimiento relativo

Cuadro 6

Efecto de aplicación de zinc sobre la concentración foliar de zinc (ppm) en plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) sembradas en 20 suelos alcalinos del Valle del Cauca

Suelo	Niveles de zinc aplicado (kg/ha)										\bar{X}	
	0	4	8	12	16	20	20	20	20	20		
1	42.3*	44.9	54.9	63.4	61.2	74.9	69.8	75.8	70.3	83.5	74.1	65.5
2	41.1	43.6	48.6	58.9	52.8	59.8	59.9	68.5	64.1	80.9	75.7	69.6
3	33.5	38.0	53.8	61.3	58.1	68.9	62.7	77.1	70.5	85.3	73.5	69.5
4	52.0	48.7	66.0	60.7	75.8	75.8	77.5	93.8	86.7	94.5	87.2	71.9
5	46.5	47.5	44.6	47.8	51.3	50.6	49.0	55.5	53.7	57.65	58.6	50.5
6	50.5	50.8	55.5	65.1	67.6	80.8	74.7	79.8	73.6	90.9	87.7	69.6
7	41.0	39.8	47.6	44.4	48.6	46.4	51.0	47.8	49.4	57.9	56.1	49.9
8	43.5	43.5	49.1	48.0	50.7	54.3	50.8	56.8	54.3	59.9	57.3	52.4
9	41.5	42.4	46.4	51.1	46.5	48.6	50.5	50.8	51.4	53.5	51.5	47.9
10	44.3	47.1	52.1	54.0	50.6	60.6	59.8	61.5	70.8	65.3	70.6	58.8
11	42.8	43.9	49.1	50.3	49.9	58.3	60.6	57.4	61.2	66.3	63.0	54.2
12	47.5	49.2	47.1	48.1	48.9	51.2	54.0	54.9	54.8	57.4	57.1	51.8
13	44.5	44.7	42.1	45.0	49.1	47.6	46.1	56.3	56.5	56.9	56.0	49.4
14	42.5	43.6	47.8	45.9	45.3	48.0	46.3	52.6	54.5	60.5	61.1	49.3
15	46.6	44.5	51.4	47.8	59.1	51.6	59.3	62.3	58.8	69.8	58.6	58.1
16	48.0	45.5	52.0	50.5	48.4	52.5	50.7	57.6	53.4	65.1	54.9	50.6
17	45.3	43.2	49.6	45.4	44.0	44.4	43.9	56.5	48.9	53.8	46.6	44.9
18	42.8	39.4	43.9	46.0	50.3	53.9	46.8	55.5	50.7	62.1	53.4	46.7
19	46.1	42.8	42.4	38.6	41.7	48.0	43.5	49.9	49.3	49.5	49.3	47.1
20	55.3	43.3	61.3	54.2	72.9	61.4	80.8	87.5	82.2	90.5	89.2	66.9
\bar{X}	44.9	44.3	50.2	50.1	54.5	52.1	58.6	55.9	63.5	60.8	68.6	64.1

Cuadro 7

Coefficiente de correlación entre la concentración foliar de zinc en sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) y el zinc disponible en los 20 suelos estudiados

Extractante	r	
	Nitrato perclorico	
Olsen Modificado	0.991**	
(NH ₄) ₂ CO ₃ + EDTA	0.922 ns	
EDTA 0.05 M	0.525 ns	
DTPA + CaCl ₂ + TEA	0.999**	
NH ₄ HCO ₃ + DTPA	0.982*	
Doble ácido	0.909 ns	
HCl 0.1 N	0.992**	
HCl 0.05 N	0.892 ns	

** Altamente significativo (P < 0.01)

* Significativo (P < 0.05)

ns (P > 0.05)

ppm) y HCl 0.05 M (0.15 ppm).

- 4.2. No se encontró respuesta a la aplicación de zinc en el rendimiento de materia seca pero si en la concentración y absorción foliar de este elemento.
- 4.3. La concentración foliar de zinc está en el rango normal establecido para este elemento.
- 4.4. Las correlaciones positivas y altamente significativas encontradas entre la concentración de zinc por los métodos de digestión utilizados, permiten establecer que ambas mezclas son adecuadas para la determinación de zinc en tejidos, siendo en la practica más aceptable por economía y agilidad el método de la mezcla nítrico-perclórica.
- 4.5. Con base en los análisis de correlación encontrados entre los contenidos de zinc en el suelo y la concentración de zinc en la planta, se puede establecer que los métodos más promisorios para evaluar zinc en suelos alcalinos del Valle del Cauca son en su orden DTPA, Olsen Modificado y HCl 0.1 N.

5. BIBLIOGRAFIA

1. BENTON, J. J. Jr. Plant tissue analysis for micronutrients. En: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (ed). Micronutrients in agriculture; Zn, Fe, B, Mo, Cu, Mn. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, 1972. p. 319-341.
2. BRAY, R. H. Correlation of soil test with crop response to added fertilizer and with fertilizers requirements. p. 58-86. En: KITCHEN, H.B. (ed). Diagnostic techniques for soils and crops. Amer. Potash Inst, 1948.
3. CASTILLO, L. E. Disponibilidad de micronutrientos en cinco suelos de la cuenca media del río Suárez (Santander, Boyacá) Bogotá: ICAUN, 1985. 167 p. (Tesis M.Sc.).
4. CATE, R. B. and NELSON, L. A. A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. Int. Soil Testing Series Tech. Bull. 1. North Carolina State Univ, 1965.
5. COX, F. R. and KAMPRATH, E. J. Micronutrient soil test. En: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M. and LINDSAY, W. L. (ed). Micronutrients in Agriculture. Madison: Soil Sci. Soc. Amer. 1972. p: 289-317.
6. CRESPO, C. y JIMENEZ, D. Evaluación de algunos métodos para la extracción de los micronutrientos B, Fe, Mn, Zn y Cu en suelos de las zonas norte y centro del Valle del Cauca. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 1987. 102 p. (Tesis Ing. Agr.).
7. GUPTA, V. K. and MITTAL, S. B. Evaluation of chemical methods for estimating available zinc and response of green gram (*Phaseolus aureus* Roxb) to applied zinc in non calcareous soils. En: Plant and Soil. Vol. 63 No. 3. (1981). p. 477-484.
8. HUNTER, A. Methods commonly used for routine soil analysis in cooperating countries. North Carolina State University, International Soil Fertility Evaluation and Improvement Project, 1973. 12 p.
9. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Fertilización en diversos cultivos. Cuarta aproximación. Bogotá: ICA, 1981. 56 p. (Manual de Asistencia Técnica No. 25).
10. _____ . El análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá: ICA. 1989. 253 p. (Manual de Asistencia Técnica No. 47).
11. KANNAN, S. and RAMANI, S. Zinc stress response in some sorghum hybrids and parent cultivars: significance of pH reduction and recovery from chlorosis. En: J. Plant Nutrition. Vol. 5. (1982). p 219-227.
12. LINDSAY, W. L. and COX, F. R. 1985. Micronutrient soil testing for the tropics. In: VLEK, D. (ed). Micronutrients in Tropical Food Crop Production. Martinus N./Junk W. Publishers, 1985. p. 169-200.
13. _____ and NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. En: Soil Sci. Soc. Amer. J. Vol. 42 No. 2 (1978); p. 421-428.
14. LORA, R. Niveles críticos para elementos menores en los suelos. Bogotá: ICA, 1981. p. 32-35.
15. MARSCHNER, H. Mineral Nutrition in Higher

- Plants. New York: Academic Press, 1986. p. 300-312.
16. MOLINA, G. C. y FRYE, C. A. Selección y calibración de métodos químicos para la evaluación de elementos menores catiónicos en suelos algodoneros de Colombia. En: Suelos Ecuatoriales (Colombia). Vol 12. No. 1 (1982); p. 200-211.
 17. MORVEDT, J. J. Micronutrient soil testing for the United States. En: Suelos Ecuatoriales (Colombia). Vol. 9 No. 2 (1978); p. 165-170.
 18. ORTEGA, E. J. y LORA, S. R. Disponibilidad de micronutrientes en varias series de suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá. En: Suelos Ecuatoriales (Colombia). Vol 9, No. 2 (1978); p. 201-206.
 19. PONNAMPERUMA, F. N.; CAYTON, M. T. and LANTIN, R. S. Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper, and boron in rice soils. En: Plant and Soil. Vol. 61, No.3 (1981); p. 197-210. 1981.
 20. RANDHAWA, N. S. and TAKKAR, P. N. Micronutrient research in India. En: Fertilizer News. Vol. 20 (1975); p. 11-19.
 21. RUIZ, C. Respuesta de tres suelos del Departamento del Cauca a la aplicación de elementos menores. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 1981. 102 p. (Tesis Ing. Agr.).
 22. SALINAS, J. y GARCIA, R. Métodos químicos para suelos ácidos y plantas forrajeras. Cali: CIAT, 1985. 50 p.
 23. SINGH, K.; SHUKLA, U. C. and KARWASRA, S. P. Chemical assessment of the zinc status of some soils of the semi-arid region India. En: Fertilizer Research. Vol. 13 (1987); p. 191-197.
 24. SALTANPOUR, P. N. and SCHWAB, A. P. A new soil test for simultaneous extraction of macro and micronutrients in alkaline soils. En: Commun. Soil Sci. Plant Anal. Vol. 8 (1977); p. 145.
 25. STEWART, J. A. and BERGER, K. C. Estimation of available zinc using magnesium chloride as extractant. En: Soil Sci. Vol. 100. No. 4 (1965); p. 244-250.
 26. TRIERWEILLER, J. F. and LINDSAY, W. L. EDTA-Ammonium carbonato soil test for zinc. En: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 33 (1969); p.49-54.
 27. TUCHER, T. C. and KURTZ, L. T. A comparison of several chemical methods with the bio-assay procedure for extracting zinc from soils. En: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 19 (1955); p. 477-481.
 28. VILLAR, H. Disponibilidad de elementos menores en algunos suelos tabacaleros de Santander. Bogotá: UNC-ICA, 1980. 109 p. (Tesis M.Sc.).
 29. WEAR, J. I and EVANS, C. E. Relationship of zinc uptake by corn and sorghum to soil zinc measured by three extractants. En: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 32 (1968); p. 543-546.
 30. _____ and SOMMER, A. I. Acid extractable zinc of soils in relation to the occurrence of zinc deficiency symptoms of corn: A method of analysis. En: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. vol 12 (1948), p. 143-144.