

## Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en suelos de Barlovento, estado Miranda.

*Effect of two source of calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) about the available of cadmium for plants of cocoa (*Theobroma cocoa* L.) in soils of Barlovento, state Miranda.*

Francisco Contreras<sup>1</sup>, Teodoro Herrera<sup>1</sup> y Alexis Izquierdo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pregrado e Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Apartado 4579. Maracay, estado Aragua, Venezuela. e-mail: contrerasf@hotmail.com y herrerat@agr.ucv.ve

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), Maracay, estado Aragua. Venezuela. e-mail: aizquierdo@inia.gov.ve.

---

### RESUMEN

En dos suelos de características contrastantes Cumbo (Troporthents) y Tapipa (Typic dystrochrepts), procedentes de la región de Barlovento estado Miranda, se estableció un ensayo de invernadero durante cinco meses, con el objetivo de determinar mediante análisis foliar el efecto del carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), sobre absorción del cadmio (Cd) por plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.). Adicionalmente se utilizaron dosis de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) para diferenciar el efecto que ocurre mediante el incremento de pH y el resultado del incremento de la concentración del calcio en el complejo de cambio. Se evaluó la dinámica del calcio (Ca) en las plantas, al finalizar se determinó el Cd total y el Cd intercambiable en los suelos para comparar con su concentración inicial. Los resultados indican que en ambos suelos disminuyó la absorción del cadmio por las plantas al utilizar  $\text{CaCO}_3$ . La concentración de calcio en las hojas aumentó con las cantidades de calcio aplicadas en los tratamientos. Por efecto de los tratamientos de  $\text{CaCO}_3$  la cantidad de Cd intercambiable del suelo disminuyó con respecto al testigo en los dos suelos. La materia seca, tanto en Troporthents como en Typic dystrochrepts aumentó en comparación con el tratamiento testigo al aplicarse las dosis de carbonato de calcio. Los tratamientos de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) disminuyeron la absorción del cadmio por las plantas y el Cd intercambiable del suelo, el efecto fue menor al compararse con los tratamientos de  $\text{CaCO}_3$ .

**Palabras claves:** cacao, cadmio, cadmio intercambiable, encalado, metales pesados, suelos.

### ABSTRACT

Two soils of contrasting characteristic (Troporthents and Typic dystrochrepts), coming from the region of Barlovento, Venezuela, were used in a greenhouse experiment during five months with the objective of determining the effect of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) on the absorption of cadmium (Cd) by cocoa plants (*Theobroma cacao* L.). Additionally, calcium chloride ( $\text{CaCl}_2$ ) doses were used to separate the effect of the pH increment from the one produced by calcium ions on the soil exchange complex. Calcium (Ca) in the plants was evaluated and at the end of the experiment amounts of total and interchangeable Cd were determined in the soils to compare with its initial concentration. The results indicated that in both soils  $\text{CaCO}_3$  doses diminished the absorption of cadmium for the plants. The concentration of calcium in the leaves increased with the quantities of applied calcium in the treatments. The treatments of  $\text{CaCO}_3$ , diminished the quantity of interchangeable Cd of the soils compared to the control in the two soils. With regard to the dry matter, in the soil Troporthents as in the Typic dystrochrepts, increased in comparison with the control treatment when it was applied the doses of calcium carbonate. The calcium chloride treatments ( $\text{CaCl}_2$ ) were also able to diminish the absorption of cadmium by the cocoa plants and soil interchangeable Cd, however the effect was smaller when compared with the treatments of  $\text{CaCO}_3$ .

**Key words:** cocoa, cadmium, interchangeable cadmium, lime, heavy metals, soils.

---

### INTRODUCCIÓN

La región de Barlovento está ubicada en el extremo oriental del estado Miranda. Desde la colonia y hasta la actualidad la explotación del cacao (*Theobroma cacao* L.) es una de las actividades productivas principales de la región, de la cual cientos de familias dependen para su sustento de vida. Según Durán (2002) la zona mirandina esta considerada como unas de las áreas cacaoteras mas importantes de Venezuela; en este estado, solamente, se produce unas 6.850 t de las producción nacional, lo que representa el 44 % de la misma (M.A.C., 1998).

Debido a las investigación de Matissek (1990) quien descubrió la presencia de metales pesados en granos de cacao e Izquierdo (1998) que detectó la presencia de cantidades importantes de cadmio en las almendras provenientes de la zona de Barlovento, cuyos valores excedían a los permitidos por la FAO/OMS (donde se establece que el contenido de metales pesados en alimentos no puede exceder de 0,5 mg Cd/kg (Meursing, 1991; citado por Izquierdo, 1998), su comercialización podría verse afectada, ya que el cadmio es un metal pesado divalente, que al incorporarse a los alimentos, puede causar problemas de toxicidad en el ser humano. Por lo tanto la presencia de este metal pesado en el fruto de cacao o sus productos; podría limitar la aceptación del cacao en mercados internacionales, afectando negativamente la economía de la zona.

Por razones como las anteriores, se han venido realizando investigaciones que tratan de establecer procedimientos que disminuyan la entrada de este metal al ciclo de los alimentos. El control químico del cadmio en los suelos es una de ellas, donde la alcalinización del suelo puede precipitar el metal (cadmio) no únicamente como carbonato, sino también como fosfato, además el efecto competitivo del  $\text{Ca}^{2+}$  y las consecuencias fisiológicas y químicas de un incremento del pH del suelo disminuyen la absorción de cadmio por las raíces del cultivo (Mortvedt *et al.*, 1983). Las reacciones del cadmio con cada componente del suelo dependerán de factores tales como la textura del suelo, el pH, el clima, las prácticas de manejo y las fuentes de origen del cadmio (Mann y Ritchie, 1993). De allí surge la importancia de realizar un estudio que pueda establecer si el manejo del suelo con un pH adecuado puede solucionar los problemas de suelos con niveles preocupantes de cadmio.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de dos fuentes de calcio sobre la dinámica de absorción del cadmio en el suelo y la absorción del cadmio por plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*), en suelos de Barlovento, estado Miranda.

## METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en tres etapas: selección de los suelos para el ensayo de invernadero, ensayo de incubación y ensayo con plantas de cacao en condiciones de invernadero. La selección de los suelos se realizó considerando las zonas con mayor importancia en la producción del cultivo cacao en la región de Barlovento escogiéndose las localidades de: Agua Clara, Capaya, Cumbo, Curiepe y Tapipa.

### Selección de suelos

Algunas características generales de las localidades escogidas, descritas según la metodología de Ewel *et al.*, (1976) e Izquierdo (1998), son las siguientes: Agua Clara: esta localidad se ubica al margen del río Tuy, su promedio anual de precipitación es de 1300 mm/año, se encuentra en la zona de vida de bosque seco tropical. Este suelo ha sido clasificado como Vertic ustifluvents. Capaya: está al borde del río Capaya, el promedio anual de precipitación es de 2400 mm/año, ubicándose en la zona de vida de bosque húmedo tropical, el suelo se clasifica como Aeritropaquepts. Cumbo: con un promedio anual de precipitación es de 2300 mm/año, esta localidad se ubica en la zona de vida de bosque húmedo tropical. El suelo se clasifica como Troporthents. Curiepe: ubicada al margen del río Curiepe, esta localidad tiene un promedio anual de precipitación de 1800 mm/año, lo que la sitúa en la zona de vida del bosque seco tropical, el suelo de la zona es clasificado como Typic ustifluvents. Tapipa: Esta localidad está al margen del río Tuy, su promedio anual de precipitación es de 2600 mm/año, se encuentra en la zona de vida bosque húmedo tropical, su suelo se clasifica como Typic dystrochrepts.

Se colectaron cuatro sub-muestras al azar en cada localidad para luego ser mezcladas y obtener una muestra compuesta. Cada sub-muestra fue tomada en cuatro puntos ubicados en lugares equidistantes alrededor de troncos de un árbol de cacao y abarcan el área ocupada por las raíces (1,5 m de radio aproximadamente) a una profundidad de 20 cm.

Las muestras de suelo fueron secadas al aire y pasadas por un tamiz plástico de 2 mm, tomando aproximadamente un kilogramo de cada muestra, para evaluar, por duplicado, las siguientes características: Textura por distribución del tamaño de partículas, según el método de Bouyoucos modificado por Day (Pla, 1983); pH, utilizando el método potenciométrico en una suspensión suelo:agua en relación 1:1, en pHmetro marca Metrohm modelo E520; Fósforo disponible, extraído con la solución de Olsen (Olsen *et al.*, 1954) y determinado por el método colorimétrico de molibdato-ácido ascórbico (Watanabe y Olsen, 1965); Materia orgánica según Walkey y Black (1933) (Instituto de Edafología, 1993), por oxidación de la materia orgánica usando ácido crómico y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; Zinc, Hierro, Manganeso y Cobre, se extrajeron con la solución Melich 1, y la determinación se realizó por absorción atómica según la metodología descrita por

Guitian (1964) y Page (1982) (Instituto de Edafología, 1993); Potasio, Calcio, Magnesio y Sodio intercambiable por extracción con acetato de amonio y determinación por absorción atómica (Jackson, 1964); Capacidad de intercambio catiónico, por el método del acetato de amonio descrito por Anderson e Igram, 1993; Cadmio total según el método descrito por Sposito *et al.*, 1983. Extracción a través de una digestión con ácido nítrico 4M y determinación en espectrofotómetro de absorción atómica; Cadmio intercambiable según el método descrito por Andersson y Hahzin (1981), extracción con ácido nítrico 1M y determinación en espectrofotómetro de absorción atómica.

Luego de obtener el resultado de los análisis anteriormente mencionados se seleccionaron dos suelos tomando los siguientes criterios: 1) El contraste de pH. Las diferencias de pH permitirían observar el efecto causado por el carbonato de calcio sobre la disponibilidad de cadmio en el suelo; ya que como lo han reportado Willians *et al* (1984) el pH de los suelos es uno de los factores que influye en la forma química del cadmio y el pH se ve afectado por la adición de carbonato de calcio. 2) Contraste de la textura de los suelos. Por ser el contenido de arcilla un factor que influye en la fijación de los metales pesados en el suelo. 3) Mayor cantidad de cadmio total y la mayor cantidad de cadmio intercambiable. Una mayor concentración de este elemento en el suelo representa mayor riesgo de contaminación.

### **Ensayo de incubación**

Para determinar las dosis de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) a utilizar en el ensayo de invernadero, se realizó previamente un ensayo de incubación con el fin de determinar el tiempo de equilibrio (teq) para la reacción del  $\text{CaCO}_3$  en el suelo. Para esto se seleccionó el suelo de la localidad de Cumbo (suelo con el pH más bajo) el cual fue secado al aire y pasado por un tamiz plástico de 2 mm, luego 40 muestras de aproximadamente 100 g de este suelo, se colocó en potes de plástico y se les aplicó una dosis de  $\text{CaCO}_3$  que se escogió según los criterios establecidos por Rojas y Sánchez (1990), la dosis seleccionada fue equivalente a  $300 \text{ kg CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Las muestras se cubrieron con plástico y se les suministró agua periódicamente para reponer la pérdida por evaporación tratando de mantener su humedad en un 75% de su capacidad de campo; mientras duró el ensayo todos los días se pesaban las muestras para determinar la diferencia de peso con la inicial y de esta manera se reponía la pérdida por evaporación. Cada dos días se seleccionó una de las muestras para determinar su pH por el método potenciométrico en una suspensión suelo:agua 1:1.

Luego de obtener el tiempo de equilibrio, se realizó un diseño experimental completamente aleatorizado con un testigo y tres dosis de  $\text{CaCO}_3$  con tres repeticiones cada uno, para un total de doce unidades experimentales para cada suelo, con el propósito de seleccionar finalmente las dosis a utilizar en el ensayo de invernadero; de igual manera los suelos fueron secados al aire y pasados por un tamiz plástico de 2 mm, posteriormente las muestras de los suelos se colocaron en potes de plástico, cada una de las dosis de  $\text{CaCO}_3$  fue mezclada con el suelo en los potes.

Las dosis para esta parte del ensayo se escogieron tomando como referencia el incremento de pH que ocurrió con la dosis de  $300 \text{ kg CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$  al determinar el tiempo de equilibrio, ya que el mismo podría tener efecto sobre la disponibilidad del cadmio en el suelo para las plantas. En tal caso se decidió que para la localidad de Cumbo las dosis fueran mayores a la utilizada en el ensayo anteriormente descrito. Para la localidad de Tapipa, ya que su pH era más alto se utilizó la misma dosis que para el tiempo de equilibrio y dos mayores a ellas. Las muestras se cubrieron con plástico y se le suplió de agua periódicamente tratando de mantener su humedad en un 75% de su capacidad de campo.

Finalizado el ensayo (al cumplirse los 16 días, lapso considerado como tiempo de equilibrio) se midió el pH, con los resultados obtenidos se elaboraron gráficos de tratamiento vs pH alcanzado, para escoger las dosis de  $\text{CaCO}_3$  a ser utilizadas en el ensayo con plantas.

Para determinar las dosis a utilizar en el ensayo de invernadero, considerando el tiempo de equilibrio de los suelos, se realizó siguiendo un diseño experimental completamente aleatorizado, con cuatro tratamientos 0, 400, 600 y  $800 \text{ kg CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$  para el suelo de Cumbo y 0, 300, 500 y  $700 \text{ kg CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$  para el suelo de Tapipa, con cuatro repeticiones.

Los tratamientos de  $\text{CaCO}_3$  que se seleccionaron mediante ensayo de incubación, se usaron también en el ensayo de invernadero tratamientos con cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), con el objeto de diferenciar el efecto producido sobre la absorción del cadmio en las plantas. Siendo el criterio tomado para escoger los tratamientos de cloruro de calcio fue que en los mismos existiera la misma cantidad de calcio existente en el tratamiento de carbonato de calcio.

### Ensayo de invernadero

Los suelos fueron secados al aire y pasados por un tamiz plástico. Un mes antes de la siembra se pesó 1 kg de suelo por cada repetición mezclándose con la dosis de calcio respectiva (en potes de plástico), durante este mes se les suplió de agua periódicamente tratando de mantener su humedad en un 75% de su capacidad de campo.

Los tratamientos utilizados fueron los siguientes: Para el suelo de Cumbo Testigo (TC) 0 Calcio añadido, CB-1 (400), CB-2 (800) kg  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$  y su equivalente CI-1 (600), CI-2 (1200  $\text{CaCl}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Para el suelo de Tapipa Testigo (TT) 0 Calcio añadido, CB-3 (300), CB-4 (700) kg  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$  y su equivalente CI-3 (450), CI-4 (1050  $\text{CaCl}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ).

Para la siembra se escogieron semillas de cacao OC-61 x IMC-67 dominante en las zonas de muestreo y se hicieron pregerminaron en agua destilada. Al mes de desarrollo se iniciaron los muestreos foliares mensuales hasta los cinco meses de edad. Al finalizar el ensayo se analizó el suelo.

Mensualmente se colectaron muestras de las hojas representativas de las condiciones promedio del follaje para el ciclo particular de crecimiento, excluyéndose hojas que presentaran patrones de deficiencia en nutrientes u otra anomalía. Las muestras fueron secadas en una estufa de ventilación forzada por 48 horas a 70 °C, para luego ser pasadas por un molino con aspas de acero inoxidable y nuevamente llevadas a la estufa por 24 horas a 70 °C.

El las muestras de tejido foliar se determinó: cadmio, calcio, potasio y fósforo en hojas (Anderson, 1976). Se hizo una digestión con ácido sulfúrico concentrado y peróxido de hidrogeno. La determinación se realizó en espectrofotómetro de absorción atómica, menos el fósforo que se utilizó el espectro colorímetro.

Cinco meses después de la siembra, el material vegetal fue cosechado y pesado (para determinar el rendimiento de materia seca). Una vez finalizado el ensayo, el suelo usado fue analizado para determinar la cantidad de cadmio total e intercambiable en el mismo.

A los datos obtenidos se les verificó que cumplieran con los supuestos básicos de normalidad, homogeneidad, independencia y actividad para luego realizar la prueba de medias de Tukey, a un nivel de significancia del 5%. Para realizar estos análisis se utilizó el paquete estadístico Statistix.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de los suelos y ensayos de incubación

Los resultados de los análisis físicos y químicos de los suelos de las localidades de Agua Clara, Capaya, Cumbo, Curiepe y Tapipa, zonas con importancia en la producción del cultivo de cacao en la región de Barlovento, se muestran en el Cuadro 1.

Caracterizados cada uno los suelos, se decidió que para el ensayo con plantas en condiciones de invernadero se usarían los suelos de Cumbo y Tapipa. Se seleccionaron estos dos suelos ya que los mismos contrastan en su pH, Cumbo presenta un pH de 5,8 valor ligeramente ácido y Tapipa se encuentra bajo los rangos de un pH neutro con un valor de 6,7. De igual manera los resultados de las dos localidades seleccionadas indican diferencias en su textura, Cumbo tiene una textura franco arcillosa y Tapipa textura de tipo franco, influenciando en la selección de los suelos la cantidad de Cd, los suelos seleccionados tienen los mayores valores de Cd total 2,05 y 1,32 mg.kg<sup>-1</sup> para Cumbo y Tapipa respectivamente, en cuanto al cadmio intercambiable estos dos suelos de igual manera presentan las mayores cantidades 1,52 mg.kg<sup>-1</sup> para el suelo de Cumbo y 0,55 mg.kg<sup>-1</sup> para el de Tapipa.

El tiempo de equilibrio (teq) en el ensayo de incubación para la reacción del  $\text{CaCO}_3$  con el suelo de pH más bajo (Cumbo) fue de 16 días, con un pH de 6,7. Ya que en los muestreos siguientes no se observaron cambios importantes de pH. El pH aumentó a medida que se incrementaban la reacción de neutralización, luego de una semana de ensayo se encontró un valor de 6,3; este valor continuó incrementándose hasta llegar a 6,7 (A los 16 días), los muestreos siguientes no mostraron cambios de pH importantes, por lo tanto se estableció como (teq) los 16 días.

**Cuadro 1.** Resultado de los análisis físico-químicos de los suelos utilizados en este estudio

| ANÁLISIS                 | ZONA     |         |         |         |        |
|--------------------------|----------|---------|---------|---------|--------|
|                          | A. CLARA | CAPAYA  | CUMBO   | CURIEPE | TAPIPA |
| Textura                  | FA       | FA      | FA      | FA      | F      |
| pH                       | 6,5      | 6,6     | 5,8     | 6,4     | 6,7    |
| C.I.C. (meq/100 g suelo) | 22,2 A   | 20,7 A  | 20,2 A  | 14,8 M  | 22,5 A |
| M.O. (%)                 | 3,9 M    | 4,9 A   | 3,0 M   | 2,6 M   | 3,9 M  |
| Zn (mg.kg-1)             | 6,7 A    | 7,1 A   | 7,3 A   | 4,6 M   | 7,3 A  |
| Mn (mg.kg-1)             | 41,4 B   | 50,9 A  | 44,4 B  | 42,3 B  | 58,8 A |
| Fe (mg.kg-1)             | 330 A    | 392,4 A | 572,4 A | 222,8 A | 391 A  |
| Cu (mg.kg-1)             | 8,6 A    | 7,3 A   | 7,6 A   | 5,8 A   | 9,9 A  |
| Mg (mg.kg-1)             | 147,8 A  | 118,2 A | 131,3 A | 112,4 A | 98,2 A |
| Na (mg.kg-1)             | 25,9 B   | 18,6 B  | 17,3 B  | 16,6 B  | 16 B   |
| Ca (mg.kg-1)             | 2541 A   | 2646 A  | 1967 A  | 3004 A  | 1943 A |
| K (mg.kg-1)              | 111,9 A  | 802 A   | 89,2 A  | 56,3 A  | 45,1 M |
| P (mg.kg-1)              | 14,7 B   | 16,1 B  | 22,2 M  | 16,2 B  | 17,8 B |
| CdI (mg.kg-1)            | 0,21     | 0,18    | 1,52    | 0,47    | 0,55   |
| CdT (mg.kg-1)            | 1,14     | 1,21    | 2,05    | 0,83    | 1,32   |

A = Nivel Alto M= Nivel Medio B = Nivel Bajo

Para determinar las dosis a utilizar en el ensayo con plantas, se consideró el pH alcanzado con las diferentes dosis de calcio. Así, el pH alcanzado con la dosis mayor de 800 kg CaCO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup>, fue de 7,2 y con la menor dosis (400 kg CaCO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup>) fue de 6,8; ligeramente alcalino y neutro respectivamente. Estos incrementos, fueron mayor o igual a una unidad del pH inicial (5,8) por lo que fueron considerados suficientes para evaluar los cambios en la disponibilidad del cadmio en el suelo para las plantas. En suelo de Tapipa, a los 16 días (teq) las dosis utilizadas lograron aumentos que van desde el pH inicial 6,7 (neutro) a 7,4 (ligeramente alcalino), el pH alcanzado con la dosis de 700 kg CaCO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup> fue de 7,4 y con la dosis de 300 kg CaCO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup> fue de 7,1; ligeramente alcalino y neutro respectivamente.

Efecto de los tratamientos con calcio sobre la concentración de cadmio en las plantas

Se evaluó la dinámica de las concentraciones de cadmio y calcio, en las plantas de cacao. Durante el desarrollo de las plantas de cacao se encontraron en las hojas, diferentes concentraciones de Cd. Las cantidades de este elemento oscilan entre 12 y 75 mg.kg<sup>-1</sup>, con una tendencia en todos los tratamientos a aumentar con el transcurrir de los meses (Cuadro 2).

Las menores concentraciones de cadmio en el tejido vegetal se encontraron cuando se aplicó la dosis mayor de carbonato de calcio (CB-2) cuyos resultados fueron estadísticamente diferentes con el resto de los tratamientos durante todos los meses de muestreo, encontrándose al final del ensayo cantidades del elemento de hasta un 48 % menos, que en los demás tratamientos.

Es importante resaltar que en los demás tratamientos utilizados la menor dosis de carbonato de calcio (CB-1), la menor dosis de cloruro de Calcio (Cl-1) y la mayor dosis de cloruro de calcio (Cl-2), presentaron menores cantidades de Cd en las hojas durante los tres últimos meses, que las encontradas bajo el tratamiento testigo (T) donde se acumularon las mayores, al final del ensayo este tratamiento, alcanzó un incremento de 132% con respecto al primer mes.

Se muestra mayor efecto de la dosis de carbonato de calcio CB-2 que las de cloruro de calcio (CI-1 y CI-2) sobre la disponibilidad de cadmio, quizás debido a que el carbonato de calcio eleva el pH del suelo además de aumentar el ión calcio en la disolución del suelo, lo que de igual manera afecta la disponibilidad de este metal para las plantas (Kabata-Pendias y Pendias, 1986).

**Cuadro 2.** Concentración ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) de cadmio en las hojas (Suelo Cumbo).

| Tratamiento | Mes    |        |         |        |         |
|-------------|--------|--------|---------|--------|---------|
|             | 1      | 2      | 3       | 4      | 5       |
| TC          | 32,33b | 37,33a | 45,33a  | 67,67a | 75,00a  |
| CB-1        | 27,66c | 38,33a | 44,67a  | 47,67b | 52,33bc |
| CB-2        | 13,66d | 12,00c | 19,67c  | 30,33c | 39,00d  |
| CI-1        | 36,66a | 40,00a | 41,67ab | 47,67b | 58,33b  |
| CI-2        | 26,66c | 32,00b | 37,33b  | 45,00b | 45,67bc |

Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según Tukey,  $P < 0,05$ .

El comportamiento de la concentración de calcio (Ca) en las hojas, de las plantas bajo los diferentes tratamientos aumentó a medida que se incrementa el tiempo de ensayo, posiblemente ligado a los requerimientos de la planta para la etapa de desarrollo en que se encontraba. Las cantidades de este elemento se mantienen entre 0,56 y 0,97 %.

Durante el primer, tercer y último mes las concentraciones de Ca en las hojas de las plantas bajo el tratamiento CB-2 son las más elevadas y presentan diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos (Cuadro 3), encontrándose para el último muestreo concentraciones de hasta un 15 % mayor.

El comportamiento del elemento calcio en las hojas bajo los tratamientos T y CI-1 son muy similares, estos dos tratamientos incrementan la concentración del calcio en las hojas con respecto al primer mes en un 50 %. Bajo los demás tratamientos donde se adicionaron mayores cantidades de calcio al suelo, las concentraciones al final del ensayo son ligeramente mayores, como lo explica Navarro y Navarro (2000) quien indica que a una mayor proporción de calcio asimilable presente en el suelo, las concentraciones de calcio de una misma especie vegetal aumentan.

Las mayores concentraciones al final del ensayo se encontraron bajo los tratamientos CI-2 y CB-2 lo que indica que tal efecto se debió a la cantidad de calcio agregado al suelo y no a la forma química como se incorporó.

**Cuadro 3.** Concentración (%) de calcio en las hojas (Suelo Cumbo).

| Tratamiento | Mes   |        |        |         |       |
|-------------|-------|--------|--------|---------|-------|
|             | 1     | 2      | 3      | 4       | 5     |
| TC          | 0,56b | 0,60c  | 0,71ab | 0,80c   | 0,84c |
| CB-1        | 0,61b | 0,78a  | 0,84ab | 0,86abc | 0,86c |
| CB-2        | 0,70a | 0,72ab | 0,86a  | 0,89ab  | 0,97a |
| CI-1        | 0,60b | 0,61c  | 0,69b  | 0,82bc  | 0,90b |
| CI-2        | 0,60b | 0,62bc | 0,77ab | 0,90a   | 0,92b |

Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según Tukey,  $P < 0,05$ .

Las plantas de cacao desarrolladas en el suelo de Tapipa, presentaron durante su desarrollo, diferentes concentraciones de Cd. Las cantidades de este elemento en las hojas oscilan entre 11,33 y 65,33 mg.kg<sup>-1</sup>, la tendencia en todos los tratamientos es aumentar con el tiempo de ensayo.

El mayor incremento se observa en las plantas testigo donde la concentración llega a ser en el quinto mes 137 % mayor que la determinada en el primer mes (Cuadro 4).

Cuando se usó la mayor dosis de carbonato de calcio (CB-4), los resultados indicaron que existió una menor concentración de Cd en las hojas, siendo estadísticamente diferentes con el resto de los tratamientos, en los primeros tres meses y en los últimos dos meses no hubo diferencia con el CL-4. Con la mayor dosis de cloruro de calcio (CI-4) se reportaron cantidades bajas de este elemento. Durante los meses de muestreo las mayores cantidades de cadmio se encontraron en las unidades experimentales bajo el tratamiento testigo, excepto el primer mes donde la mayor concentración fue en las hojas bajo el tratamiento CI-3.

**Cuadro 4.** Concentración (mg.kg<sup>-1</sup>) de cadmio en las hojas (Suelo Tapipa)

| Tratamiento | Mes     |        |        |         |        |
|-------------|---------|--------|--------|---------|--------|
|             | 1       | 2      | 3      | 4       | 5      |
| TT          | 27,67bc | 36,33a | 38,00a | 54,33a  | 65,33a |
| CB-3        | 25,67bc | 35,00a | 38,67a | 40,67ab | 41,67c |
| CB-4        | 11,33c  | 10,33c | 14,33c | 22,33b  | 24,67d |
| CI-3        | 30,00a  | 39,33a | 37,33a | 49,67a  | 52,67b |
| CI-4        | 19,67b  | 25,00b | 27,33b | 27,67b  | 32,67d |

Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según Tukey, P < 0,05.

Los resultados muestran que las mayores fuentes de carbonato de calcio y cloruro de calcio, disminuyeron en mayor proporción la disponibilidad del Cd para las plantas con respecto al tratamiento testigo, muy similar a lo ocurrido en la localidad de Cumbo. También se observa con respecto a la disminución en la absorción del cadmio por las plantas, que existe una mejor respuesta a los tratamientos donde se utilizó carbonato de calcio que a los de cloruro de calcio. Los dos últimos meses del ensayo las concentraciones del elemento en las plantas se incrementaron en mayor cantidad probablemente debido a la disminución del efecto residual de los tratamientos utilizados.

Las concentraciones de Ca en las hojas para todos los tratamientos aumentan a medida que se incrementa el tiempo de desarrollo de la planta, los porcentajes de Ca en las hojas oscilan entre 0,62 y 0,77%. Con respecto al primer mes. Al final del ensayo, el menor incremento en la concentración de calcio se obtuvo en las plantas bajo el tratamiento testigo (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Concentración (%) de calcio en las hojas (Suelo Tapipa).

| Tratamiento | Mes    |        |        |        |       |
|-------------|--------|--------|--------|--------|-------|
|             | 1      | 2      | 3      | 4      | 5     |
| TT          | 0,62c  | 0,68b  | 0,74c  | 0,84b  | 0,88c |
| CB-3        | 0,66bc | 0,82ab | 0,91bc | 0,95ab | 0,97c |
| CB-4        | 0,77a  | 1,13a  | 1,12a  | 1,13a  | 1,15a |
| CI-3        | 0,67bc | 0,76ab | 0,96ab | 0,98ab | 1,04b |
| CI-4        | 0,70ab | 0,86ab | 1,08ab | 1,08a  | 1,11b |

Valores en la misma columna seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según Tukey, P < 0,05.

Las mayores cantidades de este elemento se encontraron bajo el tratamiento CB-4, al finalizar el ensayo las mismas fueron hasta un 30 % mayor que los resultados encontrados en el resto de las dosis utilizadas, resultando esta diferencia como estadísticamente significativa. Para esta época de muestreo los menores valores de este elemento se encontraron bajo los tratamientos T, CB-3 y CI-3, cuyo efecto fue estadísticamente diferente con respecto a los demás tratamientos.

Como respuesta que ocurre normalmente al crecimiento, las concentraciones de calcio aumentaron durante todo el ensayo. La diferencia en las concentraciones del elemento en la planta, de igual manera que en la localidad de Cumbo, probablemente se relacionan con el efecto de cada tratamiento, caso que se puede apreciar en la respuesta que se obtuvo con la mayor cantidad de carbonato calcio (CB-4) donde las concentraciones de este elemento en las plantas fueron mayores que en el resto de todos los otros tratamientos.

#### Niveles de cadmio en el suelo después de la cosecha

Una vez concluido el ensayo de invernadero, a los suelos de Cumbo y Tapipa, bajo todos los tratamientos se les determinó pH y la cantidad de cadmio total e intercambiable y ésta se comparó con las cantidades que se encontraron antes del ensayo. La concentración de Cd (total e intercambiable) en el suelo de Cumbo a las diferentes dosis de carbonato de calcio y de cloruro de calcio aplicadas y el Cd determinado antes van desde 2,05 a 1,82 mg.kg<sup>-1</sup> del Cd total y de 1,12 a 0,62 mg.kg<sup>-1</sup> de Cd intercambiable. Siendo el pH inicial de 5,8 y el pH final resultó de 7,2 en el tratamiento con CaCO<sub>3</sub>.ha<sup>-1</sup> y en el tratamiento con CaCl<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup> el pH final resultó de 7,1.

Como se muestra en el cuadro 6, el Cd total del Suelo Cumbo disminuyó bajo todos los tratamientos, en comparación con las cantidades que existían inicialmente. La menor concentración de Cd total se encontró bajo el tratamiento CB-2 el cual fue de un 7% menos que el encontrado bajo el tratamiento testigo, posiblemente esto puede ser atribuido a que además del cadmio que es absorbido por las plantas pudo haber una pérdida por lavado del cadmio que fue desplazado por el calcio del complejo de cambio.

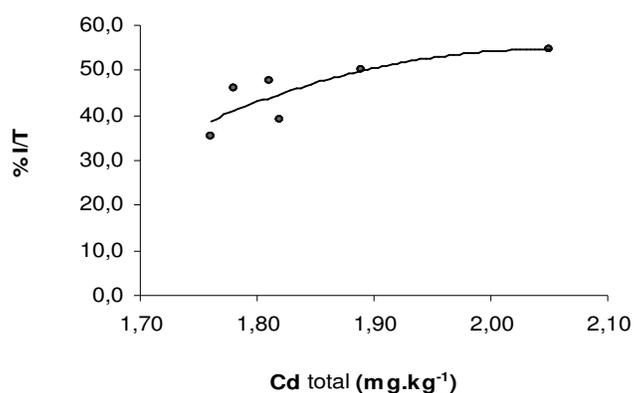
El Cd intercambiable también descendió con todos los tratamientos utilizados en comparación con el que existía antes del ensayo, al utilizar el tratamiento CB-2 se encontró la menor cantidad con respecto al tratamiento testigo que llegó a ser un 35 % menos. Al parecer pudo existir un efecto de los tratamientos utilizados ya que como lo reflejan los resultados al agregar la mayor cantidad de carbonato de calcio la cantidad del cadmio disponible en el suelo disminuye, éstos resultados se relacionan con los obtenidos del análisis foliar donde al utilizar la mayor cantidad de carbonato de calcio, es menor la concentración de Cd en las hojas y el nivel de pH llegó a ser ligeramente alcalino. Fontes et al. (2000) al respecto señala que al adicionar enmiendas que incrementen los contenidos de iones de calcio en el suelo se puede producir un efecto antagónico sobre cadmio.

Bajo la dosis mayor de cloruro de calcio (CI-2) también disminuyó el cadmio intercambiable con respecto al testigo, pero en un menor porcentaje (25 %) que bajo el tratamiento CB-2, probablemente el efecto del carbonato de calcio sobre la cantidad de Cd disponible para las plantas, fue mayor que al utilizar cloruro de calcio, porque además del incremento del calcio en la solución del suelo, los carbonatos retienen más el Cd, lo que lo hace menos disponible (Herrera, 2000).

La relación de Cd intercambiable con respecto al Cd total se observa en la figura 1. Como se puede apreciar esta fracción aumenta a medida que se incrementa la concentración de Cd total en el suelo, también se observa que cuando la concentración de cadmio total supera un valor aproximado de 1,9 mg.kg<sup>-1</sup> la relación % Inter/Total tiende a estabilizarse alrededor de un 52 %. Sin embargo en comparación al testigo, se encontraron menores valores de esta relación cuando se aplicaron al suelo los diferentes tratamientos de CaCO<sub>3</sub> y CaCl<sub>2</sub>, encontrándose los menores porcentajes con los tratamientos CB-2 (35,2%) y CI-2 (39%), lo que se refleja como otra evidencia de un posible efecto del carbonato de calcio y el cloruro de calcio sobre la disponibilidad del cadmio para las plantas.

**Cuadro 6.** Concentración (mg.kg<sup>-1</sup>) de Cadmio total e intercambiable (Suelo Cumbo)

| Suelo Cumbo       | Inicial     | T           | CB-1        | CB-2        | CI-1        | CI-2        |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Cd total          | 2,05 ± 0,26 | 1,89 ± 0,14 | 1,78 ± 0,08 | 1,76 ± 0,03 | 1,81 ± 0,01 | 1,82 ± 0,07 |
| Cd Intercambiable | 1,12 ± 0,28 | 0,95 ± 0,05 | 0,82 ± 0,10 | 0,62 ± 0,08 | 0,86 ± 0,11 | 0,71 ± 0,02 |
| % Inter/Total     | 54,6        | 50,3        | 46,1        | 35,2        | 47,5        | 39,0        |



**Figura 1.** Relación % I/T en función del contenido total de Cd (Suelo Cumbo)

Las cantidades de cadmio total e intercambiable obtenidas en el suelo de Tapipa con los diferentes tratamientos utilizados en este suelo, además del Cd determinado inicialmente mostró concentraciones de Cd total encontradas van desde 1,32 a 1,11 mg.kg<sup>-1</sup> y del Cd intercambiable desde 0,55 a 0,31 mg.kg<sup>-1</sup>. Siendo el pH inicial de 6,7 y el final de 7,4 en ambos tratamientos con las distintas fuentes de calcio.

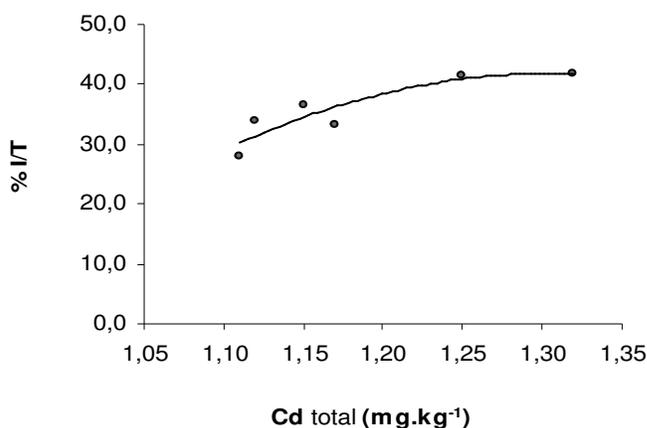
En el cuadro 7 se muestra que las cantidades Cd total del Suelo Tapipa son menores bajo todos los tratamientos con respecto a las encontradas antes del ensayo. La menor concentración de Cd total se encontró bajo el tratamiento CB-4 el cual fue de un 10 % menos que el encontrado bajo el tratamiento testigo.

**Cuadro 7.** Concentración (mg.kg<sup>-1</sup>) de Cadmio total e intercambiable (Suelo Tapipa)

| Suelo Tapipa      | Inicial     | T           | CB-3        | CB-4        | CI-3        | CI-4        |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Cd total          | 1,32 ± 0,20 | 1,25 ± 0,09 | 1,17 ± 0,02 | 1,11 ± 0,04 | 1,15 ± 0,18 | 1,12 ± 0,06 |
| Cd Intercambiable | 0,55 ± 0,17 | 0,52 ± 0,14 | 0,39 ± 0,01 | 0,31 ± 0,06 | 0,42 ± 0,03 | 0,38 ± 0,07 |
| % Inter/Total     | 41,7        | 41,6        | 33,3        | 27,9        | 36,5        | 33,9        |

Bajo todos los tratamientos utilizados el Cd intercambiable es menor que el inicial, al aplicar el tratamiento CB-4 se encontró la concentración más baja de este elemento de forma intercambiable, siendo con respecto al tratamiento testigo un 40 % menos.

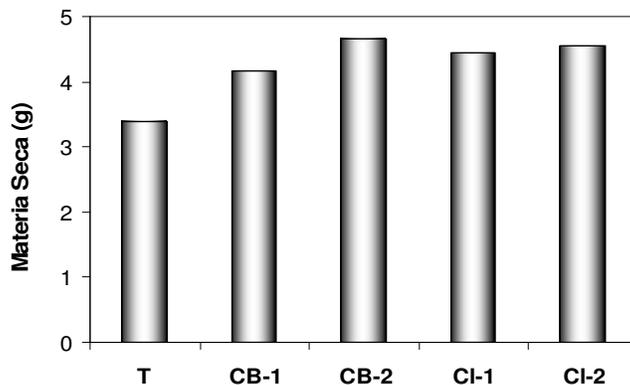
En la figura 2, se muestra la relación de Cd intercambiable con respecto al Cd total en el suelo, como se observa la tendencia es aumentar el Cd intercambiable al incrementarse la concentración de Cd total en el suelo. Bajo todos los tratamiento utilizados de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{CaCl}_2$ , la relación % Inter/Total siempre fue mas baja que la encontrada en el tratamiento testigo, el menor porcentaje hallado fue de 27,9 % con el tratamiento CB-4 que al parecer influyó de mayor manera sobre la disponibilidad del cadmio para las plantas. Los resultados son muy similares a los encontrados en el suelo de Cumbo, aunque bajo este suelo se encontró una mayor disminución del Cd intercambiable dado probablemente a las condiciones particulares de este suelo.



**Figura 2.** Relación % I/T en función del contenido total de Cd (Tapipa)

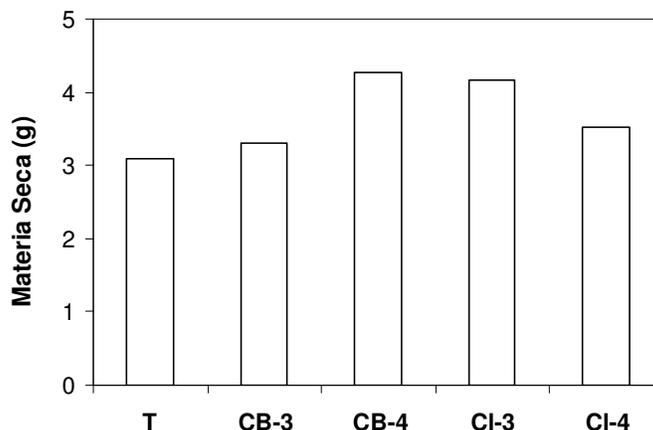
Rendimiento de materia seca, en la figura 3 y 4 se presentan el efecto de los diferentes tratamientos utilizados sobre el peso de materia seca en las plantas de cacao durante cinco meses de ensayo de invernadero. En el suelo de Cumbo se encontraron de 3,3 a 4,6 g de materia seca y en el suelo Tapi-pa de 3 a 4,2 g de materia seca. En ambas localidades descritas la respuesta de las plantas a cada uno de los tratamientos es evidente, ya que las mismas se diferencian con respecto al testigo.

Tanto en el suelo de la localidad de Cumbo como en el de Tapi-pa el peso seco aumenta con el incremento del carbonato de calcio. Al utilizar cloruro de calcio sucede igual que lo anterior en la localidad de Cumbo pero en la localidad de Tapi-pa sucede lo contrario, ya que la dosis menor causa mejor resultado que la dosis mayor.



**Figura 3.** Rendimiento de materia seca en las plantas de cacao en el suelo de la localidad de Cumbo

Aunque el comportamiento de los tratamientos de las dos localidades fue similar como se describió anteriormente, los resultados comprueban, que el efecto de los tratamientos en el suelo de la localidad de Cumbo fue mejor; ya que los valores en peso, son mayores que los del suelo de Tapipa. Estos resultados pueden estar relacionados a los cambios en la disponibilidad de nutrientes y demás características del suelo, en el suelo de Tapipa el pH ligeramente alcalino a causa de los tratamientos utilizados pudo haber ocasionado una disminución en la disponibilidad de micronutrientes, al incrementarse demasiado el pH. De igual manera en este suelo las concentraciones de nutrientes y calcio encontrados en las hojas de las plantas son menores a las que se encontraron en la localidad de Cumbo, lo que también pudo haber influido en su crecimiento.



**Figura 4.** Rendimiento de materia seca en las plantas de cacao en el suelo de la localidad de Tapipa

### CONCLUSIONES

Los tratamientos de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) utilizados en ambos suelos (Cumbo y Tapipa) lograron disminuir las concentraciones de cadmio en las hojas de las plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.), el efecto fue mayor a medida que se incrementaba la cantidad de  $\text{CaCO}_3$  aplicada al suelo.

La concentración de calcio en las hojas fue mayor al incrementarse la cantidad de calcio incorporado en los suelos y al aumentar el tiempo del ensayo.

El cadmio intercambiable de los dos suelos utilizados disminuyó con respecto al testigo, al aplicar al suelo las dosis de  $\text{CaCO}_3$ , siendo mayor el efecto al aumentar la dosis utilizada.

El uso del  $\text{CaCO}_3$  incrementó el peso de materia seca de las plantas de cacao en comparación con el tratamiento testigo, lo cual es más apreciable en suelo de Cumbo cuyo pH inicial era más bajo.

### LITERATURA CITADA

- Anderson, A.** 1976. On the determination of ecologically significant fractions of some heavy metals in soils. *Swedish J. Agric. Res.* 6:19-25.
- Anderson, A. y M. Hahzin.** 1981. Cadmium effects from phosphorus fertilization in field experiments. *Swedish J. Agric. Res.* 11:30-10.
- Anderson, J. y J. Ingram.** 1993. *Tropical soil biology and fertility (ISBF). Handbook of Methods.* C.A.B.. Internacional. 171p.
- Duran, M.** 2002. El fruto es el sustento de cientos de familias. *El Nacional* 10 de Mayo.
- Ewel, J.; A. Madriz y J. Tosi.** 1976. *Zonas de vida de Venezuela.* Dirección de Investigación del Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas. Venezuela. 270 p.

- Fontes, M. P. F.; A. T. de Matos; L. M. Da Costa y J. C. L. Neves.** 2000. Competitive adsorption of zinc, cadmium, copper and lead in three highly-weathered Brazilian soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2939-2958.
- Herrera, T.** 2000. La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. *Venesuelos*. 8(1-2):42-46.
- Instituto de Edafología.** 1993. Métodos de análisis de suelos y plantas. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Cuadernos de Agronomía. 1:44-50.
- Izquierdo, A.** 1998. Determinación de contaminación con cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su posible origen en la región de Barlovento Estado Miranda. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay. Edo. Aragua.
- Jackson, M.** 1964. Análisis químico de suelos. Omega. Barcelona. 662 p.
- Kabata-Pendias S. y H. Pendias.** 1986. Trace elements in soils and plants. CRS Press. Florida. USA. 313p.
- Ministerio de Agricultura y Cría (MAC).** 1998. Cacao. Superficie, producción y rendimiento según la entidad federal. CIAGRO. Maracay Edo. Aragua.
- Mann, S. y G. Ritchie.** 1993. The influence of pH on the forms of cadmium in four west Australian soils. *Aust. J. Soil Res.* 31: 255-270.
- Matissek, R.** 1990. Metales pesados en el cacao y los productos del cacao. Organización Internacional del Cacao. ICCO. 20 p.
- Mortvedt, J.; P. Giordano y W., Lindsay.** 1983. Micronutrientes en agricultura. AGT.
- Navarro, S y G. Navarro.** 2000. Química Agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida. Editorial Mundiprensa. Madrid. 488 p.
- Olsen, S., C. Cole, F. Watanabe y L. Dean.** 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep. Of Agri. Circ. p 939.
- Pla, I.** 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista de la Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela.* Alcance N° 32. 120 p.
- Rojas, I. y A. Sánchez.** 1987. Criterios para la recomendación de cal para suelos ácidos de Venezuela. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Cento Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay. 32 p.
- Sposito, G.; C. Levesque; J. LeClaire y A. Chang.** 1983. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: III. Effect of time on the extraction of trace metals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:898-903
- Watanabe, F y Olsen.** 1965. Test of an acid ascorbic methods for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil. *Soil Sci. Soc. AM. Proc.* 29:677-678.
- Williams, D.; F. Vlamis; A. Pukite, y J. Corey.** 1984. Metal movomient in sludge treated soil after six years of sludge addition: cadmium, copper, lead and zinc. *Soil Sci.* 137. 351-359.
-