

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO Y CAPACITACION

EVALUACION Y CALIBRACION DE CUATRO METODOS DE EXTRACCION DE  
ZINC EN SUELOS DE LA REPUBLICA DOMINICANA

Tesis sometida a la consideración del Comité técnico Académico del Programa de Estudio de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

*Magister Scientiae*

por

**ELISEO RAMIRO OCRELA CEDANO**

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Turrialba, Costa Rica  
1988

DEDICATORIA

A mis padres:

Carlos Ocrela y Arcadia Cedano

A mis queridos hijos:

Elvin, Dalcris y Kervelyn

A mis hermanos:

Carlos, Mesania, Saul, Milca,

Dorky y Cheter

A mi país

República Dominicana

## AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a las siguientes instituciones y personas que de una u otra forma hicieron posible la realización de mis estudios de postgrado.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), por haberme brindado la oportunidad de realizar estos estudios

A los miembros del comité asesor, Dr. Carlos Burgos, Ing. Roberto Díaz-Romeu y Dr. Danilo Pezo.

Al personal del laboratorio de suelos del CATIE, señores, Carlos Fernández Gutiérrez, Mario Jiménez Hernández y Gerardo Cedeño Vega.

Al Dr. Pedro Oñoro Cedra, por su valiosa ayuda en la realización de los análisis estadísticos de los datos de este trabajo

A la señora Verónica Matus de Castillo, por su ayuda en la elaboración del documento.

A la señorita Ana Ligia Rojas Nuñez, por su colaboración incondicional en arreglos mecanográficos.

Al Dr. Amilca Ubiera, por su cooperación en la realización del muestreo en la República Dominicana.

--

Al Proyecto de Manejo de Cuencas MAREAN-AID, por el aporte económico para la realización de estos estudios

A todas aquellas personas que me ayudaron a hacer realidad este trabajo

## BIOGRAFIA.

El autor nació en La Romana, República Dominicana, el 20 de junio del 1954. Realizó sus estudios universitarios en la Universidad Católica Madre y Maestra de Santiago de los Caballeros, en la cual obtuvo el grado de Ingeniero Agrónomo en 1980.

A partir del 1981 se desempeñó como Asistente Regional del Proyecto de Conservación de Suelos y Aguas PIDAGRO III, del Departamento de Tierras y Aguas de la Secretaría de Estado de Agricultura, en Dajabón.

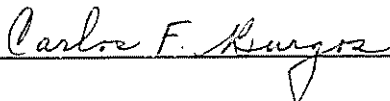
Ha participado en varios entrenamientos en la República Dominicana y en los Estados Unidos de Norte America.

El 15 de setiembre del 1986 ingresó al programa de maestría del CATIE, Turrialba, Costa Rica, donde obtuvo el grado de Magister Scientiae con énfasis en suelos tropicales, en 1988.

Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE, y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

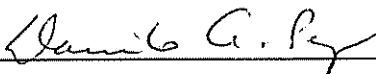
COMITE ASESOR:



Profesor Consejero



Miembro del Comité

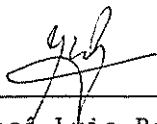


Miembro del Comité

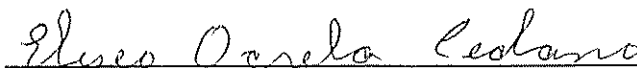
Miembro del Comité



Ramón Lastra Rodríguez, Ph.D.  
Coordinador, Programa de Estudios de Posgrado



Dr. José Luis Parisí  
Subdirector General Adjunto de Enseñanza



Candidato

OCRELA CEDANO, E. R. 1988. Evaluación y calibración de cuatro métodos de extracción de zinc en suelos de la República Dominicana. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 110 p.

## RESUMEN

En este estudio, cuatro soluciones extractoras usadas para predecir la disponibilidad de Zn en suelos de la República Dominicana fueron evaluadas. La cantidad de Zn extraída de 15 muestras de suelo por las soluciones Mehlich 1 (0,05N HCl y 0,025N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), Olsen modificado (0,5N NaHCO<sub>3</sub> y 0,01M EDTA), AB-DTPA (1,0M NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub> y 0,005M DTPA) y SB-DTPA (0,5N NaHCO<sub>3</sub> y 0,005M DTPA) se relacionó con los rendimientos de materia seca y las concentraciones de Zn en la biomasa aérea de plantas de tomate (Lycopersicum esculentum), cultivar Floradel, de siete semanas de edad sembrados en invernadero. Cinco niveles de Zn (0, 5, 10, 15 y 20 ppm) fueron aplicados a cada una de las muestras de suelo.

No se obtuvo respuesta significativa en rendimiento de materia seca con el aumento de los niveles de Zn aplicados a las muestras de suelo. Sin embargo, se obtuvo una respuesta altamente significativa ( $p < 0,0001$ ) en las concentraciones de Zn en la biomasa aérea de las plantas de tomate al aumentar los niveles de Zn aplicados.

Se tomó como respuesta del cultivo, el aumento en la absorción de Zn por la planta con el incremento en niveles de Zn aplicado.

Las extracciones de Zn obtenidas con cada solución, correlacionaron con el rendimiento relativo de las plantas de tomate de la manera mostrada por los siguientes coeficientes de correlación ( $R^2$ ): AB-DTPA con  $R^2= 0,42$ ; seguido por Mehlich 1 con  $R^2= 0,12$ ; luego por Olsen modificado con  $R^2= 0,11$  y por último SB-DTPA con  $R^2= 0,07$ .

Las correlaciones de las cantidades de Zn extraídas del suelo por cada una de las soluciones con la absorción relativa de Zn por las plantas mostraron lo siguiente: Mehlich 1 presentó la correlación más alta con  $R^2= 0,64$ ; seguido muy de cerca por AB-DTPA con  $R^2= 0,62$ ; SB-DTPA con  $R^2= 0,13$  y por último Olsen modificado con  $R^2= 0,07$ .



## SUMMARY

In this study four extracting solutions used for predicting Zn availability in soils of Dominican Republic were evaluated. Amounts of Zn were extracted from 15 soils samples by the following solutions: Mehlich 1 (0,05 N HCl and 0,025 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), Modified Olsen (0,5 N NaHCO<sub>3</sub> and 0,01 M EDTA), AB-DTPA (1,0 M NH<sub>4</sub> HCO<sub>3</sub> and 0,005 M DTPA) and SB-DTPA (0,5 N NaHCO<sub>3</sub> and 0,005 M DTPA). These amounts were correlated with yields of dry matter and Zn concentrations in aerial parts of seven-week old tomato plants (Lycopersicum esculentum), Floradel variety, grown in a greenhouse. Five doses of Zn (0, 5, 10, 15 and 20 ppm) were applied to each of five soil samples.

There was no significant response in yield of dry matter caused by increasing doses of Zn applied to studied soil samples.

However, a highly significant ( $p < 0,0001$ ) responses of Zn concentrations to increments of doses of applied Zn was found in the aerial parts of tomato plants.

Zinc absorption by aerial plant tissue was considered as crop response to increasing amounts of applied Zn.

Correlations calculated for dry matter yield of tomato and amounts of Zn extracted by each solution resulted in correlation coefficients:  $R^2 = 0,42$  for AB-DTPA;  $R^2 = 0,12$  for Mehlich 1;  $R^2 = 0,11$  for Modified Olsen, and  $R^2 = 0,07$  for SB-DTPA.

Correlations calculated with amounts of Zn extracted from the soil by each extracting solution and Zn absorbed by tomato plants showed best correlation coefficients,  $R^2 = 0,64$ , for Mehlich 1; followed closely by  $R^2 = 0,62$  for AB-DTPA; SB-DTPA with  $R^2 = 0,13$  and Modified Olsen with  $R^2 = 0,07$ .

## Lista de Cuadros

En el texto Cuadro n.º.	página n.º.
1. Características químicas de los suelos recolectados sobre un transecto desde la ciudad de Santo Domingo hasta la provincia de Dajabón en República Dominicana.	44
2. Características físicas de los suelos recolectados sobre un transecto desde la ciudad de Santo Domingo hasta la provincia de Dajabón en República Dominicana.	45
3. Cantidad de Zn extraída (ppm), por cuatro soluciones en 15 muestras de suelo obtenidas en la República Dominicana.	47
4. Matriz de correlación y nivel de significancia obtenido para cantidades de Zn extraído por cuatro soluciones extractoras en 15 suelos de la República Dominicana.	49
5. Rendimiento de materia seca, en g por maceta, de plantas de tomate ( <u>Lycopersicum esculentum</u> ) cultivar Floradel de 7 semanas de edad obtenidas en muestras de 14 suelos de República Dominicana y para cinco niveles de aplicación de Zn. Turrialba	52
6. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomates de siete semanas de edad sembradas en muestras de suelos de República Dominicana. Turrialba. 1988.	52
7. Resultados de los análisis de varianza para la variable rendimiento de materia seca producidos en el invernadero por plantas de tomates de siete semanas en muestras de suelos de República Dominicana. Turrialba. 1988.	53
8. Rendimientos relativos de materia seca expresados en g por maceta producido por plantas de tomates de siete semanas de edad en muestras de suelos de la República Dominicana. Turrialba. 1988.	55
9. Correlación del Zn extraíble en, ppm, por la solución extractora Melich 1 con los rendimientos relativos de materia seca producidos por las plantas de tomate en muestras de suelos de la República Dominicana.	56

10. Correlación del Zn extraíble (ppm), por la solución extractora Olsen Modificada con los rendimientos relativos de materia seca producidos por las plantas de tomate en muestras de suelo de la República Dominicana. 57
11. Correlación del Zn extraíble (ppm), por la solución extractora AB-DTPA con los rendimientos relativos de materia seca producidos por las plantas de tomate en muestras de suelo de la República Dominicana. Turrialba.1988. 57
12. Correlación del Zn extraíble, en ppm, por la solución extractora SB-DTPA con los rendimientos relativos de materia seca producidos por las plantas de tomate en muestras de suelo de la República Dominicana. Turrialba.1988. 58
13. Concentración de Zn, ppm, en plantas de tomate de siete semanas de edad sembradas en muestras de suelo de República Dominicana. Los valores son promedio de tres repeticiones.Turrialba. 1988 59
14. Análisis de varianza para la concentración de Zn en plantas de tomate de siete semanas de edad, sembradas en muestras de suelo de República Dominicana. 60
15. Análisis de varianza para la variable concentración de Zn en las plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en suelos de la República Dominicana. 61
16. Absorción total de Zn,  $\mu\text{g}$ , por plantas de tomate de siete semanas cosechadas de macetas con muestras de suelos de la República Dominicana. 62
17. Absorción relativa de plantas de tomate variedad Floradel de siete semanas cultivadas en suelos de República Dominicana. 63
18. Correlación del Zn extraíble del suelo por la solución extractora AB-DTPA con la absorción relativa de Zn por plantas de tomate cultivar Floradel de siete semanas de edad cultivadas en invernadero en suelos de República Dominicana. 64
19. Correlación del Zn extraíble del suelo por la solución extractora Olsen Modificado con la absorción relativa de Zn por plantas de tomate cultivar Floradel de siete semanas de edad cultivadas en invernadero en suelos de República Dominicana. 65

20. Correlación del Zn extraíble del suelo por la solución extractora Mehlich 1 con la absorción relativa de Zn por plantas de tomate cultivar Floradel de siete semanas de edad cultivadas en invernadero en suelos de República Dominicana. Turrialba	65
21. Correlación del Zn extraíble del suelo por la solución extractora SB-DTPA con la absorción relativa de Zn por plantas de tomate cultivar Floradel de siete semanas de edad cultivadas en invernadero en suelos de República Dominicana.	66
En el apéndice	
1A. Parámetros de la regresión lineal para el nutrimento K, como resultado de los análisis de sorción en muestras de suelo procedente de la República Dominicana.	92
2A. Parámetros de la regresión lineal para el nutrimento P, como resultado de los análisis de sorción en muestras de suelo procedente de la República Dominicana.	92
3A. Parámetros de la regresión cuadrática para el nutrimento Mn, como resultado de los análisis de sorción en muestras de suelo procedente de la República Dominicana. Turrialba. 1988.	93
4A. Parámetros de la regresión lineal para el nutrimento Zn, como resultado de los análisis de sorción en las 15 muestras de suelo procedente de la República Dominicana. Turrialba. 1988.	93
5A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo uno procedente de la República Dominicana.	94
6A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo dos procedente de la República Dominicana.	94
7A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo tres procedente de la República Dominicana.	96
8A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo cuatro procedente de la República Dominicana.	96

9A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo cinco procedente de la República Dominicana.	96
10A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo seis procedente de la República Dominicana.	96
11A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo siete procedente de la República Dominicana.	97
12A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo ocho procedente de la República Dominicana.	97
13A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo diez procedente de la República Dominicana.	98
14A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo once procedente de la República Dominicana.	98
15A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo doce procedente de la República Dominicana.	99
16A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo trece procedente de la República Dominicana.	99
17A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo catorce procedente de la República Dominicana.	100
18A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo quince procedente de la República Dominicana.	100
19A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo uno procedente de la República Dominicana.	101

20A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo dos procedente de la República Dominicana.	101
21A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo tres procedente de la República Dominicana.	102
22A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo cuatro procedente de la República Dominicana.	102
23A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo cinco procedente de la República Dominicana.	103
24A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo seis procedente de la República Dominicana.	103
25A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo siete procedente de la República Dominicana.	104
26A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo ocho procedente de la República Dominicana.	104
27A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo nueve procedente de la República Dominicana.	105
28A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo diez procedente de la República Dominicana.	105
29A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo once procedente de la República Dominicana.	106

- 30A. Análisis de varianza para la concentración de Zn  
107 en la parte aérea de plantas de tomate de  
siete semanas de edad producidas en la muestra de  
suelo doce procedente de la República Dominicana. 106
- 31A. Análisis de varianza para la concentración de Zn  
en la parte aérea de plantas de tomate de siete  
semanas de edad producidas en la muestra de suelo  
trece procedente de la República Dominicana. 107
- 32A. Análisis de varianza para la concentración de Zn  
en la parte aérea de plantas de tomate de siete  
semanas de edad producidas en la muestra de suelo  
catorce procedente de la República Dominicana. 107



## Lista de Figuras

En el texto Figura n.º.	Página n.º.
1. Lugares de la República Dominicana donde quince muestras de suelo fueron recolectadas para evaluar cuadro soluciones extractoras de Zn.....	27
2. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel como respuesta a niveles crecientes de Zn aplicados a muestras de suelos de República Dominicana.....	68
3. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel como respuesta a niveles crecientes de Zn aplicados a muestras de suelos de República Dominicana.....	68
4. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel como respuesta a niveles crecientes de Zn aplicados a muestras de suelos de República Dominicana.....	69
5. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel como respuesta a niveles crecientes de Zn aplicados a muestras de suelos de República Dominicana.....	69
6. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel como respuesta a niveles crecientes de Zn aplicados a muestras de suelos de República Dominicana.....	70
7. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel como respuesta a niveles crecientes de Zn aplicados a muestras de suelos de República Dominicana.....	70
8. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel como respuesta a niveles crecientes de Zn aplicados a muestras de suelos de República Dominicana.....	71
9. Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.....	71
10. Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.....	72

11.	Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.....	72
12.	Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.....	73
13.	Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.....	73
14.	Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.....	74
15.	Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.....	74
16.	Cantidad en $\mu\text{g}$ por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en suelos de la República Dominicana.....	75
17.	Cantidad en $\mu\text{g}$ por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en suelos de la República Dominicana.....	75
18.	Cantidad en $\mu\text{g}$ por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en suelos de la República Dominicana.....	76
19.	Cantidad en $\mu\text{g}$ por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en suelos de la República Dominicana.....	76
20.	Cantidad en $\mu\text{g}$ por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en suelos de la República Dominicana.....	77
21.	Cantidad en $\mu\text{g}$ por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en suelos de la República Dominicana.....	77
22.	Cantidad en $\mu\text{g}$ por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en suelos de la República Dominicana.....	78

En el apendice

1A.	Relación de Zn extraído por la solución HCl 0,05N y H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,025N y rendimiento relativo de tomate cultivar Floradel.....	108
2A.	Relación de Zn extraído por la solución NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> 1,0M y DTPA 0,005M y rendimiento relativo de tomate cultivar Floradel.....	108
3A.	Relación de Zn extraído por la solución NaHCO <sub>3</sub> 0.5N y EDTA 0.01M y rendimiento relativo de tomate cultivar Floradel.....	109
4A.	Relación de Zn extraído por la solución NaHCO <sub>3</sub> 0.5N y EDTA 0.01M y rendimiento relativo de tomate cultivar Floradel.....	109
5A.	Relación de Zn extraído por la solución HCl 0,05N y H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,025N y absorción total relativa de tomate cultivar Floradel.....	110
6A.	Relación de Zn extraído por la solución NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> 1,0M y DTPA 0,005M y absorción total relativa de tomate cultivar Floradel.....	110
7A.	Relación de Zn extraído por la solución NaHCO <sub>3</sub> 0.5N y EDTA 0.01M y absorción total relativa de tomate cultivar Floradel.....	111
8A.	Relación de Zn extraído por la solución NaHCO <sub>3</sub> 0.5N y EDTA 0.01M y absorción total relativa de tomate cultivar Floradel.....	111

## CONTENIDO

RESUMEN	vii
SUMMARY	ix
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xvii
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1 Función del Zn en las plantas	3
2.2 Deficiencias de Zn en los cultivos	4
2.3 Contenido de Zn en los suelos	6
2.4 Factores que afectan la disponibilidad de Zn	7
2.4.1 Reacción de los suelos (pH)	8
2.4.2 Materia orgánica	10
2.4.3 Tipo y contenido de arcilla	11
2.4.4 Interacciones del Zn con otros elementos	14
2.5 Zonas con deficiencias de Zn	15
2.5.1 Situación a escala mundial	15
2.5.2 Deficiencias de Zn en zonas tropicales	16
2.5.2.1 Asia	16
2.5.2.2 Africa	17
2.5.2.3 América latina	17
2.6 Métodos para determinar disponibilidad de Zn	18
2.6.1 Escala mundial	18
2.6.2 Zonas tropicales	20
2.6.3 CATIE	21
2.7 Formas de evaluar métodos para determinar disponibilidad de nutrimentos	21
2.8 Evaluaciones de métodos de extracción de Zn	22
2.8.1 Escala mundial	22
2.8.2 En los trópicos	23
2.8.3 En República Dominicana	25
2.8.4 En Costa Rica	25
2.8.5 En CATIE	25
3. MATERIALES Y METODOS	26
3.1 Localización	26
3.2 Muestreo	26
3.3 Suelos	28
3.3.1 Descripción de los suelos muestreados	28
3.4 Recolección y preparación de las muestras de suelos	32
3.5 Métodos de análisis de suelos	32
3.5.1 Análisis granulométrico	32
3.5.2 Reacción del suelo (pH)	33
3.5.3 Determinación de fertilidad	33
3.5.4 Materia orgánica	33
3.5.5 Estudios de sorción	34
3.5.6 Extracción de Zn por los diferentes métodos	34

3.6	Técnicas de invernadero	35
3.7	Análisis foliares	37
3.8	Tratamientos	37
3.9	Determinación de rendimiento y absorción total relativa.	37
3.10	Determinación del nivel crítico.	38
3.11	Selección de solución extractora.	40
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	42
4.1	Propiedades de los suelos estudiados.	42
4.2	Extracciones por las soluciones	45
4.3	Correlación entre cantidades de Zn extraídas por las diferentes soluciones estudiadas.	48
4.4	Materia seca	49
4.5	Rendimientos relativos	54
4.6	Correlación entre concentración de Zn en el suelo extraído por las soluciones estudiadas y rendimientos relativos	55
4.7	Concentraciones de Zn en los tejidos de las plantas de tomate	58
4.8	Absorción de Zn	61
4.9	Absorción relativa.	62
4.10	Correlaciones de los valores de Zn extraído por las soluciones extractoras con las absorciones relativas de Zn por las plantas de tomate.	63
5.	CONCLUSIONES	79
6.	RECOMENDACIONES	81
	BIBLIOGRAFIA	82
	APENDICE	91

## 1. INTRODUCCION

El zinc es uno de los microelementos esenciales en el desarrollo fisiológico normal de las plantas (Bear, E. 1963).

La disponibilidad del zinc en el suelo puede disminuir debido a su extracción por las plantas, lixiviación por el agua de lluvia y de riego, y a su relación química con otros elementos, como el fósforo (Tisdale, S. y Nelson, W. 1967). Por esto, es necesario la reposición de Zn por medio de aplicaciones al suelo, para mantener niveles óptimos de este elemento. Para decidir cuándo y cuánto aplicar, se debe medir el contenido de zinc en el suelo utilizando métodos químicos que implican el uso de diferentes soluciones extractoras, que han sido calibradas, además de información obtenida en experimentos de fertilización con Zn bajo, condiciones de campo.

La gran variabilidad de los suelos (Tisdale, S. y Nelson, W. 1967), así como la extracción diferencial de nutrimentos por las plantas ha resultado en la utilización de diferentes soluciones extractoras. La mayoría de éstas, han sido desarrolladas en regiones templadas donde la edad del material parental del suelo, la temperatura del ambiente y la precipitación son diferentes a las encontradas en la mayoría de las zonas tropicales (Lindsay, W. y Cox, F. 1985). Por esto, es necesario hacer una reevaluación de las

soluciones extractoras para seleccionar aquellas que reflejen de manera confiable el comportamiento de un elemento en los suelos predominantes en los trópicos. Este estudio tuvo como propósito identificar soluciones extractoras adecuadas para medir el contenido de zinc en el suelo bajo condiciones tropicales.

Para propósito de evaluación se escogieron cuatro soluciones extractoras, tres de ellas se seleccionaron porque resultaron con características deseables para evaluar la disponibilidad de Zn, después de realizar una revisión bibliográfica en 1987. Estos extractantes son: Mehlich 1 (0,05N HCL Y 0,025N  $H_2SO_4$ ), Olsen modificado (0,5M  $NaHCO_3$  y 0,01M EDTA + superfloc), AB-DTPA (1,0M  $NH_4HCO_3$  y 0,005M DTPA). Adicionalmente, se indicó una nueva solución que resultó de la combinación de Olsen modificado y AB-DTPA denominada SB-DTPA (0,5M  $NaHCO_3$  y 0,005 DTPA + Superfloc).

## 2. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 Función del Zn en las plantas

Varios autores han revisado literatura en la que se informa la función del Zn como un activador de enzimas (Sillanpaa, M. 1972).

En la dismutasa superóxido el Zn desempeña el papel de metaloenzima, lo que indica que una deficiencia de este elemento facilita el deterioro de la membrana celular por la presencia del radical superóxido (Vaughan, D. et al. 1982).

La enzima anhidrasa carbónica es activada por el Zn, (Randall, P. y Bouma, D. 1973) (Jacobson, B. et al. 1974). Anteriormente se pensaba que esta enzima controlaba la fotosíntesis, facilitando la difusión del CO<sub>2</sub> a través de la fase líquida de la célula (citoplasma) a los cloroplastos (Nelson, E. et al. 1969). Sin embargo, Randall, P. y Bouma, D. (1973) demostraron que el Zn actúa directamente sobre la fotosíntesis; por lo tanto aún no se conoce con claridad el papel de la enzima anhidrasa carbónica.

La deficiencia de Zn causa deformaciones en los cloroplastos de las hojas (Thomson, W. y Weier, T. 1962) (Vesk, M. et al. 1965). Jyung W. et al. (1975) encontraron que la ausencia de zinc bloquea el desarrollo normal de los cloroplastos por que se obstaculiza la formación completa del sistema calado de grana, y las vacuolas toman formas alargadas asociadas y bordeadas por elementos granas.



La síntesis óptima de triptofano depende de que haya niveles adecuados de Zn en los tejidos de las plantas; bajos niveles de triptofano en las plantas causan los síntomas visibles del rayado en las hojas (Salami, A. y Kenefick, D. 1970).

La actividad de los sintatos de almidones solubles (ADP-glucosa: almidón  $\alpha$ -4-glucosatransferasa, EC 2.4.1.b), y el tamaño y número de granos de almidón disminuyen con la reducción en el contenido de zinc en las hojas de las plantas (Jyung, W. et al. 1975).

## 2.2 Deficiencias de Zn en los cultivos

La deficiencia de Zn en los tejidos de las plantas produce cambios en la morfología de las hojas y tejido celular. Son conocidos varios tipos de desordenes tales como: hojas pequeñas y rosetas, hojas moteadas, brotes blancos, entre otros (Hewitt, E. 1963) (Rathore, G. et al 1980).

En leguminosas, los síntomas típicos son: crecimiento reducido, desarrollo de manchas pardas con amarillamiento de los tejidos entre las venas en las hojas viejas y caída de tejidos muertos de las áreas cloróticas. En árboles y frutales, los síntomas de deficiencia, generalmente, aparecen en las hojas jóvenes. Estas muestran clorosis, las venas permanecen verdes, y los entrenudos se acortan marcadamente cerca de las puntas de los brotes produciendo

rosetas de hojas pequeñas y cloróticas. Las hojas viejas pueden ser bronceadas y caen fácilmente. Síntomas típicos de la deficiencia de Zn en cítricos son: hojas con colores irregulares y reducidas en tamaño, manchadas o muy pardas, con un contraste bien marcado de moteamiento amarillo claro sobre un fondo verde, frutos pequeños y pálidos (Mikko, S. 1972).

En maíz con deficiencia de Zn aparecen áreas amarillentas como rayas alargadas en las hojas, más tarde los tejidos de estas rayas mueren. Los entrenudos del tallo de la planta se acortan. En caso severo, las hojas nuevas recién abiertas pueden ser blancuzcas o amarillentas, de ahí el nombre de brotes blancos dado al maíz con deficiencia aguda de zinc (Zinc in crop nutrition, 1968) (Mehrotra, N. et al 1986).

En algodón, los síntomas de deficiencia de Zn ocurren primeramente en las hojas del medio las cuales toman un color verdoso y luego adquieren una clorosis intervenal permaneciendo verdes solamente las venas. Las hojas nuevas se tornan amarillas y con el avance de la deficiencia aparecen las hojas pequeñas (rosetas). Otro síntoma son las manchas pardorrojizas en el medio de las hojas (Cakmak, I. y Marschner, H. 1986).

En café los síntomas visuales han sido descritos como hojas en forma de pico y puntiagudas. En el caucho y el trébol las hojas presentan severas alteraciones tales como

ondulaciones, enroscamientos y corrugaciones (Hewitt, E. 1963).

La deficiencia de Zn provoca en las plantas de tomate una reducción en el tamaño de las hojas, coloración amarillenta o moteamiento (Hunger sings in crops, 1949).

### 2.3 Contenido de Zn en los suelos

El contenido total de Zn en la corteza terrestre es alrededor de 10 ppm. La cantidad de Zn es mayor en suelos que se han formado de rocas básicas que los que se han formado de rocas ácidas, pues el contenido total de Zn de las anteriores es aproximadamente de 130 ppm, mientras que en las rocas ácidas es de 60 ppm (Ermolenko, M. 1972).

La mayoría de los valores de contenido total de Zn varía entre 10-300 ppm, en pocas ocasiones se ha obtenido valores menores o mayores de este rango (Chemistry of the soil 1964).

El Zn se encuentra en minerales ferromagnésicos (principalmente piroxenos), magnetita, biotita y hornblenda, y también en pizarras (Chemistry of the Soil 1964). Generalmente, el zinc no forma minerales silicatados independientes en rocas ígneas, ni se encuentra en grandes cantidades en cuarzo y feldepasto (Lindsay, W. 1972). El mineral en que el Zn es más abundante es la esfalerita o sulfuro de Zn (ZnS) (Lindsay, W. 1972).

El contenido de Zn varía de un suelo a otro, esto se comprobó en un estudio realizado en la URSS donde se encontró que el contenido de Zn móvil en los mejores suelos, no pertenecientes a los Chernozem, variaba de 0,12 a 20 ppm y en los suelos Chernozem de 0,1 a 0,25 ppm (Ermolenko, N. 1972).

En un ensayo realizado con 11 perfiles de suelos de Nigeria (formados sobre suelos planos arenosos costeros, desarrollado sobre pizarras, basaltos y granitos) se encontró que el contenido de Zn disminuye con el aumento de profundidad en el perfil del suelo. En este estudio el contenido de Zn varió de 9 a 84 ppm (Udo, E. y Fagbami, A. 1979).

#### 2.4 Factores que afectan la disponibilidad de Zn

El grado de disponibilidad de un nutriente del suelo está en función de las diferentes formas en que puede encontrarse en el suelo; y cada forma está relacionada directamente o indirectamente a la solución del suelo a través de algún pseudo equilibrio que se encuentra en función del pH, potencial de oxidación y las actividades de los constituyentes individuales del suelo (Hodgson, J. 1963).

Al grupo de formas individuales se le llama "pool", y las proporciones en que estén presentes estos "pools" da como resultado variaciones en el grado de disponibilidad de un nutrimento en la solución del suelo. De esta manera se puede ver la forma en que varios factores influyen sobre la disponibilidad del Zn (Hodgson, J. 1963).

#### 2.4.1 Reacción de los suelos (pH)

Muchos estudios realizados sobre la disponibilidad de Zn y la variación del pH indican que hay una relación inversa entre estos dos factores (McBride, M. y Blasiak, J. 1979).

En ensayos realizados por Bandyopadhyaya, A. y Adhikri, M. (1968) sobre la respuesta del arroz a los elementos menores en suelos aluviales del oeste de Bengal, se encontró una relación negativa entre el pH y el Zn extraíble. Lutz, D. et al. (1971) investigaron el efecto del pH en la concentración y absorción de microelementos en maíz y observaron que la absorción y concentración del Zn promedios disminuían con el aumento en pH, pero que éste no era tan significativo entre los pHs 5,1 a 6,1; resultados similares encontró Bowen, J. (1968) quien al trabajar con caña de azúcar, observó que el pH óptimo para la absorción de Zn fue de 5,0 a 6,0.

El-Kherbawy, M. y Sanders, J. (1983) obtuvieron una relación inversa entre el pH del campo y la disponibilidad del Zn usando la concentración del zinc en la fracción extraída del suelo por DTPA.

El  $\text{CaCO}_3$  influye sobre la disponibilidad y la absorción del Zn por las plantas porque afecta el pH del suelo (Wear, J. 1956).

En un experimento realizado por Barrow, N. (1986) encontró que la disponibilidad de Zn disminuyó con el aumento en el pH, porque el ión  $(\text{ZnOH})^+$  es retenido y el efecto del pH se debe a que se incrementa la proporción de este ión en la solución del suelo.

La disponibilidad de Zn puede aumentar por encima de los valores de neutralidad (pH 7) debido a la dispersión de la materia orgánica que facilita la formación de complejos y proporciona agentes quelatantes que reaccionan con el Zn y de esta forma reduce su adsorción o precipitación (Saeed, M. y Fox, R. 1977).

El pH reduce más la disponibilidad del zinc en suelos arenosos que en suelos con alto contenido de materiales del tamaño coloidal (Shuman, L. 1975).

Se puede decir, en resumen, que el aumento en el pH disminuye la disponibilidad de Zn pero que a pH mayores 7 puede ocurrir lo contrario, en suelo con alto contenido de materia orgánica por la dispersión de ésta.

#### 2.4.2 Materia orgánica

Los altos valores de  $K$  para el horizonte A acompañados por alto contenido de materia orgánica en el mismo, sugieren que la materia orgánica participa en reacciones de alta energía de enlace. Shuman, L. (1975) determinó que la capacidad de adsorción junto con la energía de enlace para Zn fue mayor para suelos arcillosos con alto contenido de materia orgánica que para suelos arenosos con bajo contenido de materia orgánica, coincidiendo con los resultados obtenidos por Misra, S. y Tiwari, R. (1965), quienes observaron que cuando se destruye la materia orgánica del suelo hay una reducción en la retención del Zn.

La materia orgánica forma complejos con metales por reacciones de intercambio iónico, adsorción superficial, quelatación, complejos de coagulación y peletización. La materia orgánica está ligada a los quelatos de metales por medio de grupos carboxílicos, hidroxilos y amidas (Mortensen, J. 1963).

En un estudio realizado con suelos minerales y húmicos, Matsuda, K. y Ikuta, M. (1969) encontraron que el porcentaje de quelatos de Zn que mostró mayor fuerza de adsorción fue más alto en los suelos húmicos y que este porcentaje aumentaba con el proceso de la humificación.

Los agentes quelatantes tienen cierta influencia beneficiosa sobre la disponibilidad de Zn bajo condiciones en que las plantas estén sujetas a baja disponibilidad de este nutrimento porque mantienen soluble los metales en el suelo y de esta forma son tomados por las plantas. Cuando no hay metales, los quelatos a menudo compiten con las raíces y los suelos por los metales, y por lo tanto no son generalmente buenos para corregir deficiencias de nutrimentos (Wallace, A. 1963).

Elgawhary, S. et al. (1970) indicaron que los agentes acomplejantes o ácidos orgánicos de los exudados de las raíces o de la descomposición de la materia orgánica en los suelos pueden incrementar la disponibilidad y el transporte de los nutrimentos.

En un experimento realizado por Hodgson, J. et al. (1966) los autores determinaron que la disponibilidad de Zn estaba más relacionada a la materia orgánica soluble que al contenido total de la materia orgánica en el suelo.

#### 2.4.3 Tipo y contenido de arcilla

Entre los factores que influyen sobre la disponibilidad de Zn, los coloides juegan un papel importante por su capacidad para retener Zn (Murty, K y Metha, B. 1974). En un estudio de incubación realizado en la India (Murty, K. y Metha, B. 1974) la máxima retención de Zn (71%) ocurrió en suelos arcillosos, seguido por aquella en suelos franco



arcillosos (67%) y la más baja (30%) en suelos francos. Esto demostró que las diferencias se debieron a las variaciones en el contenido de arcilla. lo anterior coincide con los resultados obtenidos por Kalynasudaram N. y Mehta B. (1970), quienes reportaron que la disponibilidad del Zn aplicado variaba inversamente con la proporción de las fracciones finas del suelo y también encontraron que la fijación fue más alta en suelos arcillosos (57%), media (44%) en los de textura media y la más baja (35%) en los de textura gruesa (Kuo, S. et al 1985).

Se ha determinado que existen diferencias de absorción para diferentes tipos de arcillas. Así, Sillampaa, A. (1972) informa que suelos con altos contenidos de montmorillonita tienden a presentar elevados contenidos de Zn pero, debido a los fuertes enlaces, el elemento es poco disponible y también poco sujeto al lavado.

Navrot, J. y Gal, M. (1971) en Israel compararon suelos con altos contenidos de montmorillonita, con suelos de altos contenido de atapulguita y encontraron que los primeros tenían mayor cantidad de Zn, pero que en los últimos la disponibilidad de Zn era mayor.

La bentonita e illita tienen la capacidad de fijar cantidades de Zn relativamente altas comparadas con la caolinita y esta fijación está directamente relacionada con las cantidades de Zn añadidas y el pH (Reddy, M. y Perkins, H. 1974).

En general, los suelos con arcillas de tipo 2:1 tienen capacidad de fijar mayor cantidad de Zn que los suelos con arcillas de tipo 1:1 (Reddy, M. y Perkins, H. 1974). Las diferencias en las cantidades fijadas por los distintos tipos de arcillas puede ser atribuidas a las diferencias en capacidad de intercambio catiónico (CIC), área superficial específica y la forma estructural básica. Newton, D. y Melsted, S. (1971) reportaron que la bentonita adsorbe más Zn que la caolinita por la diferencia en la CIC y en el área superficial básica.

El Zn puede sustituir al Mg en la arcilla por tener igual valencia y similar radio iónico, sin afectar las propiedades de adsorción del mineral (Reddy, M. y Perkins, H. 1974). Algunos iones de Zn adsorbidos sobre la superficie pueden entrar al interior de las capas dobles eléctricas, donde no puede ser intercambiados con sales inorgánicas neutras (Elgabaly, M. 1950).

Es posible que el Zn penetre en las arcillas 2:1 cuando se expanden por hidratación, quedando atrapado físicamente en forma de cuña entre los láctices dentro de la estructura de la arcilla, al secarse ésta (Newton, D. y Melsted, S. 1971).

En conclusión, las arcillas tipos 2:1 tienden a fijar mayor cantidad de Zn que las arcillas tipo 1:1 y los suelos aumentan su capacidad de fijación de Zn con el aumento en el contenido de arcillas.

#### 2.4.4 Interacciones del Zn con otros elementos

Se han realizado diversos estudios sobre la interacción P y Zn, pero todavía no se conoce con certeza cuáles son los mecanismos que influyen en la relación de absorción del P y Zn por las plantas (Giordano, P. et al. 1974).

En la mayoría de los estudios realizados, se ha observado un aumento en la absorción del Zn por las plantas cuando se aplica cantidades bajas de P, pero cuando estas cantidades son elevadas ocurre una disminución en la absorción de Zn por las plantas (Chaudhry, F. y Loneragan, J. 1972) (Guzman, F. 1982).

Se ha sugerido algunas posibles causas para explicar las relaciones y mecanismos de dicha interacción.

1- El tratamiento con P promueve el crecimiento, dando lugar a una dilución del Zn en las partes aéreas de la planta.

2- Reducción del transporte del Zn de las raíces a las partes aéreas, por los altos valores de P.

3- Un desorden metabólico en las células de las plantas provocado por un desbalance de concentración entre el Zn y el P.

En los suelos calcáreo hay una fuerte interacción entre el Zn y el Cu, inhibiendo el Cu la absorción del Zn por efecto competitivo (Chaudhry, F. y Loneragan, J. 1972).

Giordano, P. et al. (1974) indicaron que la disminución de la adsorción de Zn por iones competitivos fue: Fe = Cu > Mg > Mn > Ca.

El K y el S favorecen la absorción de Zn por las plantas (Brown, J y Tifein, L. 1962) (Romero, L. 1986).

Un incremento en el suministro de N da lugar a un aumento en el desarrollo de las plantas que es capaz de disminuir la concentración del Zn en los tejidos por efecto de dilución. Esto explica por qué en algunos experimentos, el nitrógeno no aumenta la concentración del Zn a medida que el pH del suelo disminuye (Giordano, p. et al. 1966).

## 2.5 Zonas con deficiencias de Zn

### 2.5.1 Situación a escala mundial

El problema de deficiencia de Zn es generalizado en el mundo. En España, Bruque, S. et al. (1981) investigaron el contenido total de Fe, Mn y Zn de la capa arable en cien muestras de suelos de la comunidad de Cartama (Málaga). Los contenidos totales de Fe y Mn fueron satisfactorios, pero los niveles de Zn fueron bajos. En Canadá, los niveles de Zn extraíbles por la solución extractora DTPA en 1200 muestras de suelos tomadas en Saskatchewan mostraron que el 12% de los suelos contenían menos de 0,5 ppm de Zn, quedando clasificadas como potencialmente deficientes en Zn (Singh, J. et al. 1987). En Australia, (Wade, L. 1985), observó síntomas típicos de deficiencias de Zn en cultivos de

algodón, linaza y frijoles en varios distritos de Queensland. En Alemania (Falke, H. et al. 1985), ensayos de campos realizados entre 1973 y 1982 en suelos arenosos con capa freática baja, contenidos altos de K y P, moderado en Zn y bajos en Mg; mostraron aumentos en los rendimientos de maíz forrajero y remolacha azucarera causados por la fertilización de Zn. Otro estudio realizado en Alemania, mostró bajo contenido de Zn en el 2% de 39,8 millones de hectáreas de tierras agrícolas analizadas (Krahmer, R. y Falke, H. 1983).

#### 2.5.2 Deficiencias de Zn en zonas tropicales

A continuación se presentan algunas zonas en el trópico donde se ha encontrado problemas en la disponibilidad de Zn del suelo.

##### 2.5.2.1 Asia

En Asia, cuando Nair, G. y Mehta, B. (1959) obtuvieron valores de Zn extraíble menores de 1,0 ppm en suelos del oeste de la India, indicando problemas con este nutrimento. Más tarde, Deshmukh, et al. (1974) en un ensayo sobre la aplicación de Zn y Mn, encontraron que en ciertos suelos algunos cultivos respondían a la aplicación de Zn; en ese mismo año, Subrahmanyam, A. y Mehta B. (1974) observaron que la producción de materia seca del arroz (Oriza sativa L.), cultivado en suelos con 0,6 ppm de Zn y 52 ppm de Fe extraíble y mediana cantidad de P extraíble se incrementó en

un 15% con la aplicación de 5 ppm de Zn. Bathore, G. et al. (1980) además de encontrar respuesta significativa a la aplicación de Zn en los cultivos encontraron una correlación positiva y significativa entre la disponibilidad del Zn en el suelo y el contenido en las plantas.

En las Filipinas se encontró deficiencias de Zn en un estudio de fertilización realizado en arroz (Cayton, M. et al. 1985) La cantidad de Zn extraíble en el suelo variaba de 0,08 a 0,38 ppm.

#### 2.5.2.2 Africa

En Egipto, El-Fouly, M. et al. (1984) recolectaron del valle del Nilo, el delta y áreas desérticas recuperadas 6000 muestras de suelos y 4000 muestras de hojas (naranja, uva, cereales, leguminosas y papa). La mayoría de las deficiencias encontradas fueron de Fe, Mn y Zn. Las deficiencias de Zn fueron dominantes en suelos arenosos.

#### 2.5.2.3 América latina

En un estudio realizado en Brasil (Lopes, A. y Cox, F. 1977) para determinar la fertilidad de los suelos en el Valle Central, recolectaron 518 muestras de suelo superficial de una área de 600,000 km<sup>2</sup>. Los resultados indicaron que había niveles bajos de Zn (0,2 ppm). extraído con la solución de Carolina del Norte (0,05N HCl + 0,025N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Un año más tarde Alvares, et al. (1978) investigando los efectos de la aplicación de cal y cinco micronutrientes

sobre la producción de materia seca en sorgo encontraron un efecto positivo con la aplicación de Zn. Lo que indica que hubo un aumento en la disponibilidad de Zn para las plantas.

En Cuba, Sanzo, R. et al. (1987) encontraron aumento de 3,5 a 4,5 t/ha en arroz con la aplicación de Zn. En ese mismo año, Hernandez, D. et al. (1985) en un trabajo similar con el cultivo del arroz, también obtuvieron aumento de 2,52 a 3,96 kg/ha y de 3,69 a 4,47 kg/ha, con aplicaciones de Zn en las estaciones primavera y verano, respectivamente.

Como se puede apreciar problemas sobre disponibilidad de Zn en el suelo para los cultivos se presentan en todas partes.

## 2.6 Métodos para determinar disponibilidad de Zn

### 2.6.1 Escala mundial

Viets, F. et al. (1953) usaron el método de ditizona para determinar deficiencias de Zn en suelos neutros y alcalinos con el cultivo de maíz en la región central de Washington. Encontraron que el maíz creció con síntomas de deficiencia en suelos con 0,4 ppm de Zn o menos. Sin embargo encontraron que algunos suelos con menos de 0,4 ppm de Zn produjeron plantas aparentemente normales. En California, Brown, A. et al. (1971) también encontraron que la línea divisoria entre deficiencia y suficiencia no estaba clara para el método de ditizona.

El método de ditizona fue primeramente usado por Shaw, E. y Dean, L. (1952), quienes usaron suelos de todos los Estados Unidos provenientes de áreas con deficiencias de Zn. Encontraron un amplio rango de pequeñas condiciones relacionadas entre la ocurrencia de deficiencia y el nivel óptimo de Zn.

Barrows, H. y Drosdoff, M. (1960) encontraron una relación altamente significativa entre las concentraciones de Zn en las hojas de árboles del género Aleurite y el Zn soluble en 0,1N HCl en el suelo. Wear, J. y Sommer, A. (1948) fueron capaces de establecer un nivel crítico de extracción de Zn para 0,1N HCl, basado en la ocurrencia de síntomas de deficiencia en maíz. Ellos encontraron que 1 ppm de Zn extraíble del suelo fue suficiente para prevenir síntomas de deficiencia de Zn.

Viets, F. et al. (1953), utilizaron sólo dos métodos de determinación de Zn del suelo, los cuales fueron suficientemente calibrados con relación al Zn extraído por las plantas en invernadero o campo. Estos fueron: (1) extracción con un sistema de dos fases de  $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$  acuoso y ditizona en  $\text{CCl}_4$ , (2) extracción con 0,1N HCl. Ellos describieron estos dos métodos como de uso corriente y tomaron en cuenta la influencia de otros factores del suelo necesarios para la utilidad del análisis.



La extracción con  $MgCl_2$  2N, tal como lo demostraron Stewart, L. y Berger, K. (1964) resultó ser un muy buen estimador de la disponibilidad de Zn en 20 suelos que tenían una gran variación en pH (5 a 7), contenido de materia orgánica (1,6 a 4,2 %), y textura (franco limoso, arenoso franco y franco arcilloso).

Una solución de EDTA y  $(NH_4)_2CO_3$  se encontró que fue un excelente extractante para la disponibilidad de Zn en suelos calcáreos (Trierweiler, J. y Lindsay, W. 1969).

La solución extractora de AB-DTPA fue desarrollada para la determinación de disponibilidad de Zn en suelos neutros y calcáreos dando muy buena correlación con la respuesta de los cultivos pero estudios con suelos ácidos indican que este extractante (AB-DTPA) puede ser también utilizado en estos suelos (Soltanpour, F. y Labhsetwar, V. 1985).

#### 2.6.2 Zonas tropicales

Como un aspecto importante para entender el comportamiento de los análisis de suelos en el trópico, se investigó cuáles soluciones extractoras eran las más usadas en zonas tropicales (Lindsay, W. y Cox, F. 1985). De este estudio pudo concluirse que las soluciones extractoras de Zn usadas por los laboratorios incluye variadas concentraciones y combinaciones de DTPA, EDTA, HCL,  $NaHCO_3$ , superfloc 127, KCl,  $H_2CO_4$ ,  $NH_4OAc$ ,  $NH_4F$  y ditizona.

Las soluciones extractoras más recomendables para los análisis rutinarios de los trópicos son: DTFA con bicarbonato de amonio para suelos alcalinos y posiblemente ácidos; y el doble ácido (0,05N HCL + 0,025N H<sub>2</sub>CO<sub>4</sub>), para suelos ácidos (Lindsay, W. y Cox, F 1985) (Junus, M. y Cox, F. 1987).

### 2.6.3 CATIE

La solución diluida de ácidos fuertes desarrollada por Mehlich (Diaz Romeu, R. y Hunter, A. 1978) en la Universidad Estatal de Carolina del Norte y conocida como la solución Mehlich 1 es ampliamente usada para suelos con pH menor de 6,5 y la solución de Olsen modificado para suelos con un amplio rango de pH, desde ácidos hasta alcalinos (Diaz-Romeu, R. y Hunter, A. 1978).

## 2.7 Formas de evaluar métodos para determinar disponibilidad de nutrimentos

Para relacionar los análisis de suelos con el crecimiento de las plantas existen dos formas: a) simular lo mejor posible con el método la extracción de los elementos por los cultivos y b) la correlación indirecta entre los nutrimentos extraídos y el crecimiento vegetal. El método indirecto de correlación ha resultado ser el medio más práctico para evaluación. La asimilación de nutrimentos o la cantidad de nutrimento en un tejido vegetal frecuentemente correlaciona bien con las soluciones extractoras, pero no

--distingue entre el requerimiento de las plantas y el consumo de lujo (Waker, J. y Bejarano, W. 1978) (Waugh, D. et al, 1973; Bray, R. 1938).

## 2.8 Evaluaciones de métodos de extracción de Zn

### 2.8.1 Escala mundial

Wear, J. y Evans, C. (1968) compararon los extractantes 0,1N HCl, la mezcla diluida de ácidos fuertes (0,05N HC + 0,025N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), y 0,05M EDTA a pH 7 en suelos de textura gruesa, usando como cultivo indicador plantas de sorgo. El coeficiente de correlación entre las extracciones de cada método y el rendimiento relativo más alto (0,89) fue obtenido con la mezcla diluida de ácidos fuertes, seguido por 0,1N HCL (0,82) y por EDTA (0,62).

Martens, D. et al. (1966) compararon la efectividad de ditizona, 0,1N HCl y 0,02M MgSO<sub>4</sub> para predecir la extracción de Zn por las plantas; el método de ditizona fue superior. Los coeficientes de correlación fueron 0,70 para ditizona, 0,56 para 0,1N HCl y 0,48 para 0,2M MgSO<sub>4</sub>. Sin embargo, en otro trabajo de Martens, D. y Chesters, M. (1967), incluyeron otros factores del suelo con cada uno de los tres procedimientos, indicando que la absorción por las plantas fue estimada mejor tomando en cuenta: el pH, la función logarítmica del Zn extraído por 0,1N HCL más el contenido de arcilla.

Ravikovitch, S. et al. (1968) compararon algunos métodos de extracción de Zn bajo condiciones de invernadero y encontraron que la correlación más alta con la concentración del Zn en las plantas fue obtenida con  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  más EDDHA.

Haq, A. y Miller, M. (1972) evaluaron, en invernadero, con 85 suelos de Canadá los extractantes: EDTA, DTPA, EDDHA, y  $\text{HCL} + \text{H}_2\text{SO}_4$  con la concentración de Zn en maíz en invernadero. Las soluciones EDTA y DTPA fueron superiores a las demás con  $R^2$  de 0,607 y 0,603, respectivamente. Con la inclusión del pH, los  $R^2$  aumentaron a 0,745 y 0,759 respectivamente. Más tarde, Haq, A. et al. (1980), trabajaron con suelos de Ontario, Canadá, y compararon nuevas soluciones extractoras con relación a la disponibilidad del Zn y otros microelementos. Ellos usaron como cultivo indicador la remolacha azucarera. De estos extractantes el  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  fue el mejor cuando se incluyó el pH en la ecuación.

### 2.8.2 En los trópicos

Una investigación sobre micronutrientes fue conducida por Sillampaa, M. (1982) en cooperación con científicos de 30 países. Este estudio incluyó muchos países tropicales. En la comparación de extractantes se observó que el ácido de acetato de amonio - EDTA (AAAc-EDTA) y DTPA fueron igualmente efectivos en cuanto a la concentración del Zn y cobre en las plantas.

Singh, C. et al. (1977) evaluaron 7 extractantes en suelos calcáreos de la India. Los coeficientes de correlación entre el Zn extraíble y el Zn absorbido por las plantas fueron: DTPA (0,927) 0,005M; KCl 0,5M (0,021); EDTA 0,02M (0,111); NH<sub>4</sub>-acetato: pH 3 1N (0,084), pH 4,8 (0,382), pH 7 (0,049); y pH 7 + 0,2% de hidroquinona (0,249).

Osiname, O. et al. (1973) examinaron los extractantes para Zn siguientes: EDTA, DTPA, 0,1N HCl y 1N HCl para predecir la capacidad de extracción por la avena de 28 suelos del oeste de Nigeria. La mejor predicción fue obtenida por una combinación de: las extracciones de 0,1N HCl, pH del suelo, materia orgánica y la fracción de arena + arcilla, en un análisis de regresión múltiple.

El-Nennah, M. et al. (1982) examinaron 4 métodos de medir la disponibilidad de Zn con la capacidad de la cebada para predecir la extracción del nutrimento de suelos infértiles en Egipto. Entre los métodos se encontraba el DTPA el cual resultó ser el mejor.

Chude, V. y Obigbesan, O. (1984), en una comparación de métodos de extracción de Zn en suelos cultivados con cacao en Nigeria, encontraron que la cantidad de Zn extraído, comparado con el Zn absorbido por el sorgo presentó el siguiente orden: NH<sub>4</sub>OAc 1,0N > HCl 0,1N > MgCl<sub>2</sub> 2N > DTPA 0,005M.

En una evaluación de soluciones extractoras realizado por Ribeiro, A. y Tucunango Sarabia, W. (1984), en Brasil, ellos usaron como cultivo indicador el sorgo y mostraron que el mejor extractante para Zn fue  $\text{NO}_2$ -EDTA.

#### 2.8.3 En República Dominicana

No se encontró información sobre comparaciones de métodos de extracción de Zn en suelos.

#### 2.8.4 En Costa Rica

Peralta, F. y Bornemisza E. (1981), evaluaron 5 métodos de determinación de Zn en 8 Andepts del Valle Central. Los 5 métodos fueron (HCl 0,1N;  $\text{Na}_2$ -EDTA 0,01M; solución HOAc 5%, Olsen 1 y Olsen modificado. Todos los métodos dieron resultados significativos correlacionado entre sí. Lo que indica que cualquiera de ellos estimó igual la disponibilidad de Zn de estos suelos.

#### 2.8.5 En CATIE

No existen trabajos de correlación de métodos de extracción de Zn, por lo que éste podría compararse con futuras investigaciones que se realicen con suelos de la región Centro Americana.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Localización

La recolección de las muestras de suelos se realizó en la República Dominicana. Los lugares que fueron muestreados se eligieron con la finalidad de obtener muestras de suelo con alto, mediano y baja disponibilidad de Zn, y que procedieran de las regiones con mayor actividad agrícola. Como resultado de la aplicación de los criterios antes mencionados, el muestreo de los suelos fue realizado en un transecto que se extiende sobre una franja con rumbo noroeste desde Santo Domingo, capital de la República Dominicana, hasta la provincia de Dajabón, que hace frontera con Haití; de esta manera quince muestras de suelo fueron obtenidas.

#### 3.2 Muestreo

El tipo de muestreo empleado en cada uno de los lugares seleccionados fue al azar y cada muestra representa una área de aproximadamente 10 ha. Este muestreo se realizó durante el mes de enero del 1988

Los trabajos de laboratorio e invernadero se realizaron en las instalaciones del Area de Cultivos Alimenticios Anuales del CATIE, Turrialba, Costa Rica.

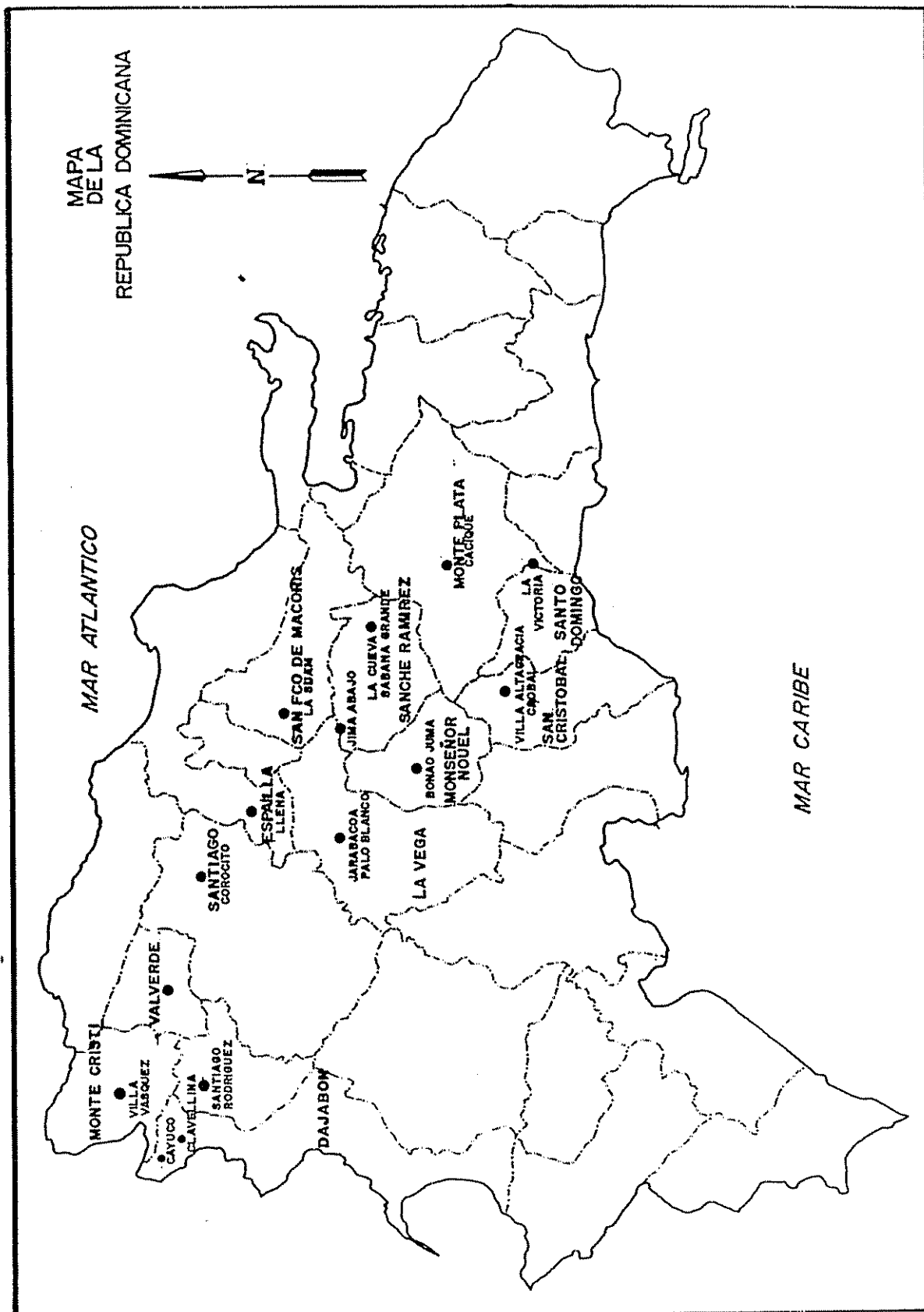


Fig. 1. Lugares de República Dominicana donde quince muestras de suelo fueron recolectadas para evaluar cuatro soluciones extractoras de Zn. Turrialba, 1988.



### 3.3 Suelos

#### 3.3.1 Descripción de los suelos muestreados

El número que precede al nombre del lugar identificará, en lo sucesivo, a la muestra de suelo estudiada.

##### 1) La Victoria, Santo Domingo

El suelo estaba sembrado de maíz al momento del muestreo; además de este cultivo los agricultores siembran frijoles, yuca y batata (camote) en rotación; el terreno presenta una pendiente promedio de alrededor de 6%; el área circundante es suavemente ondulada; los suelos son de una fertilidad mediana; los productores usan fertilizantes.

##### 2) Cacique, Monte Plata.

Al momento del muestreo el terreno estaba cultivado de yuca, plátano y guandules, asociado; pendiente promedio 15%; el terreno circundante presenta forma fuertemente ondulada; fertilidad mediana y los productores usan fertilizantes.

##### 3) Caobal, Villa Altagracia.

El área se encontraba cubierta de yuca, plátano y guandules en asocio; había presencia de piedras sobre la superficie; pendiente promedio 1%; el terreno circundante es algo plano; es un suelo de fertilidad mediana; los agricultores usan fertilizantes para la producción de cultivos.

## 4) Dajabón, Clavellina

El terreno estaba arado al momento del muestreo; es cultivado con yuca, maíz, frijoles y maní en rotación; la pendiente promedio es de 2%; el terreno circudante, casi llano; de mediana fertilidad; los productores usan fertilizante completo (15-15-15).

## 5) Santiago Rodriguez.

Al momento de realizar el muestreo el terreno estaba cubierto de tabaco, plantado en el mes de noviembre, el cual es alternado con maíz; antes se sembraba maní y ajonjolí; los agricultores usan fertilizantes que contiene: 4% de nitrógeno, 15% de ácido fosfórico asimilable, 30% de potasio soluble en agua y 2% de MgO; además los productores usan superfosfato triple; pendiente promedio del terreno era de 5%; el suelo es de fertilidad mediana.

## 6) Bonao, Juma

El campo estaba cultivado de frijoles, berenjena y ajíes, en mezcla; la pendiente promedio del terreno es de 2%; la topografía de la zona es casi llana; los agricultores usan fertilizantes; suelo de fertilidad alta.

## 7) Valverdemaio, Capotillo

Al realizar el muestreo el terreno estaba arado para sembrar sorgo; también se ha cultivado tabaco; la pendiente promedio del terreno es de 1%; riego por aspersión es usado

por los agricultores; los terrenos al sur y al oeste presentan una topografía fuertemente ondulada y están cubiertos por cambrones (xerófitas); el terreno es de fertilidad mediana; los productores usan fertilizantes para sus cultivos.

#### 8) Espallat, Elena

El campo estaba sembrado de yuca, plátano y guandul en asociado; además se siembra maíz, batata (camote) y frijoles; la pendiente promedio del terreno es de 8%; la topografía de la zona es fuertemente ondulada; el suelo es de alta fertilidad; los productores usan fertilizantes

#### 9) Cotuí, Cueva, Sabana Grande

Terreno cultivado de piffa con pendiente promedio 4%; la zona presenta un relieve ondulado con algunas áreas cubiertas de pastos; el suelo es de fertilidad mediana; los productores usan fertilizantes.

#### 10) San Francisco de Macoris, La Guama

Terreno cultivado de plátano; presenta pendiente promedio 2%; la topografía de la zona es plana; la fertilidad del suelo es mediana; los agricultores como componente de su tecnología usan fertilizantes.

## 11) Jarabacoa, Palo Blanco

Los agricultores siembran hortalizas; al momento del muestreo los terrenos estaban sembrados de tomate, berenjena y pepino en mezcla; los agricultores utilizan fertilizante; la pendiente promedio del terreno es de 1%; la zona donde se obtuvo la muestra es un valle; y presenta suelos de fertilidad mediana.

## 12) Villa Vásquez

El terreno estaba cultivado de yuca, guandules y plátano, en mezcla; la pendiente promedio del área es de 0,5%; lo que constituye una topografía llana, con una gran porción cubierta de cambrones (xerofitas) y cultivado de arroz en la parte sur; la fertilidad del suelo es baja; los agricultores usan fertilizantes.

## 13) Dajabón, Cayuco

El campo estaba cubierto de pasto al momento del muestreo; la topografía de la zona es llana de una pendiente promedio del 0,5%; el suelo es de baja fertilidad; los agricultores de la zona no usan fertilizantes en sus cultivos.

## 14) Bonao, Jima abajo

El campo estaba cubierto de pasto; la pendiente promedio es de 0,5%; los agricultores no usan fertilizante; el suelo del terreno es de fertilidad mediana.

### 15) Santiago de los Caballeros

Al momento del muestreo el terreno estaba arado para sembrar maíz; además se cultiva frijoles, repollo, yuca, plátano, batata y tabaco; la pendiente promedio del sitio es de 0,5%; los agricultores usan fertilizante (15-15-15); la zona es bien llana y presenta terreno de fertilidad alta.

### 3.4 Recolección y preparación de las muestras de suelos

Antes de iniciar el muestreo de suelo, se obtuvo información en la República Dominicana acerca de la disponibilidad de Zn del suelo, que se podían encontrar en diversos sitios. Se eligió un grupo de lugares con la finalidad de conseguir el mismo número de muestras con bajo mediano y alto contenido de zinc. En cada uno de estos lugares se recolectaron aproximadamente 8 kg de suelo de los primeros 30 cm de profundidad. Las muestras compuestas de suelo, obtenidas de la mezcla de 15 submuestras fueron secadas al aire y luego se pasaron a través de un tamiz de 2 mm, de diámetro. De este material se tomó una submuestra de aproximadamente 3,5 kg, la que se transportó a Costa Rica.

### 3.5 Métodos de análisis de suelos

#### 3.5.1 Análisis granulométrico

Para determinar la textura se usó el método de Bouyoucos modificado por Hardy, F. y Bazan, R. (1975),

dispersando el suelo con una solución de hexametáfosfato de sodio al 10% ( $\text{NaPO}_3)_6$ ).

### 3.5.2 Reacción del suelo (pH)

Para determinar el pH se empleó el método descrito por Diaz-Romeu, R. y Hunter, A. (1978) utilizando una relación suelo-agua 1:2,5, determinando el pH de la suspensión con un potenciómetro equipado con electrodo de combinación.

### 3.5.3 Determinación de fertilidad

Según la metodología de Diaz-Romeu, R. y Hunter, A. (1978) se extrajeron, con la solución Olsen modificado el K, P, Zn, Cu, Mn y Fe. La relación volumen de suelo:solución extractora fue de 1:10 y el tiempo de agitación de 10 minutos.

El Ca y Mg fueron extraídos con una solución de cloruro de potasio (KCl) 1N y una relación volumen de suelo:solución extractora de 1:10, agitando por 10 minutos.

### 3.5.4 Materia orgánica

La materia orgánica se determinó utilizando el método de combustión húmeda de Walkley y Black (Saiz del Rio, J. y Bornemisza, E. 1961).

### 3.5.5 Estudios de sorción

A cada muestra de suelos, se le realizó los estudios de sorción para aquellos elementos que resultaron con valores menores de 3 veces el nivel crítico, según la metodología de extracción usada en CATIE con la solución Olsen modificada (Díaz-Romeu, R. y Hunter, A. 1978). El propósito del estudio de sorción fue de obtener información para corregir las posibles deficiencias y desbalances nutricionales mostrados por los suelos, para ser aplicados en los suelos en el ensayo de invernadero (cuadro 1A, 2A, 3A y 4A).

### 3.5.6 Extracción de Zn por los diferentes métodos

Los métodos para extraer el Zn del suelo utilizados en este estudio fueron los siguientes:

1. Olsen modificado. Solución de bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,5N más solución de ácido etilendiaminoetraacético, sal disódica ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ) 0,01M, pH 8,5 a la cual se le agregan 0,05 gramos por litro de superfloc 27 como floculante. La relación suelo:solución extractora es de 1:10 y el tiempo de agitación es de 10 minutos (Díaz-Romeu, R. y Hunter, H. 1978).

2. Mehlich 1. Solución de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,025N más ácido clorhídrico (HCl) 0,05N. La relación suelo:solución extractora es de 1:5 y el tiempo de agitación es de 5 minutos.

3. AB-DTPA. Solución de bicarbonato de amonio ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ) 1,0M más solución de ácido dietilentriamino pentaacético (DTPA) 0,005M, pH 7,6. La relación suelo:solución extractora es de 1:2 y el tiempo de agitación es de 15 minutos.

4. SB-DTPA. Solución de bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0,5M más solución de ácido dietilentriamino pentaacético (DTPA) 0,005M, pH 8,5. La relación suelo:solución extractora es de 1:10 y el tiempo de agitación de 10 minutos. Esta solución ha sido desarrollada por el autor en el laboratorio de suelos del CATIE.

En todos los métodos se utilizó peso de suelo para los análisis.

El tipo de agitador para cada uno de los métodos fue el recíproco con una velocidad de 180 oscilaciones por minuto y la cantidad de Zn extraída del suelo fue calculada a partir de la lectura hecha en un espectrofotómetro de absorción atómica.

### 3.6 Técnicas de invernadero

Plantas de tomate cultivar Floradel fueron usadas como indicadoras por su sensibilidad a la deficiencia de Zn, además de ser una planta de fácil manejo en invernadero.

Las macetas utilizadas fueron recipientes plásticos de 0,2 l de capacidad. Cada maceta fue perforada una vez en la base por donde se introdujo un filtro de cigarrillo para que



el suelo pudiera ser irrigado, por ascenso capilar con una solución de nitrato de amonio colocada debajo de la maceta en un recipiente de plástico. A cada maceta se le agregó 200 g de suelo secada al aire.

A cada maceta se le aplicó el tratamiento correspondiente indicado en la sección 3,8 y se le identificó adecuadamente. Se sembraron alrededor de 10 semillas de tomate. A los 12 días se ralearon las macetas para dejar seis plantas por maceta.

La solución para la autoirrigación se colocó en recipientes plásticos de 15 cm de profundidad y 32 cm de diámetro; a las cuales se les agregó la solución, que contenía 1,5 g de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  en cinco litros de agua destilada, hasta 2,5 cm de los bordes, y sobre los recipientes se colocó una pieza de madera agujereada por donde se introdujeron los filtros de las macetas proveyendo, de esta forma irrigación por capilaridad.

La cosecha de biomasa se realizó cinco semanas después de la siembra o trasplante de las plantas de tomate. En cada maceta se determinó la altura de planta y el peso fresco del material vegetal. Este último se lavó con agua destilada y fue secado en estufa a una temperatura de 120 C por 12 horas y posteriormente a 70°C por 24 horas; después, se molió este material en un molino Wiley de acero inoxidable utilizando una malla de 425  $\mu\text{m}$  (Nº 40). El material resultante fue

usado para preparar las soluciones en las que se realizaron los análisis químicos correspondientes.

### 3.7 Análisis foliares

Para determinar el contenido de nutrimentos en las plantas, el material vegetal, fue digerido por medio de una mezcla nítrico perclórica 5:1. La solución preparada con el producto de esta digestión fue analizada para Zn usando un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer modelo 370 A).

### 3.8 Tratamientos

A muestras de 200 g de cada uno de los 15 suelos se les aplicó 0, 5, 10, 15 y 20 ppm de zinc en la forma de una solución de Cloruro de Zn ( $ZnCl_2$ ). Las dosis aplicadas fueron calculadas con base en el contenido original de Zn en el suelo y los resultados obtenidos de las curvas de absorción.

### 3.9 Determinación de rendimiento y absorción total relativa.

El rendimiento relativo de cada suelo fue obtenido a partir de la relación cuadrática entre los niveles de Zn aplicados y los rendimientos de materia seca dividiendo el rendimiento indicado por la intercepción de la curva con el eje de la Y entre el rendimiento máximo calculado por la ecuación.

En el caso de absorción total relativa de Zn, el cálculo fue hecho de manera similar. Es decir dividiendo la absorción total indicada por la intercepción de la curva con el eje de la Y entre la absorción total máxima calculada por la ecuación.

### 3.10 Determinación del nivel crítico.

La determinación gráfica del nivel crítico (Waugh, D. et al. 1973), consiste, primeramente, en colocar valores de análisis de suelo obtenidos por las extracciones de un método como la variable X y los rendimientos relativos o las absorciones totales relativas como la variable Y, en un sistema de ejes cartesianos.

Un plástico transparente que tiene trazadas dos líneas perpendiculares, de tal manera que forman cuatro cuadrantes del mismo tamaño, es colocado sobre el gráfico obtenido a partir de las variables X e Y descrito anteriormente; de tal forma que el mayor número de puntos resulten en los cuadrantes positivos y el mínimo en los cuadrantes negativos.

Se ha desarrollado un modelo matemático denominado Modelo Discontinuo de Dos Medias (Cate, R. y Nelson, L. 1971). Este método consiste en dividir los datos en dos grupos usando sucesivamente los niveles críticos tentativos para determinar el nivel crítico que maximizará la

predictibilidad total ( $R^2$ ) con las medias de las dos clases como valores predictivos.

La técnica consiste de los siguientes pasos:

1- Los datos de rendimientos o absorciones totales relativos (Y) son ordenados teniendo en cuenta el orden de magnitud de los valores de análisis de suelos (X). Los pares (x,y) se mantiene en ese orden a través de todos los análisis.

2- Empezando con el valor de X, que ubicará dos o más puntos a la izquierda de la línea divisoria vertical, se calcula la suma de cuadrados corregida de las desviaciones con respecto a las medias de las poblaciones que resultan al desplazarse a cada valor sucesivo de X. Se determina entonces la suma de las dos sumas de cuadrados corregidas a cada nivel de X, y ésta suma combinada de cuadrados se resta de la suma total de cuadrados corregidas de las desviaciones con respecto a la media general de todas las observaciones. La diferencia entre la suma combinada de cuadrados y la suma total de cuadrados corregida se expresa como  $R^2$ .

3- Por este proceso iterativo simple, se obtiene una serie de valores  $R^2$  por las divisiones hechas a varios niveles de X donde  $R^2$  es máximo

### 3.11 Selección de solución extractora.

Los dos pasos anteriormente mencionados se realizaron para cada una de las soluciones extractoras eligiendo aquella que correlacionó mejor con el rendimiento relativo del cultivo.

El diseño experimental empleado para este ensayo fue de bloques completamente al azar en un arreglo factorial de la siguiente manera:

5 niveles \* 14 muestras de suelos \* 3 repeticiones =  
210

Fuente de variación	91
Repetición	2
Suelo	13
Nivel	4
Suelo * nivel	52
Error	138

Al realizar el análisis estadístico, se analizó cada suelo como un diseño de bloques completamente al azar en arreglo factorial. Esto se realizó porque el análisis estadístico general no indica lo que está ocurriendo en cada suelo a nivel de detalle lo que es necesario para hacer

inferencias al observar los resultados en cada muestra de suelo.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1 Propiedades de los suelos estudiados.

Las características químicas y físicas de los suelos estudiados se presentan en los cuadros 1 y 2.

El pH de los suelos estudiados varió de moderadamente ácido a moderadamente alcalino. La textura estuvo en el ámbito de mediana a fina. En cuanto a contenido de P, la mayoría de los suelos presentó niveles por debajo del óptimo, sólo el suelo ocho exhibió una elevada cantidad de P; todas las muestras de suelo que mostraron nivel por debajo del óptimo de P ( $36 \mu\text{g ml}^{-1}$ ) fueron ajustadas a este nivel para el estudio de invernadero usando la información obtenida de los estudios de sorción. Sin embargo, plantas producidas en algunas muestras de suelo exhibieron coloración violácea en el envés de las hojas lo que es típico de deficiencias de P. Esto indica, probablemente, que la cantidad óptima de P disponible para el cultivo de tomate está por encima de  $36 \mu\text{g ml}^{-1}$ . Con relación al Cu, todos los suelos presentaron una concentración por encima del nivel óptimo ( $3 \mu\text{g ml}^{-1}$ ), sólo el suelo trece, que fue el más bajo en Cu, presentó exactamente la misma concentración de Cu que el nivel óptimo. Pero con este elemento ocurrió lo mismo que con el P pues, las plantas de tomate presentaron coloración amarillenta y hojas encorvadas hacia arriba y hacia adentro que es típico de deficiencias de Cu. Esto pudo haber ocurrido por el aumento en la aplicación de Zn pues estos

elementos compiten por los lugares de intercambio. La concentración de Zn en aproximadamente el 67% de los suelos presentó valores por debajo del nivel óptimo, pero la mayoría de este grupo está próximo a ese nivel; por lo que se esperaba baja respuesta del cultivo a la aplicación de Zn. Esto se reflejó en valores altos en rendimientos relativos. En tres suelos se presentaron concentraciones de Mn mayores que el nivel óptimo y de éstos, dos suelos presentaron contenido altos de este nutrimento. Los suelos # 2, 3, 6 y 9 mostraron valores de acidez intercambiable de 0,25; 1,00; 1,20 y 1,35 me por 100 ml de suelo, los cuales fueron corregidos para evitar problemas que influyeran en el normal desarrollo de las plantas de tomate (Cuadro 1).



Cuadro 1. Características químicas de los suelos recolectados sobre un transecto desde la ciudad de Santo Domingo hasta la provincia de Dajabon en Republica Dominicana.

K	Ca	Mg	Acid. Int.	CICE	P	Cu	Zn	Mn	S	PH	M.O.	Sat. Acid	Ca/Mg	Mg/K	Relaciones	
															%	%
															µ/ml de suelo	
															meq/100 ml de suelo	
1	0,47	30,32	1,65	0,10	32,54	38,22	3,30	3,03	1,30	16,37	7,80	10,56	0,31	18,37	3,51	
2	0,19	5,18	1,71	0,25	7,33	3,21	5,00	4,61	37,90	26,01	5,50	4,00	3,41	3,03	9,00	
3	0,20	4,50	1,52	1,00	7,22	11,65	6,50	4,45	35,80	40,87	5,10	7,98	13,85	2,96	7,60	
4	0,17	14,88	5,25	0,15	20,45	4,30	4,00	2,20	2,90	85,81	6,76	4,22	0,73	2,83	30,88	
5	0,44	13,06	3,38	0,05	16,93	57,54	4,20	1,92	1,50	2,29	7,11	2,89	0,30	3,86	7,68	
6	0,24	6,82	2,18	1,20	10,44	12,88	7,20	2,58	9,40	26,01	5,23	4,29	11,49	3,13	9,09	
7	1,06	12,58	4,14	0,10	17,88	45,85	4,40	2,23	3,30	11,63	6,71	4,59	0,56	3,04	3,91	
8	0,71	8,061	1,60	0,10	10,47	13,52	4,50	5,07	3,20	6,93	7,30	3,12	0,96	5,04	2,25	
9	0,35	2,04	0,41	1,35	4,15	114,14	4,00	2,73	24,10	0,00	4,71	9,31	32,53	4,98	1,17	
10	0,22	10,24	3,90	0,10	14,46	5,41	6,20	5,17	10,30	11,63	5,93	3,85	0,69	2,63	17,73	
11	0,44	15,66	4,07	0,20	20,37	44,52	6,80	2,73	8,00	13,99	5,90	6,58	0,98	3,55	9,25	
12	0,60	17,38	4,17	0,10	22,25	20,33	4,30	1,91	1,30	66,76	8,06	3,63	0,45	4,17	6,95	
13	0,27	6,01	2,70	0,15	9,13	4,67	3,00	2,44	10,00	18,76	6,47	4,44	1,64	2,23	10,00	
14	0,27	11,91	4,81	0,15	17,14	3,94	9,20	2,27	3,20	11,63	6,67	3,85	0,88	2,48	17,81	
15	0,92	26,60	3,65	0,10	31,27	18,06	7,50	2,51	1,90	11,63	7,91	4,15	0,32	7,29	3,97	

Cuadro 2. Características físicas de los suelos recolectados sobre un transecto desde la ciudad de Santo Domingo hasta la provincia de Dajabón en República Dominicana.

Muestra	Arena	Limo	Arcilla	Textura
	%			
1	9,3	33,1	57,6	Aa
2	13,7	37,4	48,9	Aa
3	30,3	38,8	30,9	F-Ab
4	15,3	47,2	37,5	Aa
5	35,8	44,7	19,5	Fc
6	21,8	41,7	36,5	F-Ab
7	21,2	47,2	31,6	F-Ab
8	57,2	21,2	21,6	F-A-Ard
9	5,2	47,3	47,5	A-Le
10	35,2	41,6	41,6	Aa
11	34,5	35,9	29,6	F-Ab
12	33,0	35,4	31,6	F-Ab
13	67,2	25,2	7,6	F-Arf
14	33,2	51,2	15,6	F-Lg
15				

- a: Arcilloso  
b: Franco-arcilloso  
c: Franco  
d: Franco-arcillo-arenoso  
e: Arcillo-limoso  
f: Franco-arenoso  
g: Franco-limoso

#### 4.2 Extracciones por las soluciones

En el cuadro 3 se puede observar los valores de Zn en los extractos de cada una de las soluciones los cuales están expresadas en ppm de Zn.

Las extracciones realizadas con la solución Mehlich 1 variaron de 0,20 a 6,98  $\mu\text{g g}^{-1}$ , con una media de 2,22  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Las extracciones efectuadas con la solución Olsen Modificado variaron de 1,07 a 3,53  $\mu\text{g g}^{-1}$  con una media de 2,51; con

AB-DTPA las cantidades de extraídas variaron de 1,43 a 4,78 $\mu\text{g g}^{-1}$  con una media de 2,64; con la solución SB-DTPA las extracciones variaron de 2,27 a 5,77  $\mu\text{g g}^{-1}$  con una media de 3,87.

Se observa que las cantidades de Zn más bajas y más altas extraídas por cada solución fueron obtenidas en diferentes tipos de suelos. Esto ocurre debido a que los factores del suelo (textura, pH, materia orgánica, concentración de otros elementos, entre otros) influyeron de forma diferente en las extracciones con cada solución. La solución extractora Mehlich 1 presentó un rango más amplio en las extracciones comparado con las otras soluciones, pero tuvo el valor promedio más bajo. En el caso del SB-DTPA, no hubo mucha diferencia entre las extracciones de Zn obtenidas de cada una de las muestras de suelos, si se las compara con la demás soluciones. La solución SB-DTPA arrojó el promedio más alto en este estudio. Como se puede apreciar, las soluciones extractoras AB-DTPA y SB-DTPA son las que en promedio extraen más Zn del suelo, lo que se explica por la acción del quelatante que está presente en estas soluciones.

Cuadro 3. Cantidad de Zn extraída ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ), por cuatro soluciones en 15 muestras de suelo de la República Dominicana.

Muestra de suelo	Solución extractora			
	Mehlich 1	Olsen Modificado	AB-DTPA	SB-DTPA
	$\mu\text{g g}^{-1}$			
1	0,20	3,13	4,75	5,17
2	4,04	1,81	4,79	2,50
3	2,81	2,78	3,58	4,06
4	1,15	3,53	1,57	4,92
5	1,56	2,83	1,43	3,63
6	1,57	1,67	2,84	2,27
7	1,98	4,16	2,11	5,23
8	6,98	3,10	3,73	5,77
9	1,63	2,46	2,04	3,14
10	3,16	3,13	4,72	3,73
11	2,79	3,22	3,19	4,51
12	0,10	2,02	2,84	3,67
13	2,22	1,29	2,05	2,85
14	2,57	1,07	2,98	3,38
15	0,54	1,49	2,21	3,19

4.3 Correlación entre cantidades de Zn extraídas por las diferentes soluciones estudiadas.

Los coeficientes de correlación obtenidos entre las cantidades de Zn extraídas por las cuatro soluciones son presentadas en el Cuadro 4.

Se observa que sólo para las cantidades de Zn extraídas por las soluciones de Olsen modificado y SB-DTPA se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,80661 que es altamente significativo. Lo que indica que cualquiera de ellas extrae de manera similar cantidades de Zn de los suelos bajo estudio. Es importante que se haya obtenido diferencias significativas entre la mayoría. Porque que las soluciones evaluadas extraen Zn presente en el suelo en diferentes formas químicas; la extracción de Zn en cantidades similares indica que las soluciones extractoras tienen el mismo mecanismo químico de extracción de Zn.

Considerando que para el método de Olsen modificado se tiene establecido un nivel crítico general para Zn extraído, la información obtenida sobre correlaciones de las cantidades de Zn extraídos por las soluciones y con el desempeño del cultivo de tomate como planta indicadora puede ser utilizado para establecer, por interpolación, niveles críticos en curvas de correlación obtenidas entre las cantidades de Zn extraídas por las soluciones Olsen modificado y el SB-DTPA.

Cuadro 4. Matriz de correlación y nivel de significancia obtenido para cantidades de Zn extraído por cuatro soluciones extractoras en 15 suelos de la República Dominicana.

	Mehlich 1	Olsen modificado	AB-DTPA	SB-DTPA
Correlación/Significancia				
Mehlich 1	1,00000 0,0000	0,11549 0,6942	0,37025 0,1925	0,21717 0,4558
Olsen Modificado	0,11549 0,6942	1,00000 0,0000	0,02798 0,9244	0,80661 0,0005
AB-DTPA	0,37025 0,1925	0,02798 0,9244	1,00000 0,0000	0,03955 0,8932
SB-DTPA	0,21717 0,4558	0,80661 0,0005	0,03955 0,8932	1,00000 0,0000

#### 4.4 Materia seca

Los datos de rendimientos de materia seca (g/maceta) producido por plantas de tomate de siete semanas de edad para cada nivel en las muestras de suelos procedentes de la República Dominicana, se pueden observar en el cuadro 6.

El rendimiento expresado en g por maceta de materia seca, se presenta en las figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8.

Las figuras 3, 4, 7, y 8 son representaciones del desempeño de seis plantas de tomate cultivar Floradel. En las muestras de los suelos # 3, 4, 12, y 14, se nota una tendencia de los rendimientos de materia seca a aumentar como respuesta al incremento de los niveles de Zn aplicados. Esto puede ser explicado para los suelos 5 (fig 4), 13 (fig 7) y 14 (fig 8) porque el contenido de Zn en las muestras de

suelos no tratadas fue de 1,92, 1,91 y 2,27  $\mu\text{g ml}^{-1}$ , respectivamente (cuadro 1). Tal concentración se encuentra por debajo de 3  $\mu\text{g ml}^{-1}$ , nivel crítico para la solución extractora Olsen Modificado (Diaz-Romeu, R. y Hunter, A. 1978). Para el suelo # 3, se puede observar una tendencia de ascenso en rendimiento de materia seca a medida que la dosis de Zn aplicados fue aumentada (fig 3). Esto no es lo esperado ya que la muestra no tratada de suelo presentó 4,45 ppm de Zn extraible concentración que está por encima del nivel crítico de 3  $\mu\text{g ml}^{-1}$ . La respuesta obtenida pudo ser debido a que la solución extractora (Olsen Modificado), para este tipo de suelo (número tres), no predice bien la probabilidad de respuesta del cultivo de tomate a la aplicación de Zn. Además, este suelo tenía alta concentración de Cu y Mn (Cuadro 1) condición que reduce la disponibilidad de Zn por efectos competitivos (Giordano, et al. 1974). En los suelos # 1 (fig 2) y 11 (fig 6) no hubo respuesta en rendimientos de las plantas de tomate lo que se explica porque las muestras sin tratamiento de Zn de suelo presentaron concentraciones cercanas a 3  $\mu\text{g ml}^{-1}$  de Zn (cuadro 1) (Diaz-Romeu, R. y Hunter, A. 1978).

En los suelos # 2 (fig 2), 4 (fig 3), 6 (fig 4) y 7 (fig 5) se obtuvo una tendencia descendente del rendimiento con el aumento en los niveles de Zn aplicados. Esto posiblemente se debió a factores que se volvieron limitantes en las muestras, debido a la aplicación de Zn; por ejemplo, el aumento en el contenido de Zn disminuye la disponibilidad

del Cu por efecto competitivo por los sitios de intercambio (Giordano, P. et al. 1974). Esto es lo que pudo haber ocurrido en la muestra de suelo # 15 (fig 8 y cuadro 1) que tuvo un aumento al principio seguido por una disminución.

En la muestra de suelo # 8 (fig 5) la respuesta del rendimiento de materia seca a la dosis de Zn aplicado mostró un desempeño particular. La alta concentración de Zn disponible en la muestra no tratada (cuadro 1), se interpretó como una baja posibilidad de respuesta positiva a la aplicación de Zn. Para los dos primeros niveles de aplicación la respuesta fue negativa, seguido por retorno a la producción del suelo no tratado las dosis mayores siguientes.

La interpretación del análisis de varianza (Cuadro 6) indica que no hubo respuesta significativa en rendimientos de materia seca de la planta indicadora al incremento en la aplicación de los niveles de Zn usados. Por lo tanto, se infiere que la cantidad de Zn en las muestras de suelos no tratada con Zn era suficiente para el normal desarrollo vegetativo de las plantas de tomates.



Cuadro 5. Rendimiento de materia seca, en g<sup>pl</sup> por maceta, de plantas de tomate (*Lycopersicum esculentum*) cultivar Floradel de 7 semanas de edad obtenidas en muestras de 14 suelos de República Dominicana y para cinco niveles de aplicación de Zn. Turrialba. 1988

Suelos	Niveles de Zn aplicados ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )				
	0	5	10	15	20
1	1,77	2,09	1,83	1,53	2,08
2	2,43	2,23	2,38	1,89	2,00
3	1,19	1,12	1,18	1,26	1,36
4	1,07	1,19	0,99	1,08	1,05
5	1,47	2,08	1,52	2,78	2,57
6	0,79	0,86	0,70	0,72	0,63
7	0,68	0,50	0,49	0,35	0,39
8	5,34	4,51	3,57	4,50	5,78
10	1,44	1,48	1,68	1,33	1,45
11	0,89	0,76	0,88	0,77	0,88
12	0,17	0,14	0,24	0,19	0,20
13	0,32	0,36	0,35	0,40	0,35
14	2,06	2,06	1,91	2,20	2,35
15	2,98	3,65	4,09	2,93	2,32

a/ Materia seca de la parte aerea de seis plantas

Cuadro 6. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomates de siete semanas de edad sembradas en muestras de suelos de República Dominicana. Turrialba.1988.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,25027314	0,81	0,4484
Suelo	13	22,90780159	73,85	0,0001
Nivel	4	0,10451718	0,34	0,8527
Suelo*nivel	52	0,39690786	1,28	0,1309
Error	138	0,31019104	-	-

C.V.=34,582956

Los resultados de los análisis de varianza de la materia seca de plantas de tomate producida en las muestras de los suelos (cuadro 7), permitieron identificar que los suelos cinco y ocho fueron los únicos que mostraron diferencias significativa al 10% de confiabilidad. En el

caso del suelo número cinco la explicación de lo observado es por la baja cantidad de Zn en el suelo no tratado, 1,92 ppm, (cuadro 1) y en el suelo ocho por la alta concentración de P y Cu (cuadro 1) presente en el suelo (Kalyanasundaran, N. y Mehta, B. 1970; Chaudhry, F. y Lomeragan, J. 1972).

El suelo # 5 pertenece a uno de los dos suelos que tenía el nivel de Zn más bajo, 1,92 ppm, (cuadro 1) lo que indica la posibilidad de que el nivel crítico de disponibilidad de Zn para el cultivo de tomate este por debajo de este nivel.

Cuadro 7. Resultados de los análisis de varianza para la variable rendimiento de materia seca producidos en el invernadero por plantas de tomates de siete semanas en muestras de suelos de República Dominicana, Turrialba. 1988.

Suelo	C.M. para niveles aplicados	C.M. del error	F	Prob>F	C.V.
1	0,1626	0,3660	0,44	0,7741	32,5391
2	0,1667	0,4494	0,37	0,8232	30,6004
3	0,0258	0,0935	0,28	0,8853	25,0326
4	0,0160	0,0545	0,29	0,8737	21,7382
5	1,0695	0,3554	3,01	0,0865	28,6353
6	0,0245	0,0520	0,47	0,7555	30,7754
7	0,0483	0,0395	1,22	0,3732	41,1374
8	2,1862	0,6785	3,22	0,0746	17,3808
10	0,0487	0,3156	0,15	0,9557	38,1007
11	0,0131	0,0228	0,57	0,6892	18,0490
12	0,0039	0,0036	1,10	0,4208	32,3089
13	0,0024	0,0016	1,47	0,2984	11,2465
14	0,0813	0,1796	0,45	0,7687	20,0274
15	1,4152	0,9053	1,56	0,2734	29,7997

A pesar de no haber detectado diferencias estadísticamente significativas de la respuesta de la

planta de tomate a las aplicaciones de Zn se procedió a determinar lo siguiente para ver los resultados:

#### 4.5 Rendimientos relativos

Para determinar los rendimientos relativos de materia seca se ajustó una ecuación cuadrática a los resultados obtenidos de la relación niveles de Zn aplicados a las muestras de los suelos y los rendimientos de materia seca obtenidos para cada una. Con esta ecuación se determinó el rendimiento máximo de la planta indicadora para cada suelo, y la intercepción con la ordenada se tomó como el rendimiento para la muestra de suelo no tratada. Finalmente se dividió aritméticamente el rendimiento obtenido para la intercepción con el eje Y entre el valor máximo obtenido (Cuadro 8).

Se observa que el rendimiento relativo fue bajo sólo en un suelo, confirmandose así lo inferido del análisis de varianza de los rendimientos de materia seca de las plantas de tomate obtenidos como respuesta a los niveles de Zn aplicados; de que los niveles de Zn no influyeron significativamente en los rendimientos de materia seca

Cuadro 8. Rendimientos relativos de materia seca expresados en g por maceta producido por plantas de tomates de siete semanas de edad en muestras de suelos de la República Dominicana. Turrialba. 1988.

Suelo	Rendimiento calculado para el nivel cero	Rendimiento maximo	Rendimiento relativo
	g por maceta		
1	1,92	* 2,09	84,70
2	2,43	5,55	43,76
3	1,17	* 1,36	87,50
4	1,10	1,23	89,59
5	1,53	* 2,78	52,90
6	0,82	0,82	99,76
7	0,67	* 0,50	136,00
8	5,43	* 5,78	92,40
10	1,44	1,53	94,34
11	0,88	* 0,88	100,00
12	0,15	0,20	75,68
13	0,32	0,38	84,94
14	2,07	* 2,35	87,70
15	3,01	3,82	78,79

\*. Para estos suelos, como la cuadrática arrojó un valor mínimo, se tomó el valor más alto entre los diferentes niveles aplicados como el valor máximo para el cálculo del rendimiento relativo.

4.6 Correlación entre concentración de Zn en el suelo extraído por las soluciones estudiadas y rendimientos relativos.

Los rendimientos relativos obtenidos en cada una de las muestras de suelos fueron correlacionadas por el método matemático desarrollado por Cate y Nelson, en el 1971, con el Zn extraíble en los suelos por cada una de las soluciones extractoras. Se observó, en forma general, que el Zn extraído de los suelos por las diferentes soluciones tuvieron no correlacionó con los rendimientos relativos. Esto se debió a que no hubo respuesta significativa de los

rendimientos de materia seca al aumento en la aplicación de niveles de Zn. Según las correlaciones obtenidas, el AB-DTPA fue el mejor extractante con un  $R^2=0,43$  (cuadro 11), seguido por Melich 1 con  $R^2= 0,12$  (cuadro 9), luego Olsen Modificado con  $R^2=0,11$  (cuadro 10) y por último el SB-DTPA con  $R^2= 0,07$  (cuadro 12).

Para propósito de ilustración del método gráfico, en el apéndice (fig 1A, 2A, 3A y 4a) han sido representadas las correlaciones efectuadas por éste método.

Cuadro 9. Correlación del Zn extraíble en,  $\mu\text{g g}^{-1}$ , por la solución extractora Melich 1 con los rendimientos relativos de materia seca producidos por las plantas de tomate en muestras de suelos de la República Dominicana.

Zn extraíble ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Rendimiento relativo %	$R^2$
0,20	84,70	0,01
0,54	78,79	0,02
1,15	89,59	0,03
1,56	52,90	0,12
1,57	99,77	0,09
1,98	40,90	0,04
2,22	84,94	0,02
2,57	87,70	0,02
2,79	100,00	0,02
2,81	87,50	0,02
3,16	94,34	0,01

Cuadro 10. Correlación del Zn extraíble ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ), por la solución extractora Olsen Modificada con los rendimientos relativos de materia seca producidos por las plantas de tomate en muestras de suelo de la República Dominicana.

Zn extraíble ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Rendimiento relativo %	R <sup>2</sup>
1,29	84,94	0,01
1,49	78,79	0,02
1,67	99,77	0,02
1,81	43,76	0,07
2,02	75,68	0,10
2,78	87,50	0,11
2,83	52,90	0,03
3,10	92,40	0,05
3,13	84,70	0,05
3,13	94,34	0,04
3,22	100,00	0,05

Cuadro 11. Correlación del Zn extraíble ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ), por la solución extractora AB-DTPA con los rendimientos relativos de materia seca producidos por las plantas de tomate en muestras de suelo de la República Dominicana. Turrialba.1988.

Zn extraíble ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Rendimiento relativo %	R <sup>2</sup>
1,57	89,59	0,43
2,05	84,94	0,25
2,11	40,90	0,11
2,21	78,79	0,06
2,84	75,68	0,03
2,84	99,77	0,03
2,98	87,70	0,02
3,19	100,00	0,02
3,58	87,50	0,02
3,73	92,40	0,04
4,72	94,34	0,03

Cuadro 12. Correlación del Zn extraíble, en  $\mu\text{g g}^{-1}$ , por la solución extractora SB-DTPA con los rendimientos relativos de materia seca producidos por las plantas de tomate en muestras de suelo de la República Dominicana. Turrialba.1988.

Zn extraíble ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Rendimiento relativo %	R <sup>2</sup>
2,50	43,76	0,04
2,85	84,94	0,05
3,19	78,79	0,07
3,38	87,70	0,07
3,63	52,90	0,06
3,67	75,68	0,03
3,73	94,34	0,02
4,06	87,50	0,02
4,51	100,00	0,02
4,92	89,59	0,01
5,17	84,70	0,01

#### 4.7 Concentraciones de Zn en los tejidos de las plantas de tomate

Las concentraciones de Zn en la parte aérea de las plantas están expresadas en  $\mu\text{g g}^{-1}$  y pueden ser observada, en el cuadro 13.

Cuadro 13. Concentración de Zn,  $\mu\text{g g}^{-1}$ , en plantas de tomate de siete semanas de edad sembradas en muestras de suelo de República Dominicana. Los valores son promedio de tres repeticiones.

Turrialba. 1988

Suelo	Niveles de Zn aplicados, $\mu\text{g g}^{-1}$				
	0	5	10	15	20
1	42,66	75,00	57,33	73,66	74,33
2	85,33	106,30	115,60	136,30	123,00
3	87,33	99,50	107,60	147,60	151,60
4	61,66	68,66	94,66	106,30	98,00
5	39,33	51,00	47,33	69,33	63,00
6	67,33	70,00	108,10	88,82	104,10
7	66,78	115,80	121,40	293,80	181,00
8	47,66	55,33	60,66	82,33	60,00
10	113,00	98,66	121,30	102,30	196,30
11	97,00	115,30	90,00	110,30	102,30
12	137,00	163,10	151,50	105,20	106,90
13	118,20	151,70	210,70	204,10	247,20
14	75,00	88,33	109,50	108,30	124,00
15	41,66	50,66	53,33	71,66	82,66

En las figuras 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15, pueden ser observado lo siguiente:

En los suelos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 14 y 15 (fig 9, 10, 11, 12, 13 y 15) se notó un aumento en las concentraciones de Zn debido al aumento de los niveles de Zn aplicados. En las muestras 1 y 8 se notó que no hubo aumento tan alto como en las demás; en el primer caso pudo haberse debido a que la muestra de suelo contenía  $3,03 \mu\text{g ml}^{-1}$  de Zn que es un poco más alto que el nivel óptimo de  $3 \mu\text{g ml}^{-1}$  establecido para Olsen Modificado (Diaz-Romeu, R. y Hunter, A. 1978). Además, los suelos indicados tenían una alta cantidad de Cu y P que son elementos que reducen la absorción de Zn por las plantas (Kalyanasundaram, N. y



Loneragan, J. 1970). En el segundo caso, el resultado es explicado por tener, la muestra de suelo, una elevada concentración de Zn extraíble para el nivel cero de aplicación de Zn.

El análisis de varianza de la concentración de Zn en tejidos de la planta indicadora (cuadro 14) mostró que la aplicación de los diferentes niveles de Zn fue altamente significativa para la obtención de los aumentos en las concentraciones de Zn en las plantas.

Cuadro 14. Análisis de varianza para la concentración de Zn en plantas de tomate de siete semanas de edad, sembradas en muestras de suelo de República Dominicana.

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	604,8931	302,4465	0,16	0,8529
Suelo	13	292968,7382	22536,0568	11,87	0,0001
Nivele	4	61999,8106	15499,9526	8,16	0,0001
Suelo*nivele	52	126733,7988	2437,1884	1,28	0,1278
Error	138	261992,71347	1898,49792		

C.V.=42,05

En los resultados de los análisis de varianza sobre las concentraciones de Zn en las plantas para cada uno de los suelos (cuadro 15) puede ser observado que hubo respuesta altamente significativa en los suelos 2, 3, 13, 14 y 15 y significativa en el suelo 1. En los suelos 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11 y 12 los tratamientos con Zn no fueron significativos. Sin embargo, en las figuras 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 se observa que hubo aumento de la concentración de Zn en los tejidos de las plantas producidas en la mayoría de los suelos. Es posible que no se pudo detectar

diferencias significativas para la concentración en los tejidos de plantas sembradas en las muestras tratadas de esos 8 suelos debido a que el error experimental fue tan alto que los aumentos obtenidos como respuesta a la aplicación de Zn resultaron no ser estadísticamente diferentes.

cuadro 15. Análisis de varianza para la variable concentración de Zn en las plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en suelos de la República Dominicana.

Suelo	C.M. de niveles	C.M. del error	F	prob>F	C.V.
1	614,23	125,133	4,91	0,0270	17,32
2	1095,67	142,570	7,69	0,0076	10,535
3	2550,066	300,866	8,48	0,0056	14,604
4	1143,766	459,816	2,49	0,1269	24,972
5	438,500	256,950	1,71	0,2409	29,684
6	1064,271	1130,173	0,94	0,4873	38,334
7	22786,089	14034,705	1,62	0,2591	76,045
8	499,433	266,283	1,88	0,2082	26,663
10	4833,166	2002,366	2,41	0,1344	35,420
11	308,500	562,600	0,55	0,7059	23,028
12	2040,186	5379,582	0,38	0,8177	55,234
13	7852,754	1017,793	7,72	0,0075	17,1129
14	1118,600	94,050	11,89	0,0019	9,5987
15	838,166	126,716	6,61	0,011	18,7614

#### 4.8 Absorción de Zn

No se obtuvo respuesta significativa en los rendimientos de materia seca, pero si hubo respuesta altamente significativa para los aumentos de las concentraciones de Zn en las plantas causada por el aumento de los niveles de Zn aplicados. La multiplicación de ambos datos (rendimiento de materia seca, en gramos por macetas, por concentración de Zn en los tejidos, en partes por

millón) representa la absorción total de Zn por las plantas (cuadro 17). Esto se tomó como un respuesta de las plantas al aumento en los niveles de Zn aplicados. Las figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22 muestran en forma general una mejor respuesta, que las obtenidas con los rendimientos en materia seca.

Cuadro 16. Absorción total de Zn,  $\mu\text{g}$ , por plantas de tomate de siete semanas cosechadas de macetas con muestras de suelos de la República Dominicana.

Suelo	Niveles de Zn, ppm				
	0	5	10	15	20
1	75,52	156,55	104,89	112,76	154,49
2	207,59	237,62	274,90	257,67	245,84
3	103,69	111,21	127,01	186,36	206,22
4	66,04	81,53	93,37	114,66	102,44
5	57,69	105,91	71,77	193,02	161,68
6	53,42	60,43	75,38	64,07	65,46
7	45,19	58,40	59,96	102,01	71,32
8	254,33	249,70	216,48	370,53	346,70
10	162,42	146,16	203,52	135,80	284,62
11	86,56	87,35	78,78	85,03	90,41
12	22,65	22,89	35,77	19,47	21,52
13	37,63	54,97	73,56	80,92	87,70
14	154,20	181,91	209,91	238,01	291,57
15	124,28	184,85	218,85	209,03	191,73

#### 4.9 Absorción relativa.

Los resultados de la relación: niveles versus absorciones totales de Zn, fueron ajustados a una ecuación cuadrática con la que se calculó absorción máxima, y el intercepto de la ecuación con el eje Y se tomó como la absorción en la muestra de suelo a la que no se aplicó Zn. Con estos datos, se calculó la absorción relativa para cada suelo que es igual a la absorción obtenida del suelo no

tratado dividido entre la absorción máxima de Zn (cuadro 17). Se observa que hubo absorción relativas altas y también bajas, que da como resultado una buena dispersión de los puntos lo que es importante para obtener buenas correlaciones con los métodos de extracciones de nutrimentos del suelo. Esto, hace más útil la absorción relativa que el rendimiento relativo, para las correlaciones.

Cuadro 17. Absorción relativa de plantas de tomate variedad Floradel de siete semanas cultivadas en suelos de Republica Dominicana.

Suelo	Absorción obtenida sin aplicación Zn	Absorción máxima calculada	Absorción relativa
1	95,29	147,48	64,61
2	205,66	266,83	77,08
3	100,61	96,88	103,85
4	63,86	106,72	59,84
5	58,46	932,51	6,27
6	52,85	69,83	75,68
7	41,44	80,93	51,20
8	247,70	244,33	101,38
10	168,99	147,86	114,29
11	87,97	82,15	107,08
12	21,94	28,16	77,91
13	37,11	88,78	41,80
14	156,35	133,76	116,89
15	125,39	218,59	57,36

4.10 Correlaciones de los valores de Zn extraído por las soluciones extractoras con las absorciones relativas de Zn por las plantas de tomate.

Las correlaciones de las cantidades de Zn extraídas por las soluciones estudiadas con las absorciones relativas obtenidas, fueron calculadas por el procedimiento matemático del modelo discontinuo de dos medias (Waugh, D. et al. 1973)

(cuadros 18, 19, 20 y 21). La solución extractora que dió la mejor correlación fue la Mehlich 1 (cuadro 20) con un  $R^2=0.64$ , seguido muy de cerca por AB-DTPA con  $R^2=0,62$  (cuadro 18), el SB-DTPA fue la tercera (cuadro 21) con un  $R^2=0,13$ , el ultimo fue Olsen Modificado (cuadro 19) con  $R^2=0,07$  (cuadro 18, 19, 20 y 21). Los niveles críticos fueron 2,21; 3,22; 2,22 y 3,63 para las cantidades de Zn extraídas de las muestras de suelos por las soluciones, AB-DTPA, Olsen Modificado Mehlich 1 y SB-DTPA, respectivamente.

Para propósito de ilustración del método gráfico, en el apéndice (fig 5A, 6A, 7A y 8A) han sido representadas las correlaciones efectuadas por éste método.

Cuadro 18. Correlación del Zn extraible del suelo por la solución extractora AB-DTPA con la absorción relativa de Zn por plantas de tomate cultivar Floradel de siete semanas de edad cultivadas en invernadero en suelos de Republica Dominicana.

Zn extraible ppm	Absorción relativa %	$R^2$
1,57	59,84	0,32
2,05	41,80	0,46
2,11	51,20	0,55
2,21	57,36	0,62
2,84	77,91	0,56
2,84	75,68	0,55
2,98	116,89	0,30
3,19	107,08	0,17
3,58	103,85	0,08
3,75	101,38	0,03
4,72	114,29	0,00

Cuadro 19. Correlación del Zn extraíble del suelo por la solución extractora Olsen Modificado con la absorción relativa de Zn por plantas de tomate cultivar Floradel de siete semanas de edad cultivadas en invernadero en suelos de República Dominicana.

Zn extraíble ppm	Absorción relativa %	R <sup>2</sup>
1,29	41,80	0,00
1,49	57,36	0,00
1,67	75,68	0,00
1,81	77,08	0,00
2,02	77,91	0,00
2,78	103,85	0,01
2,83	6,27	0,05
3,10	101,38	0,01
3,13	64,61	0,03
3,13	114,29	0,00
3,22	107,08	0,07

Cuadro 20. Correlación del Zn extraíble del suelo por la solución extractora Mehlich 1 con la absorción relativa de Zn por plantas de tomate cultivar Floradel de siete semanas de edad cultivadas en invernadero en suelos de República Dominicana. Turrialba.1988.

Zn extraíble ppm	Absorción relativa %	R <sup>2</sup>
0,20	64,61	0,00
0,54	57,36	0,02
1,15	59,84	0,05
1,56	6,27	0,30
1,57	75,68	0,28
1,98	51,20	0,40
2,22	41,80	0,64
2,57	116,89	0,39
2,79	107,08	0,25
2,81	103,85	0,15
3,16	114,29	0,03

Cuadro 21. Correlación del Zn extraíble del suelo por la solución extractora SB-DTPA con la absorción relativa de Zn por plantas de tomate cultivar Floradel de siete semanas de edad cultivadas en invernadero en suelos de República Dominicana.

Zn extraíble ppm	Absorción relativa %	R <sup>2</sup>
2,50	77,08	0,00
2,85	41,80	0,03
3,19	57,36	0,07
3,38	116,89	0,00
3,63	6,27	0,13
3,67	77,91	0,12
3,73	114,29	0,03
4,06	103,85	0,00
4,51	107,08	0,02
4,92	59,84	0,00
5,17	64,61	0,00

Como se puede apreciar para el caso del AB-DTPA, el rendimiento relativo de materia seca, que es el parámetro más utilizado para evaluar soluciones extractoras de nutrimentos, fue el que dió mejor correlación con la concentración de Zn en el suelo y arrojó el valor mayor de todas las demás soluciones extractoras (cuadro 11). El coeficiente de correlación de la absorción relativa con la concentración de Zn resultó menor que la de solución extractora Melich 1 pero muy cercano, lo que indica que la solución extractora AB-DTPA fue adecuada para predecir el comportamiento del cultivo de tomate con respecto al Zn disponible. Además, esta solución extractora es útil para establecer índice de toxicidad, por la formación de quelatos por el DTPA y los cationes de Zn. También, pueden ser usada para estudios de otros nutrimentos.

La solución extractora Mehlich 1 es ampliamente usada para suelos con un pH menor a 6,5; mientras que el Olsen Modificado puede ser usado para suelos con un amplio rango de pH, desde ácido hasta alcalino. En este ensayo, los suelos variaron en pH pues, los hubo con valores mayores y otros con valores menores a 6,5; sin embargo, la solución Mehlich 1, tanto cuando fueron utilizados los rendimientos relativos, así como con las absorciones relativas dió mejor correlación que la solución Olsen Modificado.

El SB-DTPA es una solución extractora que surgió de la combinación del AB-DTPA y Olsen Modificado. Escogiendo el DTPA que es un quelatante más nuevo que el EDTA y el  $\text{NaHCO}_3$  que es un reactivo más fácil de conseguir y más barato en el mercado que el  $\text{NH}_4\text{CO}_3$ , pero según los resultados obtenidos en este trabajo, esta solución extractora no permitió obtener concentraciones en el suelo que correlacionara bien con el rendimiento relativo ni con la absorción relativa.



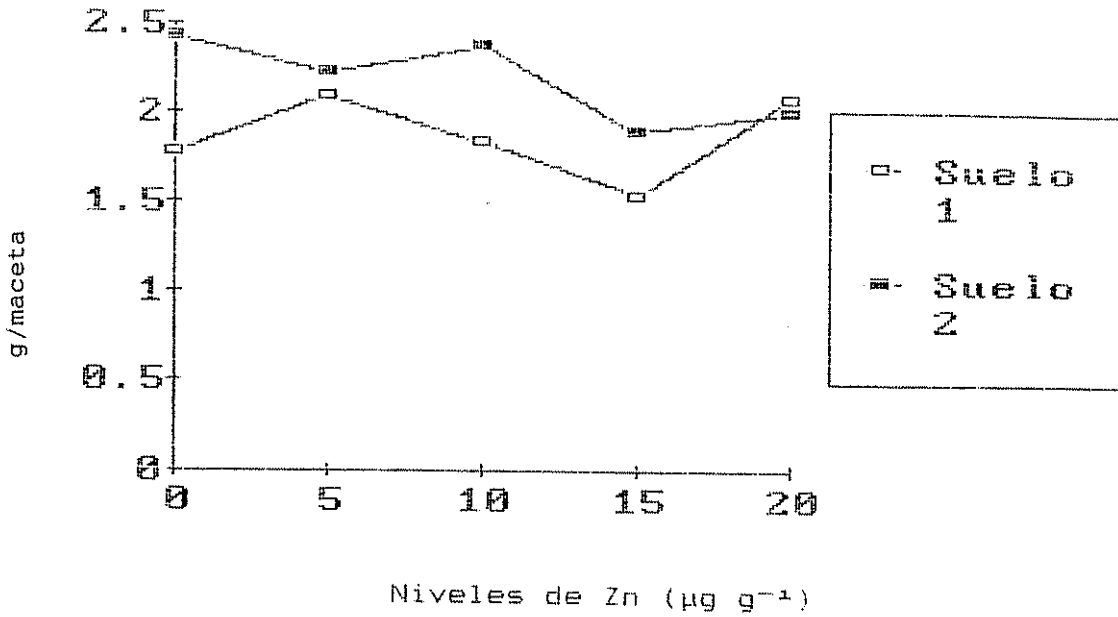


Fig. 2. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel como respuesta a niveles crecientes de Zn aplicados a muestras de suelos de Republica Dominicana

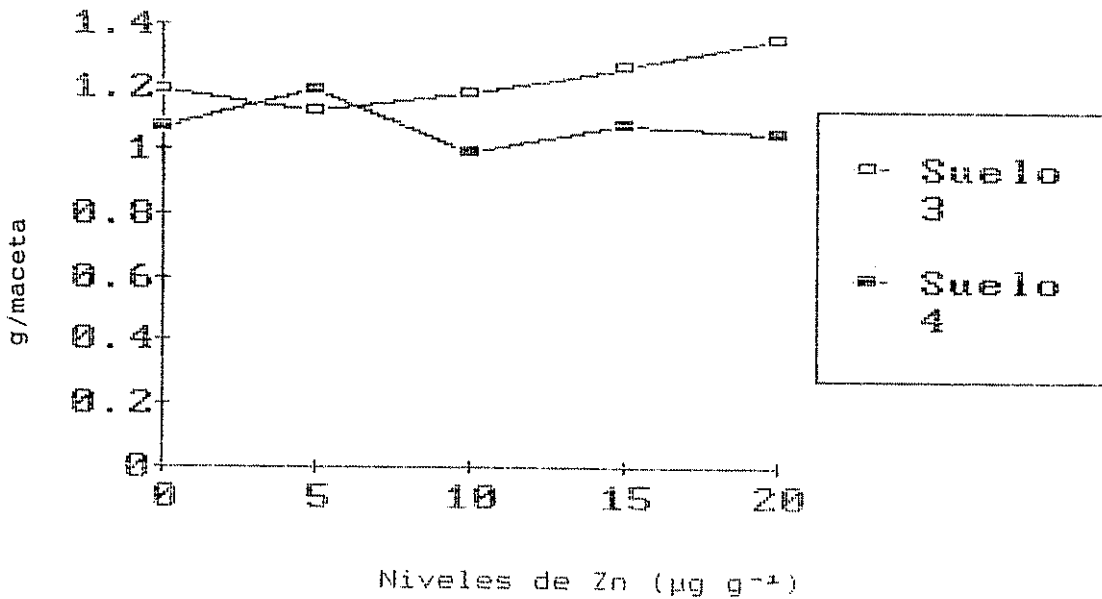


Fig. 3. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel como respuesta a niveles crecientes de Zn aplicados a muestras de suelos de Republica Dominicana

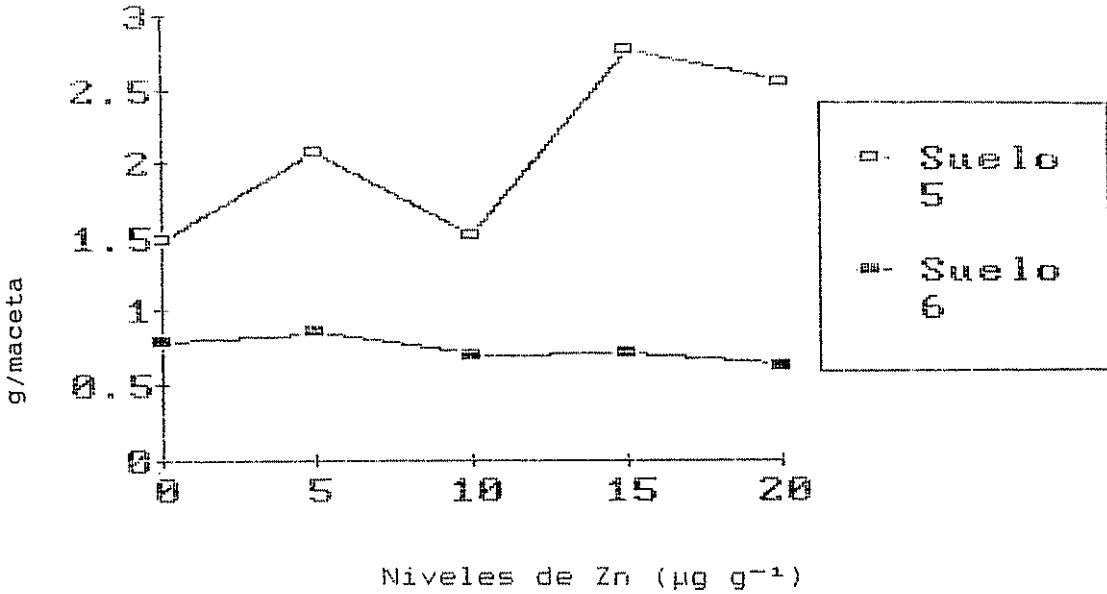


Fig. 4. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel como respuesta a niveles crecientes de Zn aplicados a muestras de suelos de República Dominicana

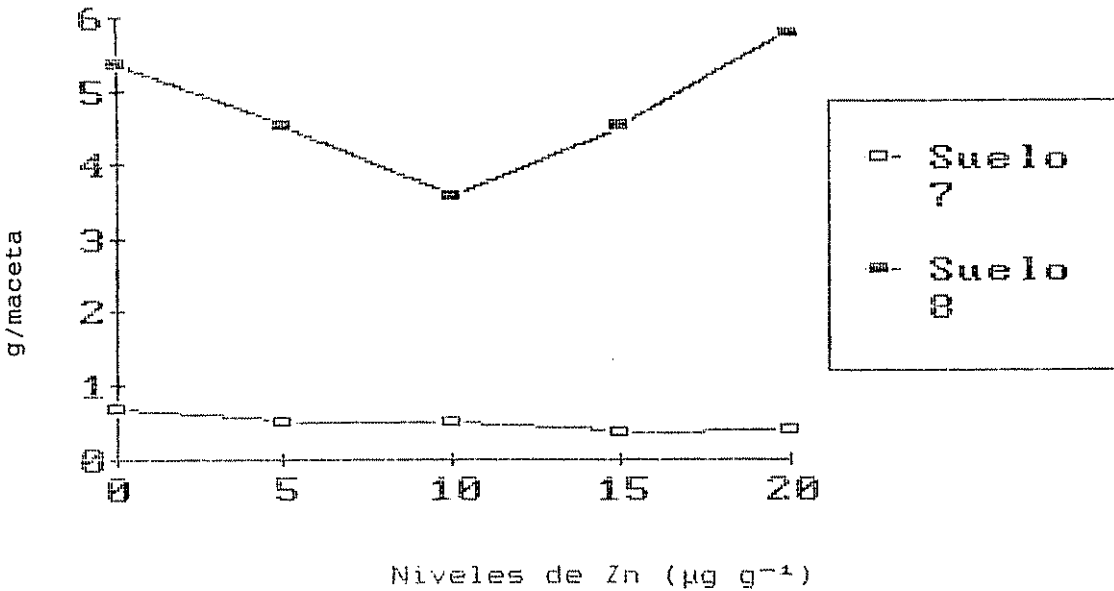


Fig. 5. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel aplicados a muestras de suelos de República Dominicana

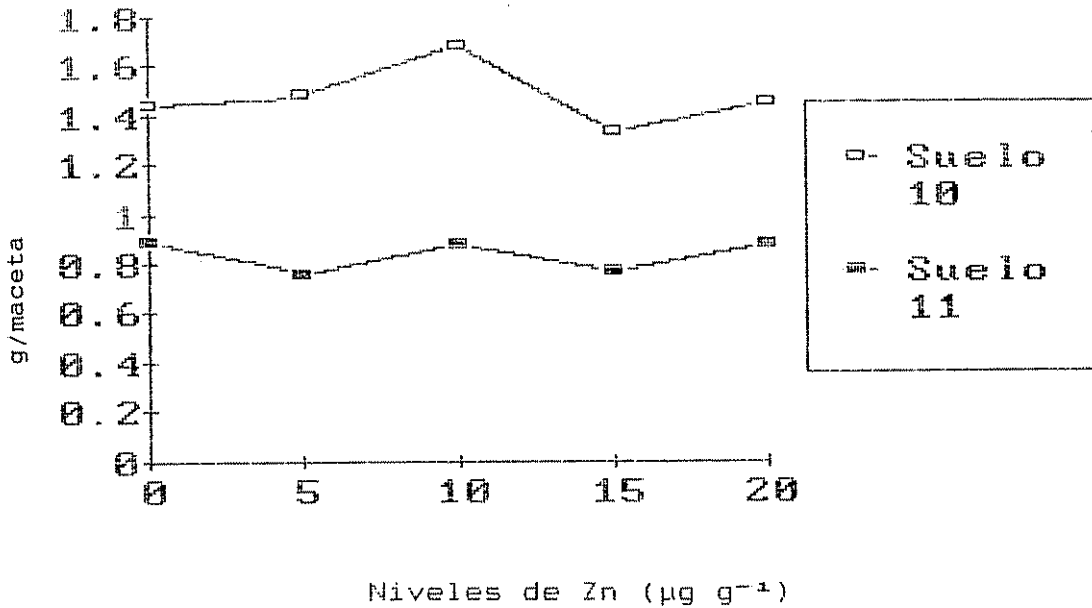


Fig. 6. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel como respuesta a niveles crecientes de Zn aplicados a muestras de suelos de Republica Dominicana

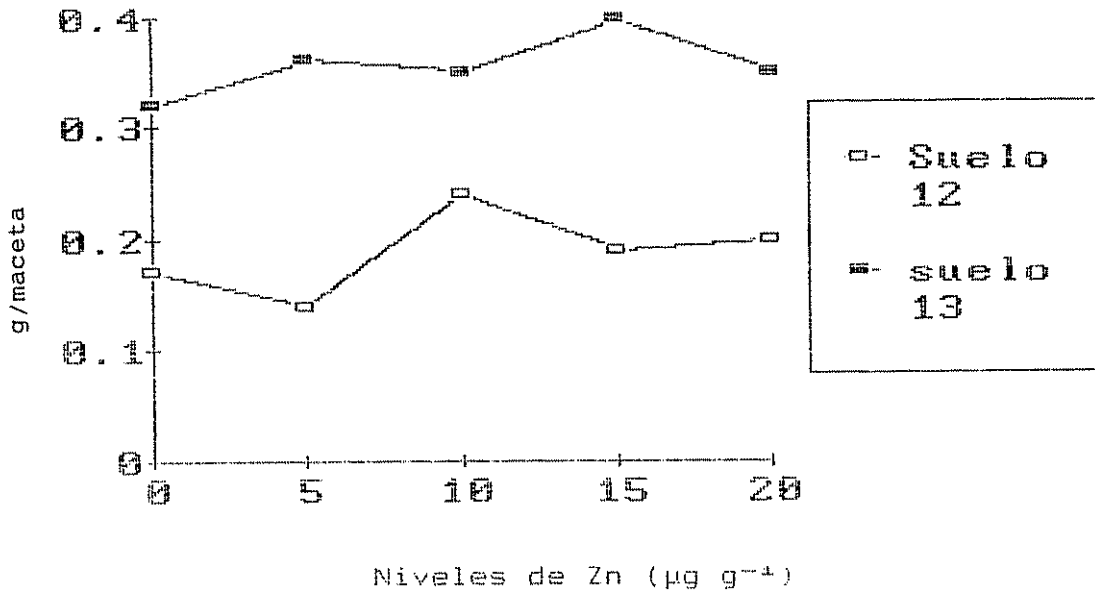


Fig. 7. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel como respuesta a niveles crecientes de Zn aplicados a muestras de suelos de Republica Dominicana

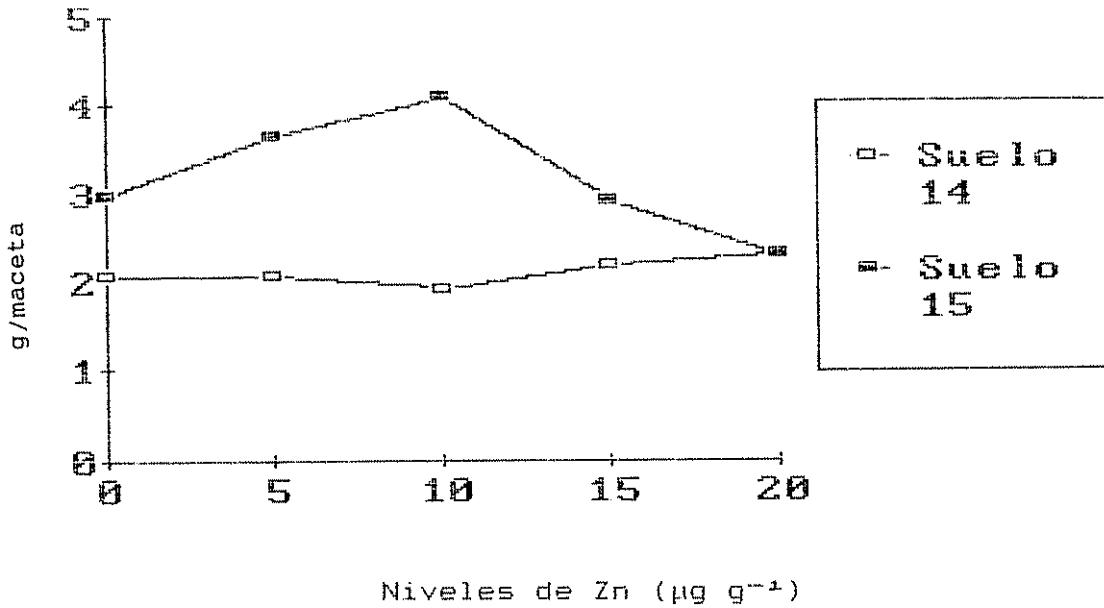


Fig. 8. Rendimiento de materia seca obtenido de tomate cultivar Floradel como respuesta a niveles crecientes de Zn aplicados a muestras de suelos de República Dominicana

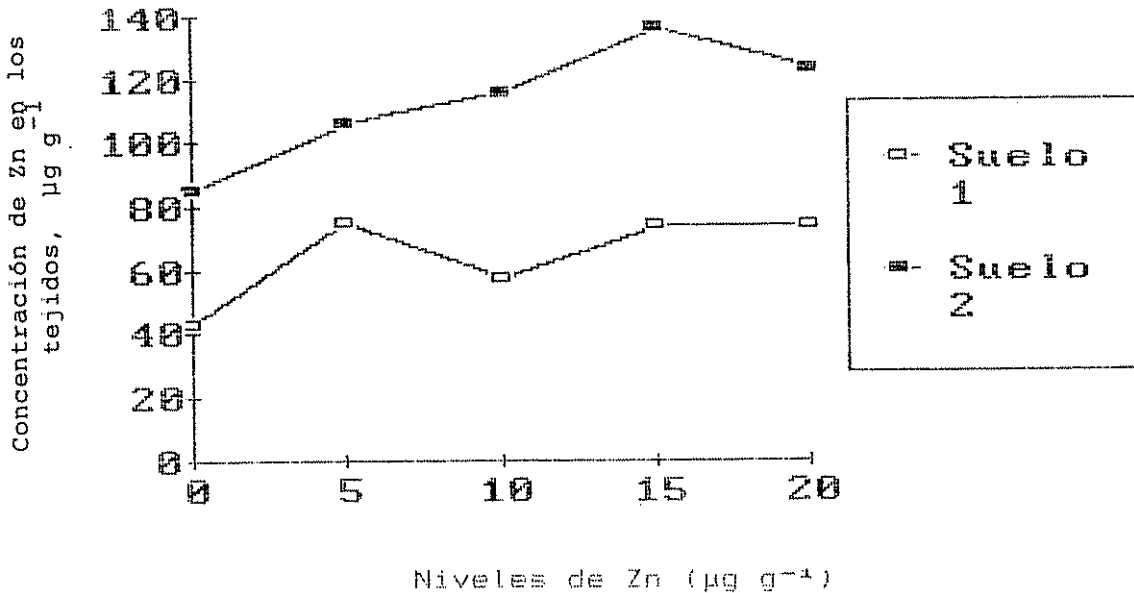


Fig. 9. Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.

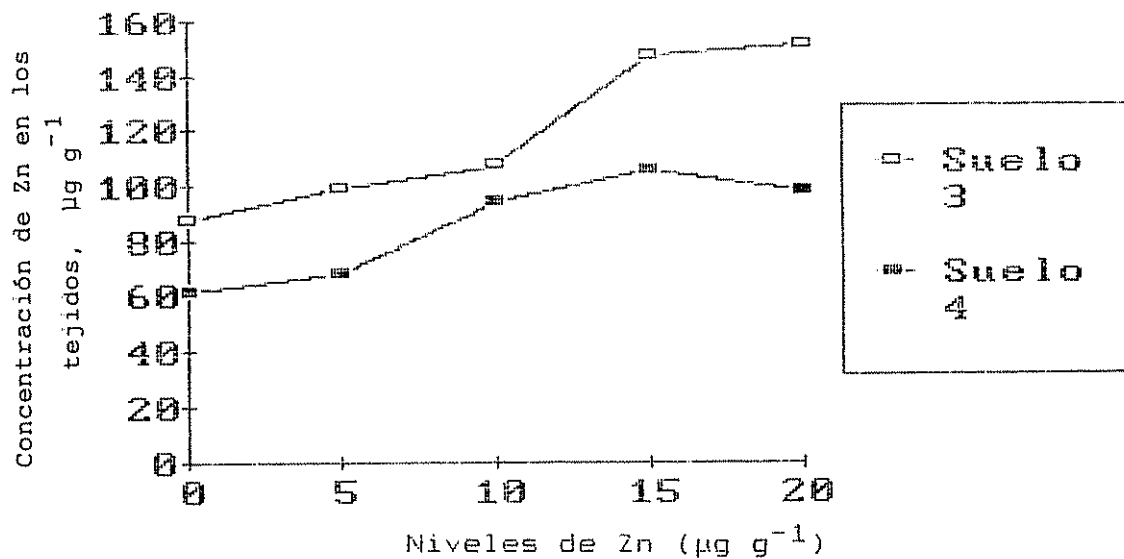


Fig. 10. Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.

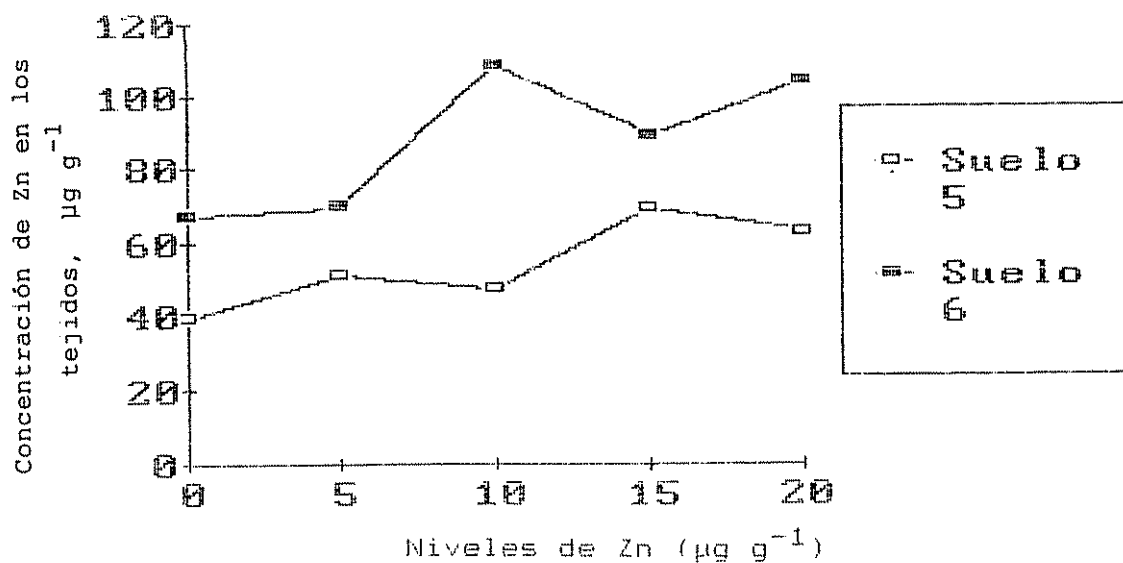


Fig. 11. Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.

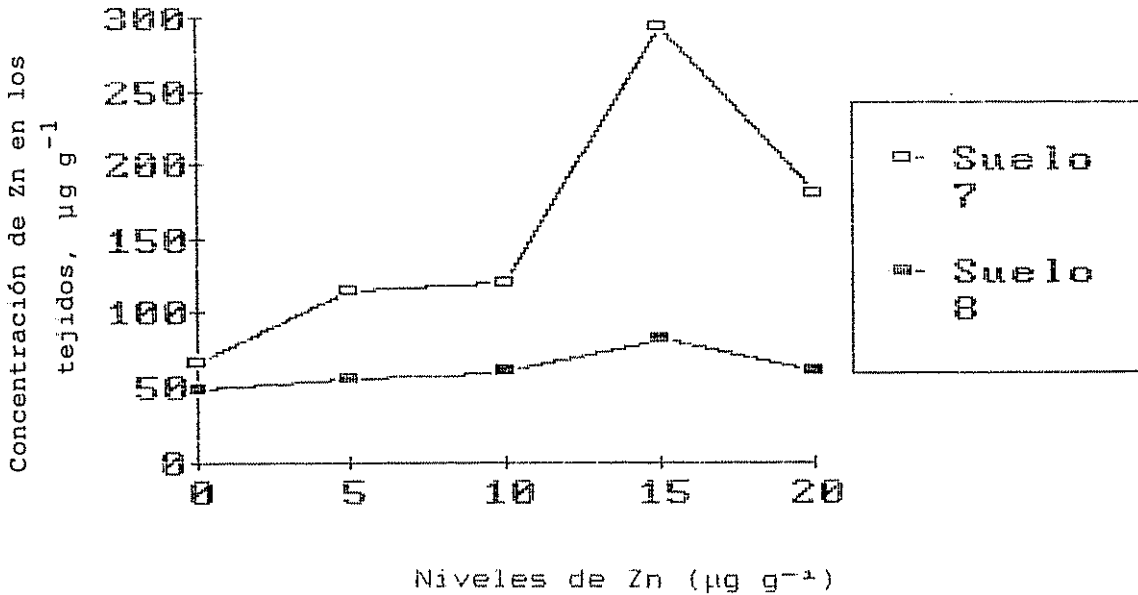


Fig. 12. Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.

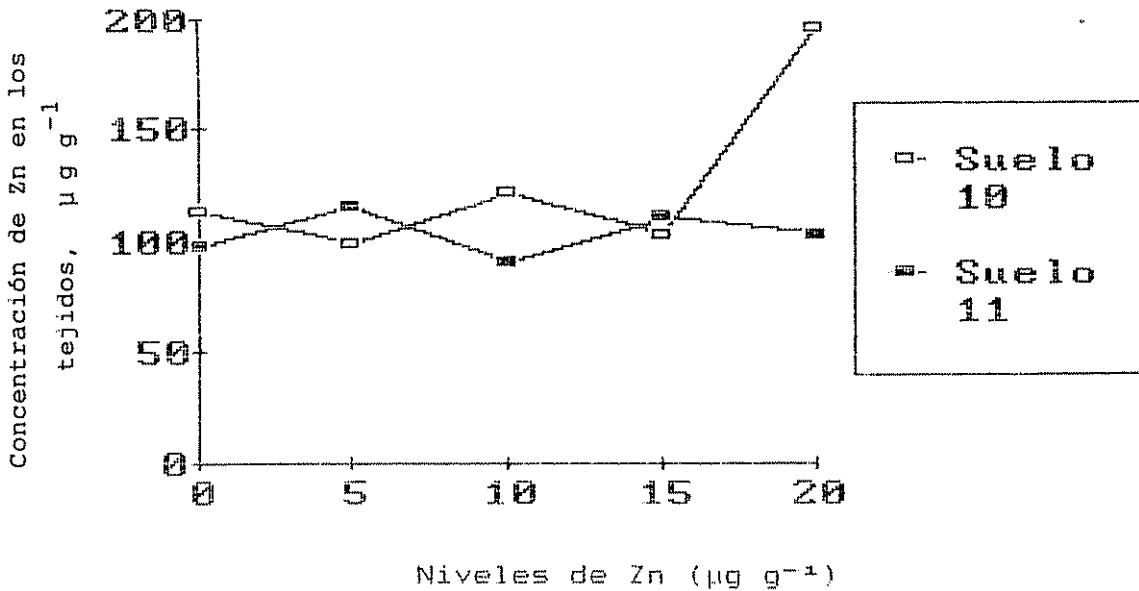


Fig. 13. Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.

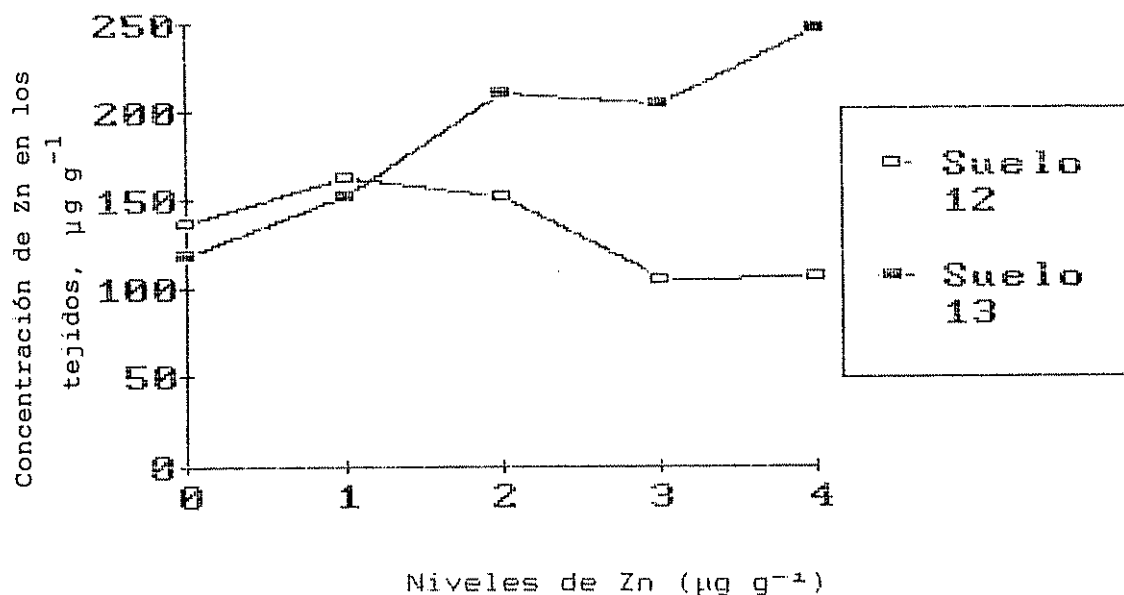


Fig. 14. Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.

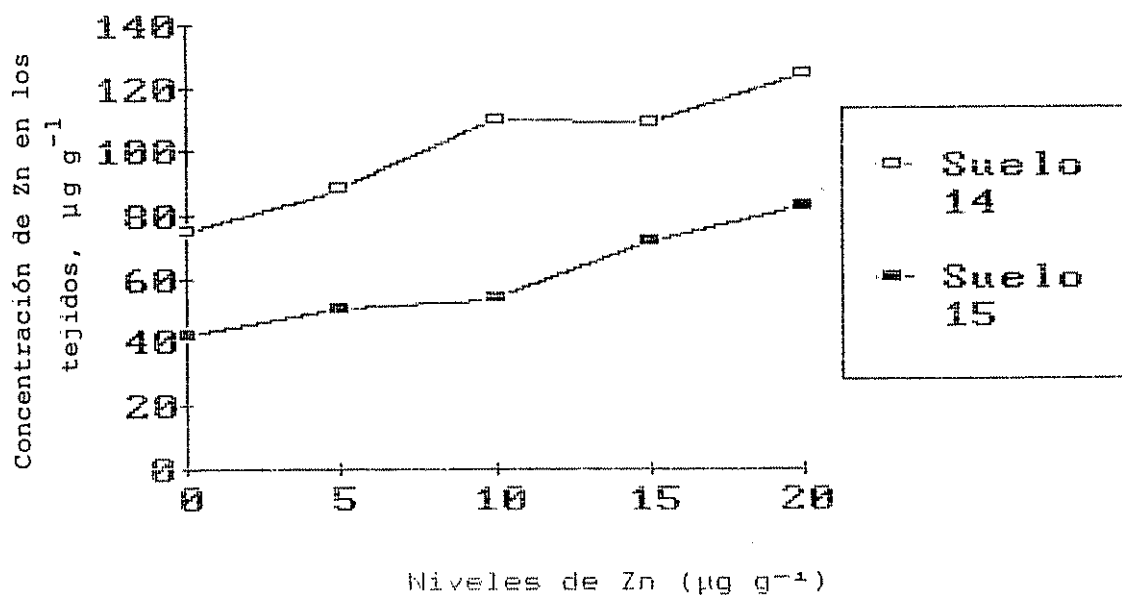


Fig. 15. Cambio de la concentración de Zn en los tejidos de tomate, cultivar Floradel con niveles de Zn aplicados a muestras de suelos de la República Dominicana.

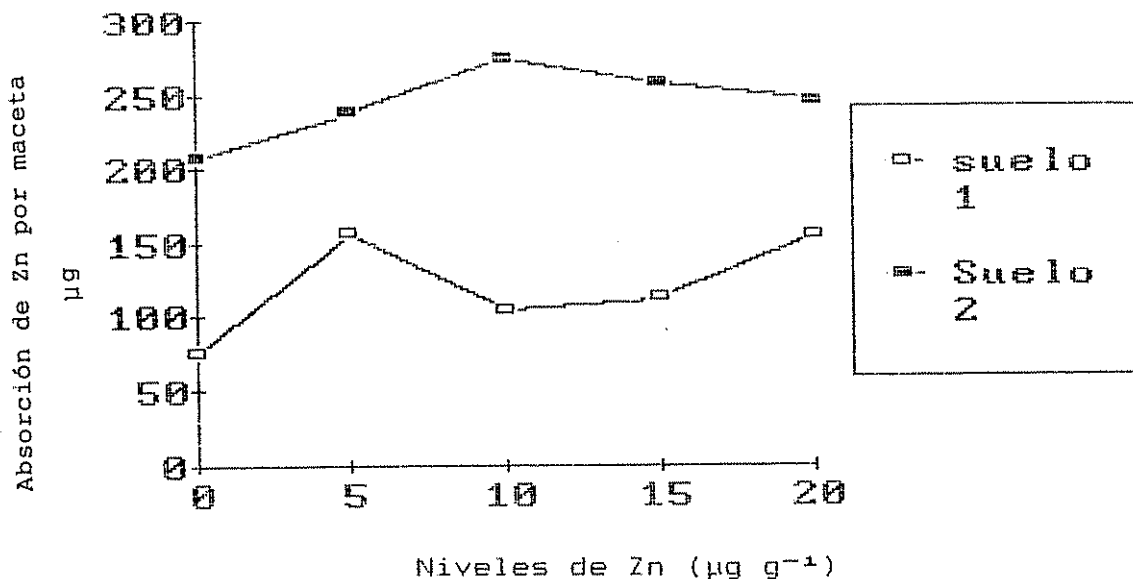


Fig. 16. Cantidad en  $\mu\text{g}$  por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en muestras de suelos de la República Dominicana.

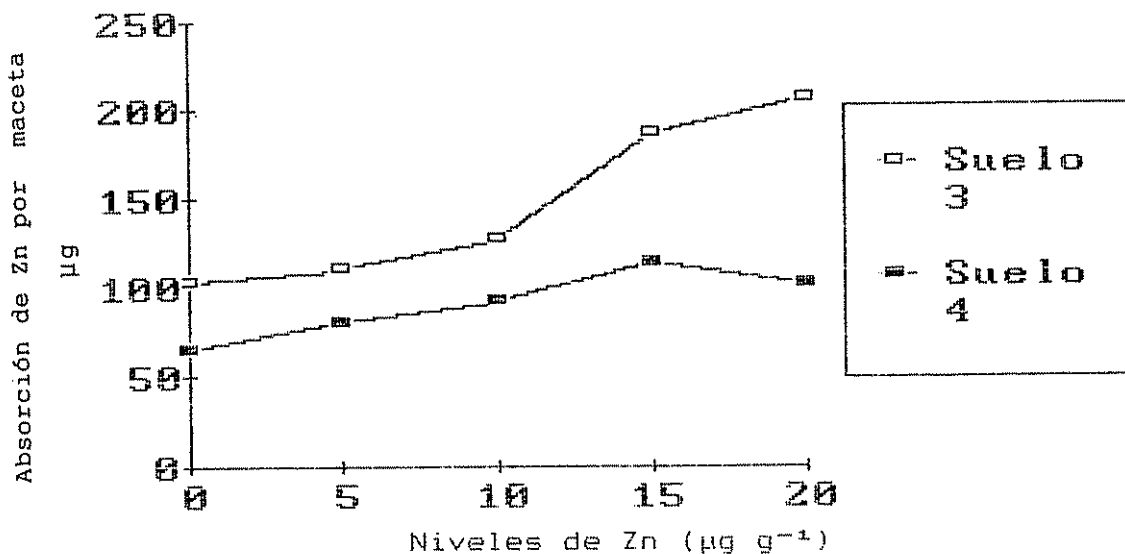


Fig. 17. Cantidad en  $\mu\text{g}$  por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en muestras de suelos de la República Dominicana.



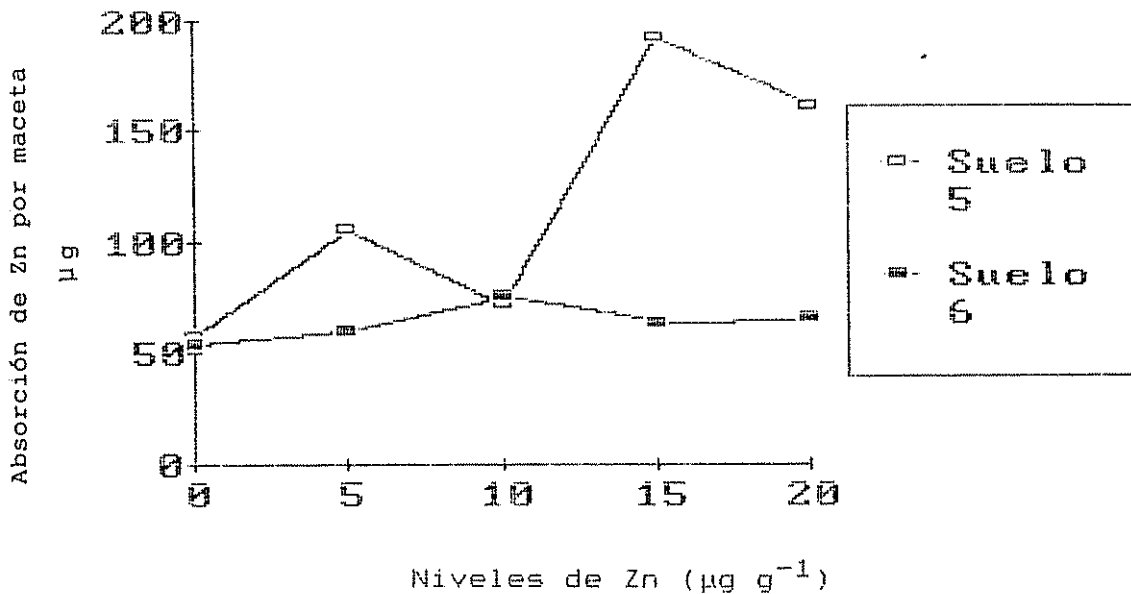


Fig. 18. Cantidad en µg por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en muestras de suelos de la República Dominicana.

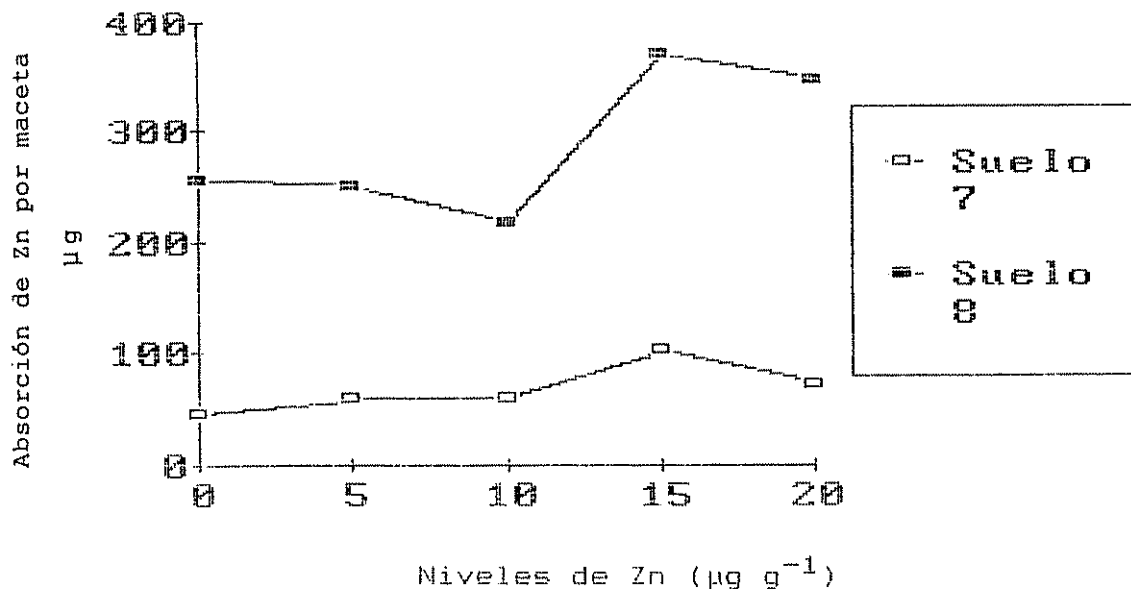


Fig. 19. Cantidad en µg por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en muestras de suelos de la República Dominicana.

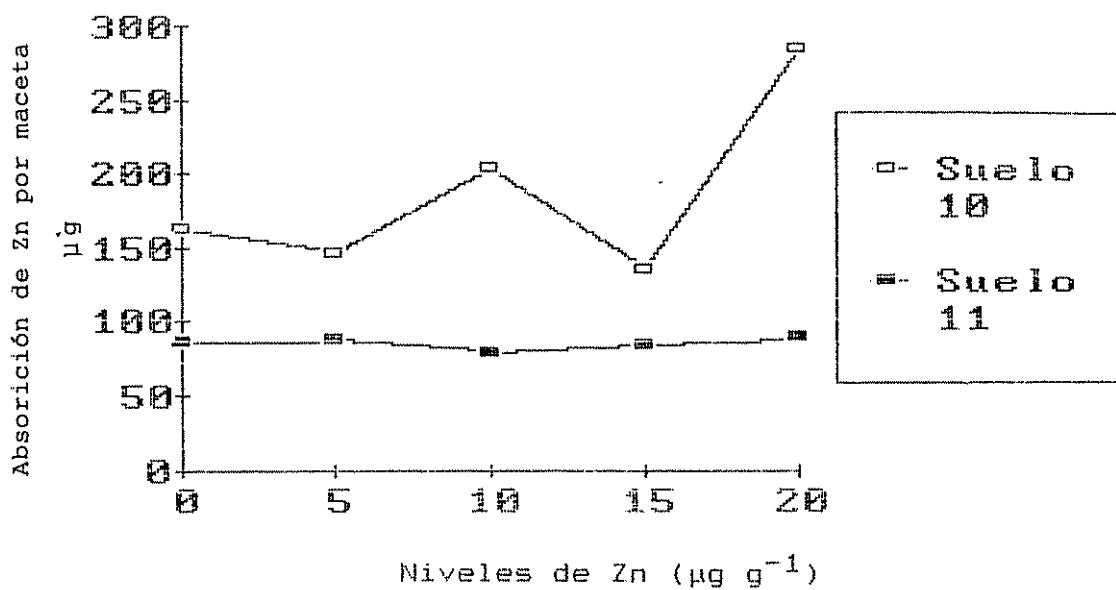


Fig. 20. Cantidad en  $\mu\text{g}$  por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en muestras de suelos de la República Dominicana.

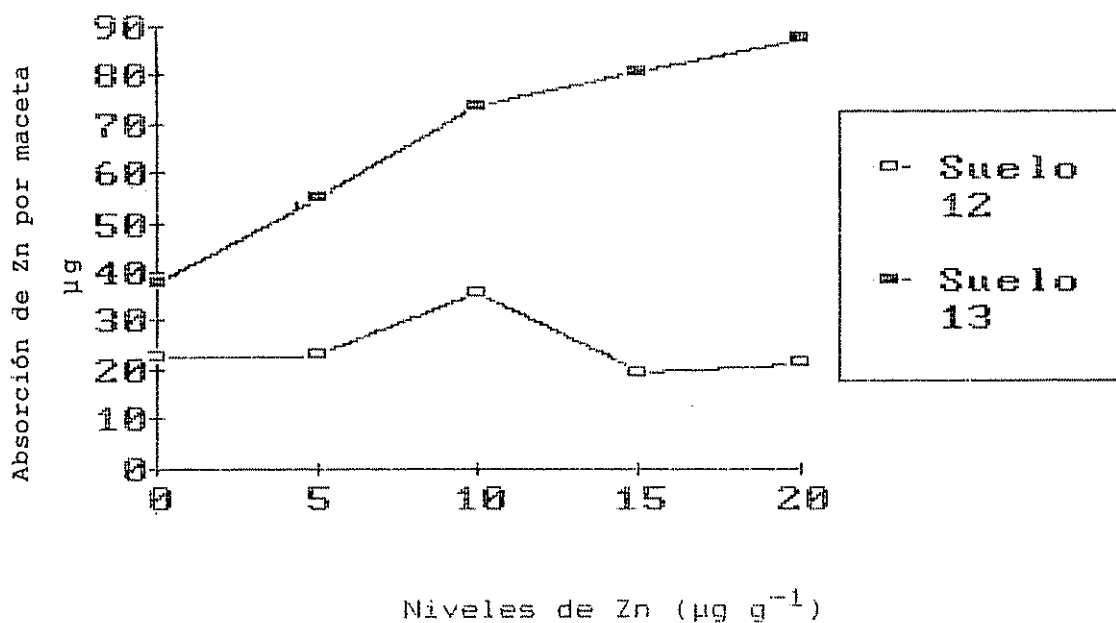


Fig. 21. Cantidad en  $\mu\text{g}$  por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en muestras de suelos de la República Dominicana.

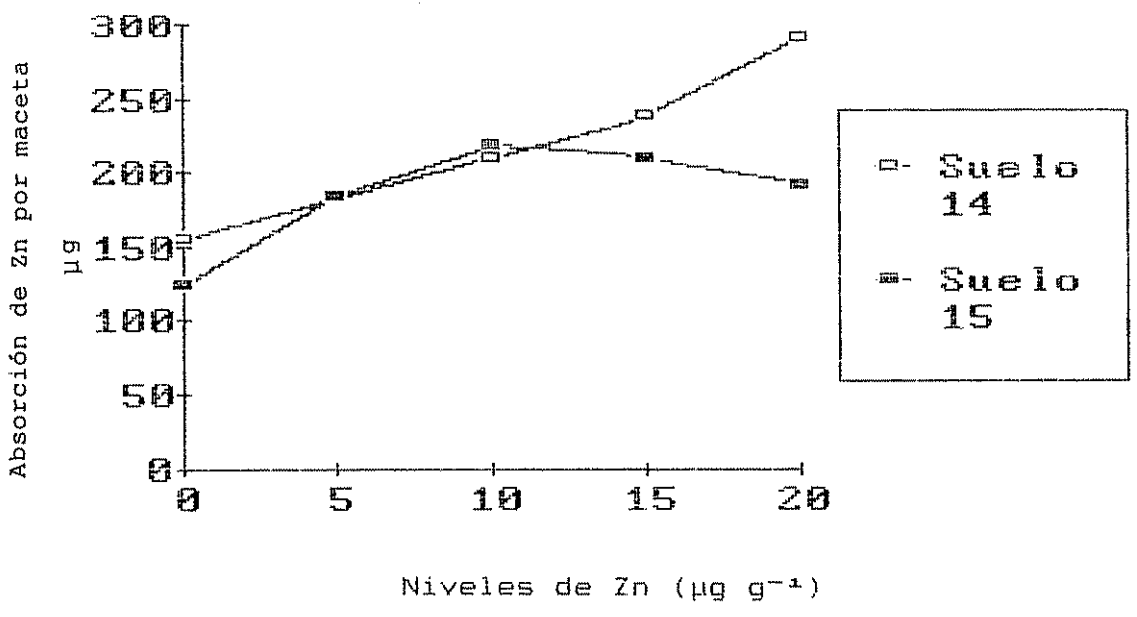


Fig. 22. Cantidad en  $\mu\text{g}$  por maceta de Zn absorbidos por seis plantas de tomate cultivar Floradel en muestras de suelos de la República Dominicana.

## 5. CONCLUSIONES

1. En las extracciones de Zn efectuadas por cada una de las soluciones extractoras se observó que AB-DTPA y SB-DTPA fueron las que, en promedio, extrajeron mayor cantidad de Zn del suelo debido al agente quelatante de cationes que forma parte de su composición química.

2. No hubo respuesta significativa en rendimiento de materia seca al aumento de la aplicación de niveles de Zn. Lo que indica que el contenido de Zn era suficiente para el normal desarrollo de las plantas de tomate.

3. Los rendimientos relativos, en su mayoría, fueron altos debido a la poca respuesta del cultivo de tomate al aumento en la aplicación de niveles de Zn a las muestras de suelo.

4. No hubo una buena correlación de las cantidades de Zn extraídas por las soluciones con los rendimientos relativos, por que no se obtuvo una buena distribución de estos resultados en respuestas altas y bajas.

5. En forma general se observó una respuesta altamente significativa de las concentraciones de Zn en las plantas de tomate como respuesta al aumento de los niveles de Zn aplicado. El análisis de esta respuesta en cada suelo indicó que la respuesta sólo fue altamente significativa en algunos suelos, y significativa en un suelo. Sin embargo, en las figuras puede ser apreciado que hay una tendencia de aumento

en las concentraciones en la mayoría de las macetas. Esto se explica porque el error experimental fue muy elevado.

6. La solución extractora por medio de la cual se obtuvo valores de Zn que mejor correlacionaron con la absorción relativa fue Mehlich 1, pero el AB-DTPA arrojó valores muy similares, Olsen modificado y SB-DTPA produjeron datos que arrojaron coeficiente de correlación muy bajos con relación a las soluciones indicadas antes.

## 6. RECOMENDACIONES

1. Para realizar una evaluación de métodos analíticos de microelementos para suelos por medio de ensayos en invernadero, es conveniente medir la disponibilidad de Zn en los suelos antes de decidir los suelos que serán muestreados. De esta manera se podrá recolectar, aproximadamente, igual número de muestras con alta, mediana y baja disponibilidad de Zn. Así, se podrá obtener una buena dispersión de rendimientos relativos altos y bajos.

2. Es necesario continuar las evaluaciones de la solución extractora SB-DTPA. Se sugiere variar las combinaciones de los reactivos que la conforman y probar diferentes formas de realizar las extracciones de Zn como son: tiempo de agitación y relaciones muestra de suelo a solución extractora variadas.

3. Para trabajos de investigación de este tipo, con muestra de suelo de otro país, es aconsejable usar dos niveles de Zn: el nivel que presenten las muestras antes de ser tratadas y aquel que resulte después de una aplicación que sea superior al nivel óptimo. De esta manera se reduciría la cantidad de muestra a utilizar lo que resultaría en un menor costo por transporte de suelos. Además, esta disminución en el número de niveles podría utilizarse para darle mayor dimensión al trabajo con la introducción de otras variables.

## BIBLIOGRAFIA

- ALVARES, V. H.; DE FELIPO, B. V.; DE BARROS, N. F., 1978, Respota do sorgo a aplicacao de micronutrientes num latossolo vermelho-amarelo de Itamarandiba, Minas Gerais, Revista Ceres (Bra,) 25(137):79-86,
- BANDYOPADHYA, A. K.; ADHIKRI, M., 1968 Trace element relationships in rice soils: Alluvial soil of west Bengal, Soil Science (EE,UU,) 105(4):244-247,
- BARROW, N. J., 1986 Testing a mechanistic model, 1V, Describing the effects of pH on zinc retention by soils, Journal of Soil Science (G,B,) 37(2):295-302,
- BARROWS, H. L.; DROSDOFF, M., 1960, A rapid polarographic method for determining extractable zinc in mineral soil, Soil Science Society of America Proceedings (EE,UU,) 24:169-171,
- BATHORE, G. S.; KHAMPARLA, R. S.; GUPTA, G. F.; SINHA, S. B., 1980, Availability of micronutrients in some alluvial soils and their effect on wheat, Journal of the Indian Society of Soil Science (India) 28:248-250,
- BEAR, E. F., 1963, Suelos y fertilizantes, Traducido por Jorge Bosal, Cuarta ed, España, Ediciones Omega, S, A, 458p,
- BOWEN, J. E. 1968. Absorption of copper, zinc and manganese by sugar cane tissue. Plant Physiology (EE.UU.) 44(2): 255-261.
- BRAY, R. H. 1938. New concepts on the chemistry of soil fertility. Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.) 2:175-179.
- BROWN, A. L.; QUICK, J.; EDDINGS, J. L. 1972. A comparison of analytical methods for soil zinc. Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.) 35:105-107.
- BROWN, J. C.; TIFEIN, L. D. 1962. Zinc deficiency and iron chlorosis dependent on the plant species and nutrient element balance in Tularc Clay. Agronomy Journal (EE.UU.) 54:356-358.
- BRUQUE, S.; MORENO, L.; ORTEGA, M. C. 1981. Micronutrientes en suelos agrícolas (capa arable) de Cártama (Málaga) II. hierro, manganeso y cinc. Anales de Edafología y Agrobiología (España) 40(9/10):1765-1780.

- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. 1986. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. 1. Zinc deficiency-enhanced uptake rate of phosphorus. *Physiologia Plantarum* (Dinamarca) 68:483-490.
- CATE, R. B. Jr.; NELSON, L. A.; 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of America Proceedings* (EE.UU.) 35:658-659.
- CAYTON, M. T. C.; REYES, E. D.; MEVE, H. V. 1985. Effect of zinc fertilization on the mineral nutrition of rice differing in tolerance to zinc deficiency. *Plant and Soil* (Holanda) 87(3):319-327.
- CHAUDHRY, F. M.; LOMERAGAN, J. F. 1972. Zinc absorption in wheat seedlings. Inhibition by macronutrient ion in short term experiments and its relevance to long term zinc nutrition. *Soil Science Society of America Proceedings* (EE.UU.) 36(2):323-327.
- CHEMISTRY of the soil. 1964. ed por Firman E. Bear. N. Y. (EE.UU.), Reinhold Publishing Corporation. 515 p.
- CHOUDHARI, J. S. 1984. Fixation of zinc by arid soil clays. *Clay Research* (India) 3(2):89-92.
- CHUDE, V. O; OBIGBSAN, O. G. 1984. A comparison of various extractants for the estimation of extractable zinc in cacao-growing soils of South Western Nigeria. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. (G.B.) 35(6):609-612.
- DESHMUKH, V. A.; DESHPANDE, T. L.; BALLAL, D. K. 1974. Response of hibrid Jowar (csh-1) to the application of zinc and manganese. *Journal of the Indian Society of Soil Science* (Indian) 22(2):201-202.
- DIAZ-ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químicos de suelos y tejido vegetal, e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CTIE. 68p.
- EL-FOULY, M. M.; FAWZI, A. F. A.; FIRGANY, A. H.; EL-BAZ, F. K. 1984. Micronutrient status of crops in selected areas in Egypt. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* (Egypt) 15(10):1175-1189.
- EL-KHERBAWY, M.; SANDERS, J. R. 1983. Effects of pH and phosphate status of a silty clay loam on manganese, zinc and copper concentration in soil fractions and in clover. *Journal of Soil the Science* (G.B.) 34(2):315-323.



- EL-NENNAH, M. F.; MASSOUUND, M.A.; GAD-ALLAH A. M. 1982. Evaluation of different methods for estimating available zinc in soils of Egypt. Arab. J. Nuclear Sci. and applic. 32:172-176.
- ELGABALY, M. M. 1950. Mechanism of zinc fixation by colloidal clays and related minerals. Soil science (EE.UU.) 69:167-173.
- ELGAWHARY, S. M.; LINDSAY, W. L.; KEMPER, W. D. 1970. Effect of complexing agents and acids on the diffusion of zinc to a simulated root. Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.) 34(2):211-214.
- ERMOLENKO, N. F. 1977. Trace elements and colloids in soils. 2ed. Translated from Russian by J.Schmorak. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations 259 p.
- FALKE, H.; DAET, F.; FODLESAK, W. 1985. Results of a nine year fertilization trial with zinc on a sandy soil with a low groundwater table. Archiv Fur Acker-und Pflanzbau und Bodenkunde (Alemania) 29(9):555-560.
- GIORDANO, F. M.; MORTVEDT, J. J.; PAPENDICK, R. I. 1966. Response of corn (*Zea mays* L.) to zinc as affected by placement and nitrogen source. Soil science Society of America Proceedings (EE.UU.) 30:767-770.
- GIORDANO, F. M.; NOGGLE, D. C.; MORTVEDT, J. J. 1974. Zinc uptake by rice as affected by metabolic inhibitors competing cations. Plant and Soil (Holanda).41(3):637-646.
- GUZMAN, E. M. 1982. Relación fosforo-zinc en tres suelos ácidos de Costa Rica. Tesis Mag. Sc Turrialba, C.R., CATIE. 143p.
- HAQ, A. U.; BATES, T. E.; SOON, Y. K. 1980. Comparison of extractants for plant available zinc, cadmium, nickel and copper in contaminated soils. Soil Science Society of America Journal (EE.UU.) 44:772-777.
- HAQ, A. U.; MILLER, M. H. 1972. Prediction of available soil Zn, Cu and Mn using chemical extractants. Agronomy Journal(EE.UU.) 64:779-782.
- HARDY, F.; BAZAN, R. 1975. Análisis de textura: Método de Bouyouco. En Curso de Productividad y Fertilidad de Suelos. Apuntes. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 5p.

- HERNADEZ, D.; CABELLO, R.; CASTILLO, D.; DIAZ, A. 1985. Diferentes niveles de cinc y su influencia en los rendimientos de arroz de riego. *Agrotecnia de Cuba (Cuba)* 17(2):63-69.
- HEWITT, E. J. 1963. The essential nutrient element requirements and interactions in plants. *Plant Physiology (EE.UU.)* 3:137-329.
- HODGSON, J. F. 1963. Chemistry of the micronutrient elements in soil. *Advances in Agronomy. (EE.UU.)* 15:119-159.
- HODGSON, J. F.; LINDSAY, W. L.; TRIERWEILER, J. F. 1966. Micronutrient cation complexing in soil solution. 1. Complexing of zinc and copper in displaced solution. *Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.)* 30:723-726.
- HUNGER SINGS in crops: a symposium. 1949. Washington, D. C., American Society of Agronomy. National Fertilizer Association. 390 p.
- JACOBSON, B. S.; FONG, F.; HEATH, R. L. 1974. Carbonic Anhydrase of spinach studies on its location, inhibition and physiological function. *Plant Physiology (EE.UU.)* 55:468-474.
- JUNUS, M. A.; COX, F. R. 1987. A zinc soil test calibration based upon Mehlich 3 extractable zinc, pH and exchange capacity. *Soil Science Society of America Journal (EE.UU.)* 51(3):678-683.
- JYUNG, W. H.; EHMANN, A.; SCHLENDER, K. K.; SCALA, J. 1975. Zinc nutrition and starch metabolism in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiol (EE.UU.)* 55:414-420.
- KALYANASUNDARAM, N. K.; MEHTA, B. V. 1970. Availability of zinc and phosphate and calcium in soil treated with varying levels of zinc and phosphate. A soil incubation study. *Plant and Soil. (Holanda)*. 33(3):699-706.
- KRAHMER, R.; FALKE, H. 1983. Importance of zinc for plant production in the German Democratic Republic. (En Aleman) In *Mengenund Spurenelemente*. Ed. bay anke, m.; Scheneider, H. J. Leipzig, G. D. R., Karl Marx Universitat. p.181-187.
- KUD, S.; JELLUM, E. J.; BAKER, A. S. 1985. Effects of soil type, liming and sludge application on zinc and cadmium availability to swiss chard. *Soil Science (EE.UU.)* 139(2):122-130.

- LINDSAY, W. L. 1972. Zinc in soils and plant nutrition. *Avances in Agronomy (EE.UU.)* 24:147-186.
- LINDSAY, W. L.; COX, F. R. 1985. Micronutrient soil testing for the tropics In *Micronutrients in tropical food crop production*. Ed. P. L. G. Viek. Dordrecht (EE.UU.), Martinus Nijhoff. p.169-200.
- LOPES, A. S.; COX, F. R. 1977. A survey of the fertility status of surface soils under "cerrado" vegetation in Brasil. *Soil Science Society America Journal (EE.UU.)* 41:742-743.
- LUTZ, T. D.; GENTER, G. F.; HARWKINS, G. W. 1972 Effect of soil pH on element concentration and uptake by maize. 11. Cu, B, Zn, Mn, Mo, AL and Fe. *Agronomy Journal (EE.UU)* 64(5):583-585.
- MARTENS, D. C.; CHESTERS, G. 1967. Comparison of chemical tests for estimation of the availability of soil zinc. *J. Sci. Food Agr.* 18:187-193.
- MARTENS, D. C.; CHESTERS, G.; PETERSON, L. A. 1966. Factors controlling the extractability of soil zinc. *Soil Science Society of America Proceeding (EE.UU.)* 30:67-69.
- MATSUDA, K.; IKUTA, M. 1969. Adsorption strength of zinc for soil humus 1-Relationship of zinc added to soil and soil humus. *Soil Science Plant Nutrition (Japan)* 15(4):169-174.
- MCBRIDE, M. B.; BLASIAK, J. J. 1979. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. *Soil Science Society of America Journal (EE.UU.)* 43(5):866-870.
- MEHROTRA, N. K.; KHANNA, V. K.; AGARWALA, S. C. 1986. Soil-sodicidad-induced zinc deficiency in maize. *Plant and Soil (Holanda)* 92(1):63-71.
- MIKKO, S. 1972. Trace elements in soils and agriculture. *FAO. Soil Bulletin* 17:41-44.
- MISRA, S. G.; TIWARI, R. C. 1965. Studies on the chemistry of copper and zinc applied to three different soils - a comparative study. *Soil Science and plnt nutrition (Japan)* 12(3):6-9.
- MORTENSEN, J. L. 1963. Complexing of metals by soil organic matter. *Soil Science Society of America Proceeding (EE.UU.)* 27(2):179-182.

- MURTY, K. S. N.; MEHTA, B. V. 1974. Studies on the fixation of zinc. *Plant and Soil (Holanda)* 41:215-221.
- NAIR, G. G.; MEHTA, B. V. 1959. Status of zinc in soils of western India. *Soil Science (EE.UU.)* 87:155-159.
- NAVROT, J.; GAL, M. 1971. Effect of soil clay type on the availability of zinc in some mediterranean rendzina soils. *Journal of Soil Science (EE.UU.)* 22:1-4.
- NELSON, E. B.; CENEDELLA, A.; TOLBERT, N.E. 1969. Carbonic Anhydrase levels in chlamydomonas. *Phytochemistry (G.B.)* 8:2305-2306.
- NEWTON, D. W.; MELSTED, S. W. 1971. The effect of pH, phosphate, and silicic acid on Zn adsorption by clays. *Agronomy Abstracts (EE.UU.)* 4:70 74.
- OSINAME, O. A.; SCHULTE, E. E.; COREY, R. B. 1973. Soil tests for available copper and zinc in soils of Western Nigeria. *J. Sci Fd. Agric. (Nigeria)* 24:1341-1349.
- PERALTA, F.; BORNEMISZA, E. 1981. Comparación de cinco métodos para determinar zinc en ocho Andepts del Valle Central. *Agronomía Costarricense*. 5(1/2):97-102.
- RANDALL, P. J.; BOUMA, D. 1973. Zinc deficiency, Carbonic Anhydrase and photosynthesis in leaves of spinach. *Plant physiol (EE.UU.)* 52:229-232.
- RATHORE, G. S.; KHAMPARIA, R. S.; GUPTA, G. P.; SINHA, S. B. 1980. Availability of micronutrients in some alluvial soils and their effect on wheat. *Journal of the Indian Society of Soil Science (Indian)* 28:248-250.
- RAVIKOVITCH, S.; MARGOLIN, M.; NAVROT, J. 1968. Zinc availability in calcareous soils. 1. Comparison of chemical extraction methods for estimation of plant "available" zinc. *Soil Science (EE.UU.)* 105:57-61.
- REDDY, M. R.; PERKINS, H. F. 1974. Fixation of zinc by clay minerals. *Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.)* 38:229-231.
- RIBEIRO, A. C.; TUCUNANGO, S. A.; RABIA, W. A. 1984. Evaluation of extractor for available zinc and boron in Oxisols from Triangulo Mineiro, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 8(1):85-89.
- ROMERO, L. 1986. El zinc en el sistema suelo-planta: Revisión. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)* XLV(9/10):1.101-1.396.

- SAEED, M.; FOX, R. L. 1977 Relations between suspension pH and zinc solubility in acid and calcareous soils. Soil Science (EE.UU.) 124(4):199-203.
- SAIZ DEL RIO, J. F.; BORNEMISZA, E. 1961. Análisis químico de suelos; métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, IICA.
- SALAMI, A. V.; KENEFICK, D. G. 1970. Stimulation of growth in zinc-deficient corn seedlings by the addition of tryptophan. Crop Science (EE.UU.) 10:291-294.
- SANZO, R.; MUNIZ, O.; ZORRILLA, R.; ALDANA, F. 1984. Efecto de diferentes niveles de cinc sobre los rendimientos del arroz y su residualidad en un suelo ferralítico. Ciencias y Tecnicas en la Agricultura, Arroz (Cuba) 7(2):115-133.
- SHAW, E.; DEAN, L. A. 1952. The use of dithizone as an extractant to estimate the zinc nutrient status of soil. Soil Science (EE.UU.) 73:341-347
- SHUMAN, L. D. 1975. The effects of soil properties on zinc adsorption by soils. Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.) 39(3):454-458.
- SILLANPAA, M. 1972. Trace elements in soils and agriculture. Roma. FAO. Soil Bulletin.
- SILLANPAA, M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils : A global study. FAO soils Bulletin 48.
- SINGH, C. P.; PRASAD, R. N.; SINBA, H.; KANKE, B. 1977. Evaluation of the critical limit and extractants for the determination of available zinc in calcareous soils. Beitrage trop Landwirtsch Veterinarmed 15:131-136.
- SINGH, J. P.; KARAMANOS, R. E.; STEWART, T. W. B. 1987. The zinc fertility of Saskatchewan soils. Canadian Journal of Soil Science (Can.) 67(1):103-166.
- SOLTANPOUR, F. N.; LABHSETWAR, V. K. 1985. A comparison of  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ -DTPA,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$  and  $\text{Na}_2$ -EDTA soil tests for phosphorus. Soil Science Society of America Journal (EE.UU.) 49:1437-1440.
- STEWART, J. A.; BERGER, K. C.; 1964. Estimation of available soil zinc using magnesium chloride as extractant. Soil Science (EE.UU.) 100(4):244-250.

- SUBRAHMANYAM, A. V.; MEHTA, B. V. 1974. Effect of Zn and Fe applications on the yield and chemical composition of rice. *Indian Journal Agriculture Science (Indian)* 44(9):602-607.
- THOMSON, W. W.; WEIER, T. E. 1962. The fine structure of chloroplasts from mineral deficient leaves of *Phaseolus vulgaris*. *American Journal of Botany (EE.UU.)* 49:1047-1055.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. 1967. Soil fertility and fertilizers. N. Y., the Macmillan Company. 694p.
- TRIERWEILER, J. F.; LINDSAY, W. L. 1969. EDTA-ammonium carbonate soil test for zinc. *Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.)* 33:49-54.
- UDO, E. J.; FAGBAMI, A. A. 1979. The profile distribution, of total and extractable zinc in selected Nigerian soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis. (Nigeria)* 10(8):1141-1161.
- VAUGHAN, D.; DEKOCK, P. C.; ORD, B. G. 1982. The nature and localization of superoxide dismutase in fronds of *Lemna gibba* L. and the effect of copper and zinc deficiency on its activity. *Physiology Plantarum (EE.UU.)* 54:253-257.
- VESEK, M.; FOSSINGHAM, J. V.; MERCER, F. V. 1965. The effect of mineral nutrient deficiencies on the structure of the leaf cells of tomato, spinach and maize. *Australian Journal of Botany (A.C.T.)* 14:1-18.
- VIETS, F. G.; JR.; BOAWN, L. C.; GRAWFORD, C. L.; NELSON, C. E. 1953. Zinc deficiency in corn in central Washington. *Agronomy Journal (EE.UU.)*. 45:559-565.
- WADE, L. J. 1985. Zinc deficiency in navy beans in the Dawson-Callide. 1. Diagnosis of the disorder. *Queensland Journal Sciences (A. C. T.)* 42(2):57-62.
- WALKER, J. L.; BEJARANO, W. 1978. Uso práctico de los modelos discontinuos para interpretación rápida de la respuesta de cultivos a la aplicación de fertilizantes. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 84p.
- WALLACE, A. 1963. Role of chelating agents on the availability of nutrients to plants. *Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.)* 27(2):176-179.

- WAUGH, D. L.; CATE, R. B.; NELSON, L. A. 1973. Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelos y las respuestas a los fertilizantes. Trad. por Isabel de Mendoza. EE.UU., North Carolina State University. 106 p.
- WEAR, J. I. 1956 Effect of soil pH and calcium on uptake of zinc by plants. Soil Science (EE.UU.) 81(4):311-315.
- WEAR, J. I.; SOMMER, A. L. 1948. Acid-extractable zinc of soils in relation to the occurrence of zinc deficiency symptoms of corn: A method of analysis. Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.) 12:143-144.
- WEAR, J. T.; EVANS, C. E. 1968. Relationship of zinc uptake by corn and sorghum with soil zinc measured by three extractants. Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.) 33:49-54.
- ZINC IN crop nutrition. 1968. New York, International Leaf Zinc Research Organization, inc; Centro Mexicano de Información del Zinc y Plomo. 64 p.

**APENDICE**



Cuadro 1A. Parámetros de la regresión lineal para el nutrimento K, como resultado de los análisis de sorción en muestras de suelo procedente de la República Dominicana.

Suelo	R	A	B
1	0,99	0,33	0,32
2	0,995	0,06	0,44
3	0,997	0,03	0,46
4	0,986	0,04	0,30
5	0,99	0,22	0,30
6	0,996	0,08	0,46
8	0,978	0,44	0,40
9	0,987	0,17	0,42
10	0,992	0,13	0,42
11	0,998	0,32	0,35
12	0,991	0,26	0,41
13	0,98	0,07	0,42
14	0,999	0,07	0,46
15	0,98	0,57	0,29

Cuadro 2A. Parámetros de la regresión lineal para el nutrimento P, como resultado de los análisis de sorción en muestras de suelo procedente de la República Dominicana.

Suelo	R	A	B
1	0,983	28,54	0,32
2	0,988	-2,62	0,27
3	0,977	9,42	0,27
4	0,965	-0,06	0,45
6	0,982	8,64	0,44
9	0,967	8,29	0,23
10	0,992	-9,26	0,55
13	0,98	-5,06	0,66
14	0,97	-5,86	0,65
15	0,99	5,5	0,48

Cuadro 3A. Parámetros de la regresión lineal para el nutrimento Mn, como resultado de los análisis de sorción en muestras de suelo procedente de la República Dominicana. Turrialba, 1988.

Suelo	R	A	B
1	0,92	1,58	0,0002
4	0,988	0,997	0,0028
5	0,99	1,29	0,0056
6	0,999	4,51	0,0032
7	0,99	1,23	0,0056
8	0,994	0,05	0,0043
10	0,999	3,82	0,0048
11	0,997	1,96	0,0026
12	0,998	2,56	0,0036
13	0,999	1,49	0,0059
14	0,992	1,09	0,0032
15	0,974	0,98	0,0009

Cuadro 4A. Parámetros de la regresión lineal para el nutrimento Zn, como resultado de los análisis de sorción en las 15 muestras de suelo procedente de la República Dominicana. Turrialba, 1988.

Suelo	R	A	B
1	0,857	-4,35	0,22
2	0,998	6,07	0,41
3	0,995	3,98	0,42
4	0,996	1,1	0,4
5	0,998	1,07	0,48
6	0,99	3,24	0,54
7	0,997	1,37	0,46
8	0,99	4,43	0,5
9	0,998	2,36	0,45
10	0,992	5,92	0,51
11	0,993	3,47	0,38
12	0,998	2,61	0,45
13	0,995	3,19	0,47
14	0,996	1,46	0,45
15	0,991	0,21	0,35

Cuadro 5A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo uno procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,373	1,02	0,4027
Nivel	4	0,166	0,44	0,7741
Error	8	0,366		

C V. = 2,54F

Cuadro 6A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo dos procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,074	0,16	0,8516
Nivel	4	0,167	0,37	0,8232
Error	8	0,449		

C V. = 30,66

Cuadro 7A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo tres procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,016	0,17	0,8433
Nivel	4	0,026	0,28	0,85553
Error	8	0,093		

C V.= 25,03

Cuadro 8A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo cuatro procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,108	1,99	0,1990
Nivel	4	0,016	0,29	0,8737
Error	8	0,054		

C V= 21,74

Cuadro 9A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo cinco procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,070	0,20	0,8250
Nivel	4	1,069	3,01	0,0865
Error	8	0,356		

C.V.= 28,64

Cuadro 10A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo seis procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,172	3,30	0,0901
Nivel	4	0,025	0,47	0,7555
Error	8	0,052		

C.V.= 30,78

Cuadro 11A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo siete procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,002	0,06	0,9412
Nivel	4	0,048	1,22	0,3732
Error	8	0,039		

Cuadro 12A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo ocho procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,716	1,06	0,3918
Nivel	4	2,186	3,22	0,0746
Error	8	0,678		

C.V.=17,38

Cuadro 13A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo diez procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,052	0,17	0,8498
Nivel	4	0,049	0,15	0,9557
Error	8	0,316		

C.V.=38,10

Cuadro 14A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo once procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,064	2,82	0,1182
Nivel	4	0,013	0,57	0,6892
Error	8	0,023		

C.V.=18,05

Cuadro 15A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo doce procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,001	0,40	0,6807
Nivel	4	0,004	1,10	0,4208
Error	8			

C.V.=32,31

Cuadro 16A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo trece procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,003	1,70	0,2432
Nivel	4	0,002	1,47	0,2984
Error	8	0,002		

C.V.=11,25



Cuadro 17A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo catorce procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,052	0,29	0,7566
Nivel	4	0,081	0,48	0,7687
Error	8	0,179		

C.V.=20,03

Cuadro 18A. Análisis de varianza de materia seca producida por plantas de tomate de siete semanas de edad sembrada en la muestra de suelo quince procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	F	Prob>F
Repetición	2	5,879	6,49	0,021
Nivel	4	1,415	1,56	0,273
Error	8	0,905		

C.V.=29,80

Cuadro 19A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo uno procedente de la Republica Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	345,80	2,76	0,1223
Nivel	4	614,23	4,91	0,0270
Error	8	125,13		

C. V.= 17,32

Cuadro 20A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo dos procedente de la Republica Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	743,07	5,15	0,0365
Nivel	4	1.095,67	7,69	0,0076
Error	8	142,57		

C. V.=11,94

Cuadro 21A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo tres procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	0,17	0,00	0,9996
Nivel	4	2.550,07	8,44	0,0056
Error	8	300,87		

C. V.=14,60

Cuadro 22A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo cuatro procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	594,07	1,29	0,3264
Nivel	4	1.143,77	2,49	0,1269
Error	8	459,82		

C. V.=24,97

Cuadro 23A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo cinco procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	70,20	0,27	0,7678
Nivel	4	438,50	1,71	0,1269
Error	8	256,95		

C. V.=29,68

Cuadro 24A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo seis procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	723,48	0,64	0,5522
Nivel	4	1.064,27	0,94	0,4873
Error	8	1.130,17		

C. V.=38,33

Cuadro 25A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo siete procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	13.593,72	0,97	0,4201
Nivel	4	22.786,09	1,62	0,2591
Error	8	14.034,71		

C. V.=76,05

Cuadro 26A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo ocho procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	175,20	0,66	0,5438
Nivel	4	499,43	1,88	0,2591
Error	8	266,28		

C. V.=26,66

Cuadro 27A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo nueve procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	3.354,87	1,68	0,2467
Nivel	4	4.833,17	2,41	0,1344
Error	8	2.002,37		

C. V.=35,42

Cuadro 28A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo diez procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	1.485,60	2,64	0,1316
Nivel	4	308,50	0,55	0,7059
Error	8	562,60		

C. V.=23,03

Cuadro 29A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo once procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	600,33	0,11	0,8948
Nivel	4	2.040,19	0,38	0,8177
Error	8	5.379,58		

C. V.=55,23

Cuadro 30A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo doce procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	5.125,42	5,04	0,0384
Nivel	4	7.852,75	7,72	0,0019
Error	8	1.017,79		

C. V.=17,11

Cuadro 31A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo trece procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	430,72	4,58	0,0472
Nivel	4	1.118,60	11,89	0,0019
Error	8	94,05		

C. V.=9,60

Cuadro 32A. Análisis de varianza para la concentración de Zn en la parte aérea de plantas de tomate de siete semanas de edad producidas en la muestra de suelo catorce procedente de la República Dominicana.

Fuente de variación	G. L.	C. M.	F	Prob>F
Repetición	2	460,80	3,64	0,0753
Nivel	4	838,17	6,61	0,0118
Error	8	126,72		

C. V.=18,76



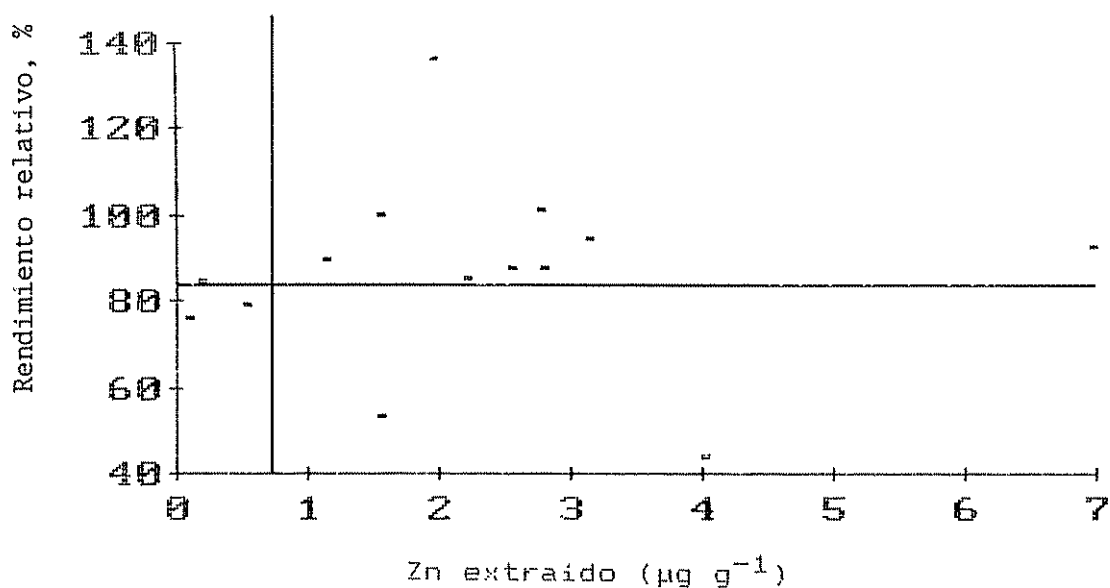


Fig. 1A. Relación de Zn extraído por la solución  $\text{HCl}$  0,05N y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025N y rendimiento relativo de tomate cultivar Floradel.

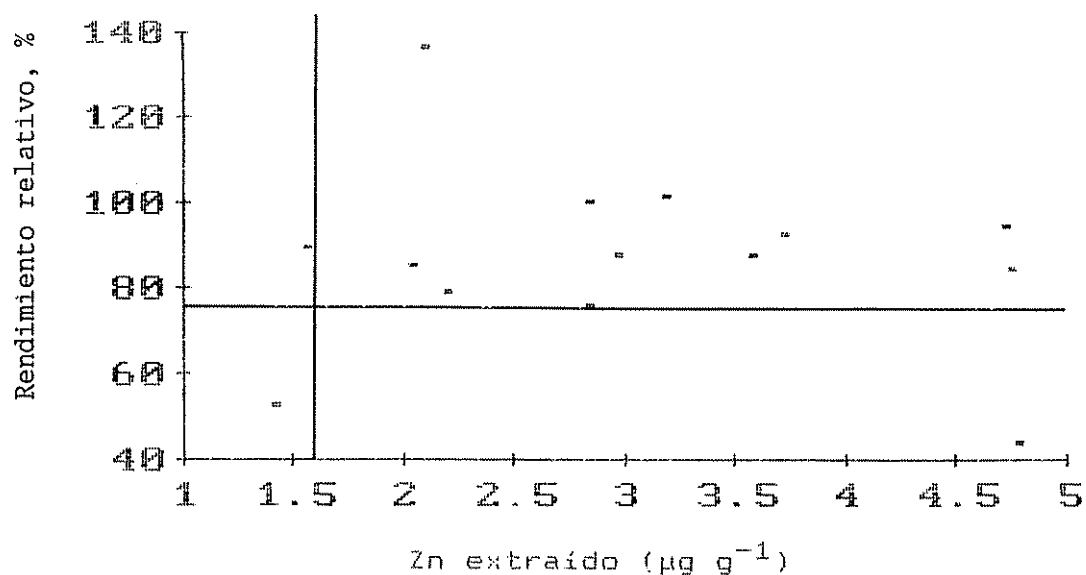


Fig. 2A. Relación de Zn extraído por la solución  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  1,0M y DTPA 0,005M y rendimiento relativo de tomate cultivar Floradel.

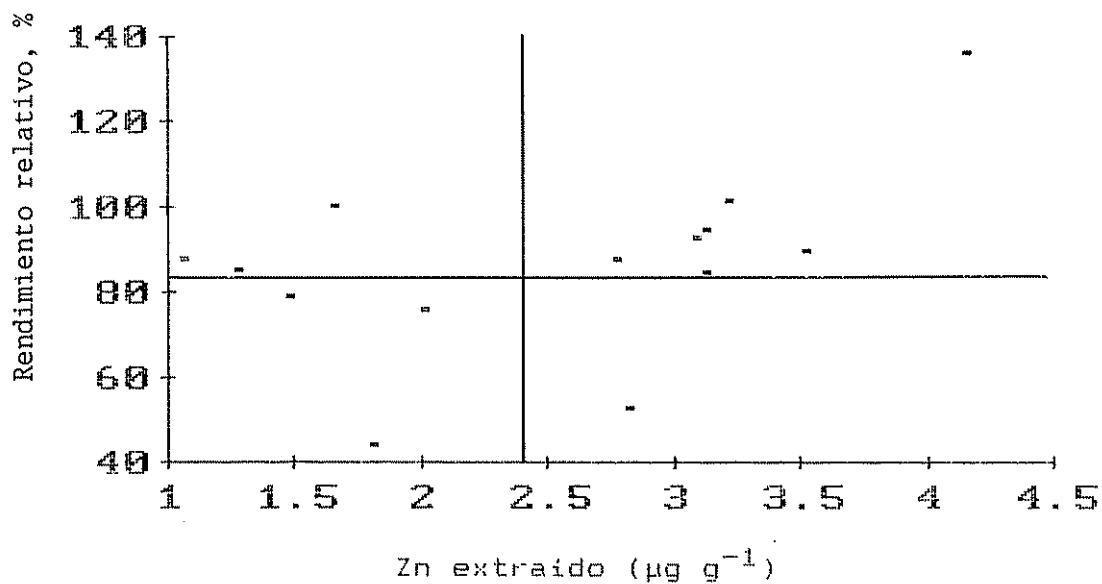


Fig. 3A. Relación de Zn extraído por la solución  $\text{NaHCO}_3$  0.5N y EDTA 0.01M y rendimiento relativo de tomate cultivar Floradel.

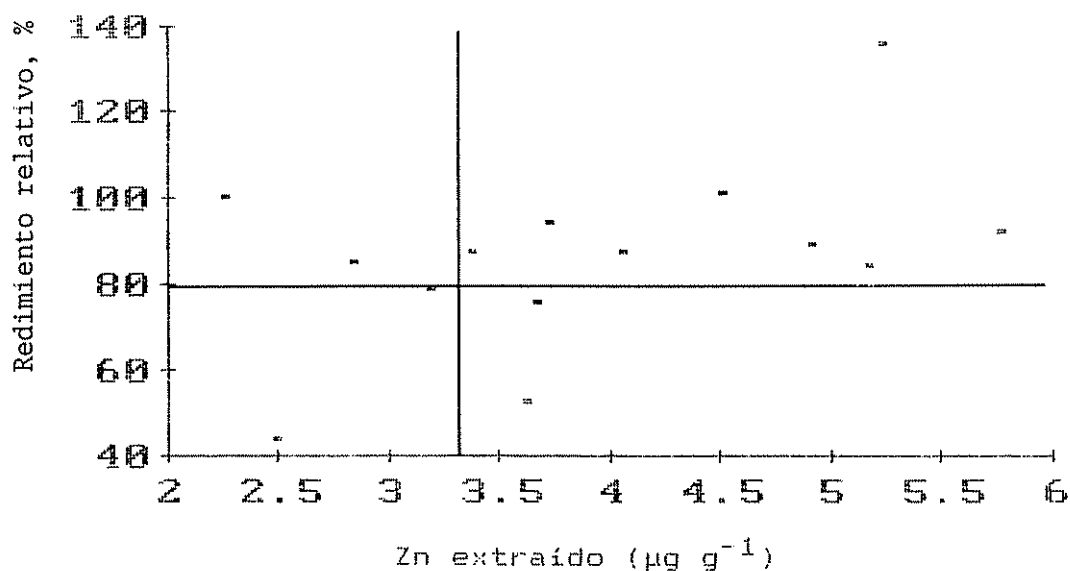


Fig. 4A. Relación de Zn extraído por la solución  $\text{NaHCO}_3$  0.5N y DTPA 0.01M y rendimiento relativo de tomate cultivar Floradel.

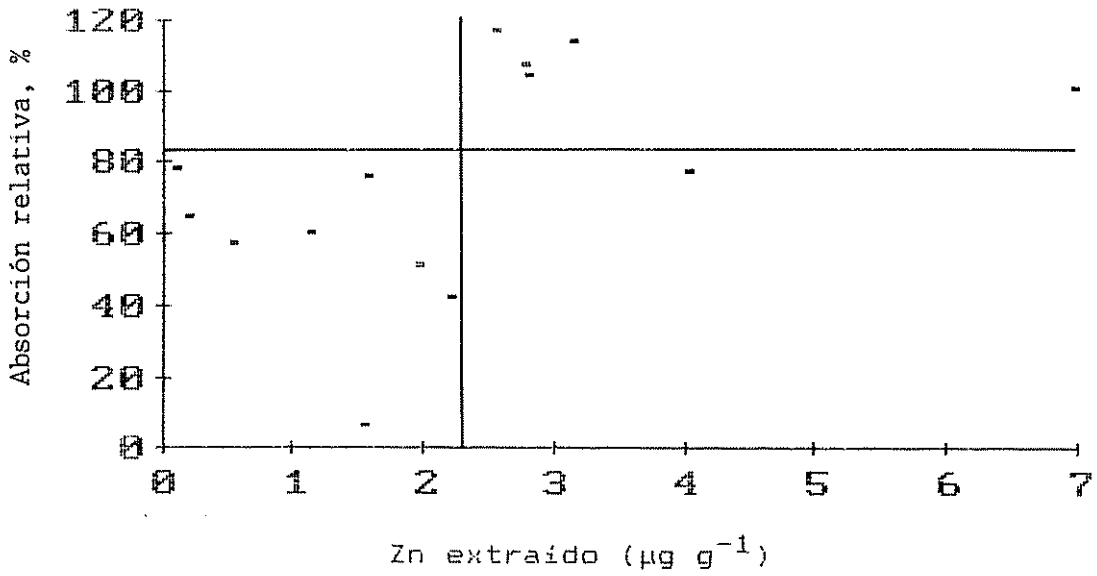


Fig. 5A. Relación de Zn extraído por la solución HCl 0,05N y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025N y absorción total relativa de tomate cultivar Floradel.

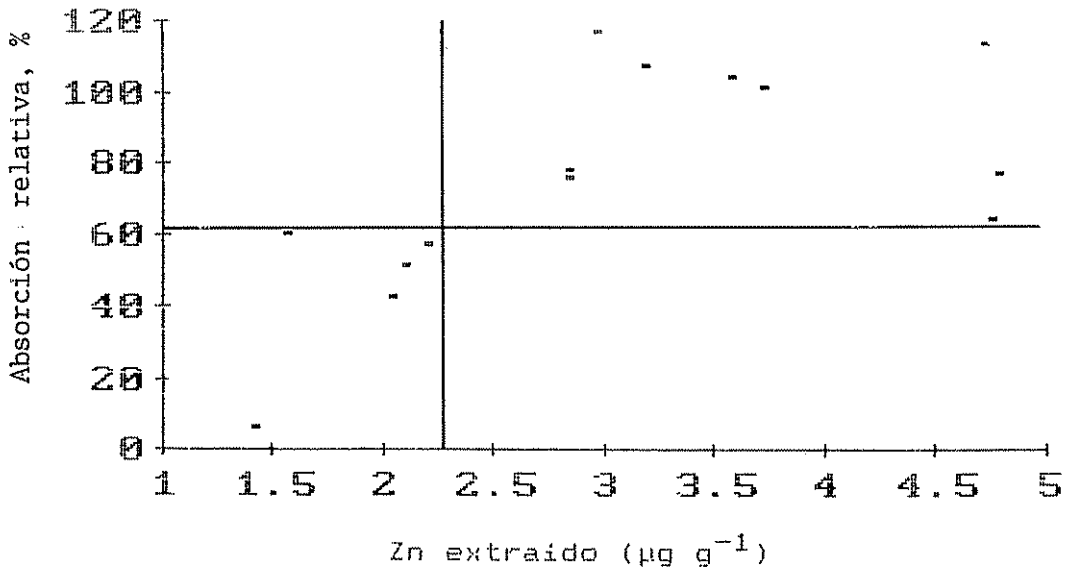


Fig. 6A. Relación de Zn extraído por la solución  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  1,0M y DTPA 0,005M y absorción total relativa de tomate cultivar Floradel.

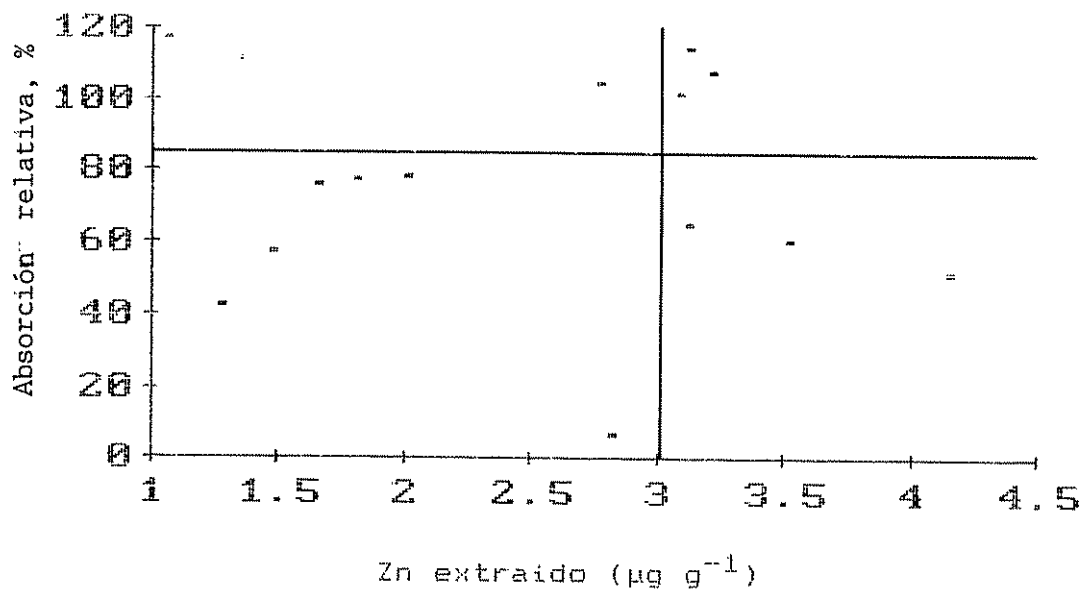


Fig. 7A. Relación de Zn extraído por la solución  $\text{NaHCO}_3$  0,5N y EDTA 0,01M y absorción total relativa de tomate cultivar Floradel.

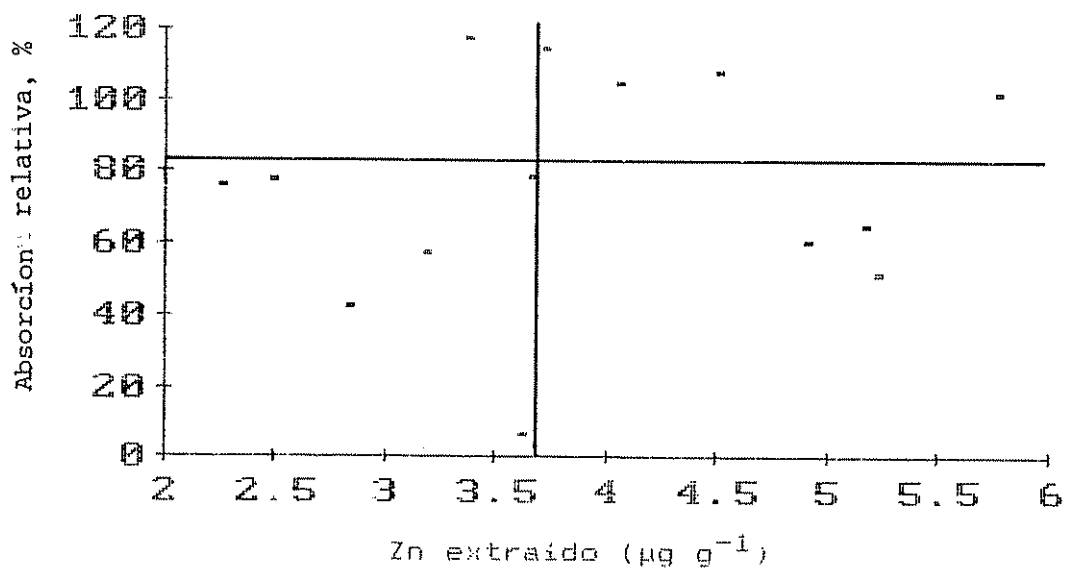


Fig. 8A. Relación de Zn extraído por la solución  $\text{NaHCO}_3$  0,5N y DTPA 0,005M y absorción total relativa de tomate cultivar Floradel.