

CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN PARTÍCULAS DE DIFERENTES TAMAÑOS DE UN SUELO DE LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA

CRISTINA GONZÁLEZ¹, JOANA THOMPSON¹, YADIRA MARTÍNEZ², NEREIDA SÁNCHEZ²

¹Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Venezuela
e-mail: tinaegb@gmail.com; jt526@hotmail.com

²Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Laboratorio de Tecnología de Suelo y Ambiente

Recibido: octubre de 2008

Recibido en forma final revisado: marzo de 2010

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar las concentraciones de cadmio en fracciones hidrosolubles, unidas a los carbonatos y totales en partículas de diferentes tamaños de un suelo de la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. Se utilizó un suelo de origen lacustre de la zona de Guácara, con importante concentración de cadmio tamizado a 2 mm. Para obtener la distribución de las partículas de suelo por tamaño, se fraccionó el suelo con tamices de acero inoxidable de 1 mm, 0,5 mm y 0,25 mm dispuestos en serie. Para la extracción de cadmio total se empleó la metodología 3050 (Carter, 1993), de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), mientras que para el cadmio hidrosoluble y el cadmio unido a los carbonatos se utilizó la metodología citada por Martínez (2005). La concentración del cadmio en cada extracto se determinó por absorción atómica y los resultados obtenidos se sometieron a análisis estadístico. Los resultados señalan que el suelo tamizado a 2 mm está conformado en un 42% por partículas con diámetro menor o igual a 0,25 mm. La concentración total de cadmio en el suelo resultó superior a lo que establecen las normativas en suelos agrícolas (0,7 mg/kg) y en sedimentos de origen lacustre (0,1-1,5 mg/kg). Para las partículas más pequeñas se obtuvieron las mayores fracciones de cadmio hidrosoluble (6%) y cadmio unido a los carbonatos (24%). Se concluye que no existen diferencias significativas entre el tamaño de las partículas de suelo y la concentración contenido total de Cd.

Palabras clave: Cadmio, Lago de Valencia, Tamaño de partículas de suelo, Fracciones de suelo, Suelo lacustre lacustrino.

CADMIUM CONCENTRATION IN DIFERENT PARTICLES SIZES OF LAKE VALENCIA BASIN SOIL

ABSTRACT

The objective of this study is to determine the concentration of cadmium in hydrosoluble fractions, associated with carbonates and totals in different sizes in a soil particles from the Valencia Lake (Venezuela) basin. Lacustrine soil from the Guacara zone with important concentrations of cadmium was used, sifted through a 2 mm screen. The soil was physically fractionated according to particle size, through 1mm, 0,5mm and 0,25 mm stainless steel sieves in a sequential order. For the chemical analysis, the soil was screened with each sieve. For the cadmium total extraction, the methodology used was the 3050 (Carter, 1993) of the United States Environmental Protection Agency, (USEPA), while for the hydrosoluble and carbonate associated cadmium, Martinez's (2005) proposed methodology was employed. The cadmium concentration for each extract was determined by atomic absorption. The obtained concentrations were subject to statistical analysis. The results point out that the 2 mm sieved soil is 42% made up by $\leq 0,25$ mm particle size. The total cadmium soil concentration resulted over the agricultural soils limits (0,7 mgCd/kg-soil) and lacustre lacustrine sediment norms (0.1-1,5 mgCd/kg-soil). For the small particles, the highest hydrosoluble fractions (6%) and carbonate associated (24%) were obtained. In conclusion, there are no significant differences between the soil particle sizes and the total cadmium concentration.

Keywords: Cadmium, Valencia Lake, Soil particle size, Soil fractions, lacustre lacustrine soil.

INTRODUCCIÓN

La concentración de metales pesados (Cd, Cu, Cr, Hg, Ni,

Pb, Zn etc.) en el suelo es un factor limitante en el uso agrícola del mismo. El problema más relevante es la movilidad de los iones del metal y su disponibilidad para las plan-

tas. La concentración de metales pesados tiene su origen en la meteorización que experimenta el material parental bajo condiciones normales de formación del suelo. Aunque los metales pesados son constituyentes naturales en todos los suelos, su concentración se puede incrementar debido a fuentes antropogénicas. Existen métodos diferentes para determinar la concentración total de metales pesados en el suelo, no obstante, esta variable no es muy útil cuando se trata de comprender la dinámica del metal en el suelo y su disponibilidad, sin embargo, puede considerarse cuando se desee verificar el cumplimiento de las normativas para el control de la contaminación de metales en el suelo. Si la concentración total de metales en el suelo supera los valores característicos de la zona, puede ser un indicador de contaminación bien sea por actividades humanas o por acumulación debido a procesos bioquímicos naturales (McBride, 1994). Por lo tanto, para evaluar el impacto de los metales pesados en el suelo es necesario conocer el tipo y concentración del elemento en las distintas fases de este sistema, debido a que cantidades importantes del elemento podrían estar presentes en formas no disponibles para las plantas. Ritchie & Sposito (1995), señalan la importancia de distinguir las especies químicas, de acuerdo a la distribución de los componentes en el suelo para cuantificar los riesgos de contaminación. Adicionalmente, estos investigadores afirman que las formas disponibles no están necesariamente asociadas con una especie química en particular o un componente químico especial del suelo.

Al proceso empleado para identificar y cuantificar las diferentes especies, fases o formas presentes en un material bien sea como compuesto químico o como estado de oxidación específico, se le denomina especiación de elementos (McBride, 1994). En el caso de la especiación definida desde el punto de vista operacional, los procesos de fraccionamiento físico o químico de las muestras son los que definen la fracción. El fraccionamiento químico de metales pesados consiste en separar los metales mediante un solvente adecuado que los solubilice. El uso de extractores químicos diferentes permite remover los metales de las distintas fracciones fisicoquímicas de la muestra; según Tessier *et al.* (1979), citado por Martínez (2005). Por lo general, las extracciones consideran cinco o seis fracciones del suelo denominadas: solubles en agua, intercambiables, unidas a los carbonatos, hidróxidos de hierro y manganeso, orgánica y residual. La extracción del metal ligado a las distintas fracciones del suelo se puede realizar individualmente o en forma secuencial mediante el uso de reactivos extractantes cuya agresividad se incrementa progresivamente, a fin de minimizar el solapamiento de fracciones (Martínez, 2005).

Por lo tanto, todo procedimiento de extracción, diseñado para evaluar la especiación de metales trazas en el suelo,

debe considerar la selectividad de los reactivos empleados en la extracción y la fase geoquímica específica. Se debe tener en cuenta en que grado la fase deseada se solubiliza y el grado en el que la fase remanente resiste el ataque. La cantidad extraída representa la concentración de equilibrio obtenida en el contacto de las fases involucradas. Este proceso de extracción tiene muchas aplicaciones y se ha utilizado en áreas como la geoquímica, ciencia del suelo y estudios de contaminación en sistemas acuáticos. En muchos suelos, algunos elementos pueden ser parcialmente extraídos con solventes como el agua o soluciones salinas, mientras que otros, pueden resistir la extracción con soluciones químicas agresivas como ácidos concentrados o agentes quelantes poderosos. Los componentes de la fase sólida del suelo, el pH y el número y accesibilidad de los sitios de absorción, son algunos de los factores que influyen en la especiación del metal en el tiempo. Además, los resultados analíticos se ven afectados por modalidades operativas, tales como la relación suelo/solución, tiempo de extracción, tipo de suelo, temperatura, solución extractora y el tamaño de las partículas del suelo.

Con respecto a este último parámetro, en los análisis de rutina de suelos con fines de fertilidad, se emplean muestras de suelo tamizadas a 2 mm, no obstante, en estudios realizados en el área de contaminación de suelo, no existe un acuerdo en cuanto al tamaño de partículas de las muestras de suelo a utilizar en las determinaciones de concentración de metales. Algunos investigadores utilizan muestras de suelo con partículas de diámetro menor a 2 mm, para realizar las extracciones de las fracciones químicas consideradas (Pereira *et al.* 2005; Costa *et al.* 2007; Jordán *et al.* 2009; Jarva *et al.* 2009). Otros investigadores (Vieira *et al.* 2008), no señalan el tamaño de partículas. La USEPA (Carter, 1993) establece que las extracciones para determinar la concentración de metal en el suelo deben realizarse con partículas de suelo ≤ 1 mm.

Entre los metales pesados de interés, desde el punto de vista ambiental, se encuentra el cadmio (Cd), debido a su grado de toxicidad. Una de las fuentes que determina la concentración de Cd en el suelo es la meteorización del material parental, no obstante, valores altos pueden asociarse al impacto antropogénico. En este último caso, las partículas de cadmio pueden entrar al aire por fuentes como la minería, industrias que producen zinc y minerales de fosfato, y viajar largas distancias antes de depositarse en el suelo. También, el Cd puede llegar al suelo por medio de la fertilización fosforada y por derrames o escapes de desechos peligrosos (baterías, lodos, minerías etc.). Bajo condiciones oxidantes el Cd se libera en el suelo como Cd^{2+} . La alta movilidad del Cd^{2+} en el suelo se atribuye a la acidez del suelo. Para valores de pH menores de 6 el Cd^{2+} se adsorbe débilmente

en la materia orgánica, arcillas y óxidos, mientras que para valores de pH mayores de 7 el Cd^{2+} puede coprecipitar con CaCO_3 , o precipitar como CdCO_3 . También, el Cd se asocia con el Zn en su geoquímica, y presenta afinidad por el azufre en minerales del grupo sulfuro de las rocas.

A nivel mundial, la concentración de cadmio en el suelo es regulado tanto o más que el plomo y el mercurio entre otros metales pesados. Dé Vries & Bakker (1998), realizaron un compendio de los límites establecidos por diversos países para los niveles de cadmio en suelo, encontrándose valores mínimo y máximo de 0,3 mg/kg y 2 mg/kg, respectivamente. En Venezuela, no existen normas definidas para la contaminación de suelo, no obstante las normas para la recuperación de materiales y manejo de desechos peligrosos (Decreto N° 2289), establece un límite máximo de cadmio en los desechos de 5 mg/kg. Según el Decreto 883 referido a las descargas en los cuerpos de agua, se estipula un límite máximo de 0,2 mg/L de cadmio total vertido, y según el Decreto 3219 de las normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del Lago de Valencia, se establece como concentración máxima de cadmio 0,2 mg/L para descargas y vertidos de redes cloacales. En el Decreto 638 de los límites de emisión al aire, se establece un máximo de 25 mg/m³ en actividades donde se produzca cadmio.

García & Sosa (1994); Martínez & Rivero (2005), señalan que suelos lacustres ubicados en la cuenca el Lago de Valencia presentan concentraciones importantes de Cd total. Entre las principales causas de este hecho, se plantea la prolongada fertilización fosfatada, así como también el uso agrícola de lodos residuales, trayendo como consecuencia un progresivo aumento en los niveles de cadmio en suelos disponibles para la agricultura (Herrera, 2000). En vista de que existen pruebas de que el ciclo de este metal se ha visto perturbado por las actividades del hombre, es importante cuantificar la cantidad de cadmio presente en las diferentes fracciones químicas del suelo, ya que de continuar esta situación, se pueden generar problemas de contaminación de alimentos.

De acuerdo a la incertidumbre que se presenta entre los investigadores del área ambiental, con respecto al tamaño de partículas a considerar en las extracciones de metales y dado el creciente interés en los últimos años por el estudio de Cd en el suelo debido a la detección de niveles relativamente altos en el suelo y en algunos cultivos alimenticios, se decidió realizar este trabajo con el objetivo de determinar las concentraciones de cadmio en fracciones hidrosolubles, unidas a los carbonatos y totales en partículas de diferentes tamaños de un suelo de la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela.

METODOLOGÍA

Se trabajó con un suelo agrícola lacustre con contenido (concentración) importante de cadmio (Martínez & Rivero, 2005). El suelo se encuentra en la cuenca del Lago de Valencia, en la zona de Guacara, específicamente en el sector Las Palmeras. Las características del suelo se presentan en la tabla 1. El muestreo se realizó en forma de zig-zag a la profundidad de 0 a 20 cm. Se tomaron con barreno 20 submuestras, en un terreno uniforme en cuanto a pendiente, vegetación, clima, grado de erosión y manejo. Por mezclas de las submuestras se obtuvo una muestra compuesta. Las muestras de suelo, se secaron en invernadero a temperatura ambiente, se mezclaron, y tamizaron con un tamiz de 2 mm, y se guardaron en bolsas plásticas para su uso posterior.

El fraccionamiento físico del suelo se llevó a cabo mediante dos procesos diferentes. Uno con el fin de obtener la distribución de las partículas del suelo en función de su tamaño y el otro, para la obtención de las muestras de suelo con un tamaño de partícula definido, para el análisis químico. La diferencia de ambos métodos radicó fundamentalmente en la forma del tamizado como se describe a continuación. El suelo, tamizado a 2 mm, se agitó de forma vigorosa y se fraccionó con los tamices de 1, 0,5 y 0,25 mm colocados de forma secuencial. Posteriormente, el suelo que quedó remanente en cada tamiz se pesó, obteniéndose así la distribución por tamaño de las partículas del suelo.

Tabla 1. Características del suelo.

pH 1:2,5 en H ₂ O	8,31
CO (g/kg)	15,42
P (mg/kg)	22
N (g/kg)	0,80
K (mg/kg)	20,04
Ce(dS/m) 1:2,5 en H ₂ O	2,38
CIC (mol/kg)	13,5
Ca (mg/kg)	7656
Na (mg/kg)	512
Mg (mg/kg)	616
Da g/cm ³	0,88
Clasificación textural	Fa
Clasificación Taxonómica	Mollic ustifluventics Francosa carbonática mixta

Además, se determinó el pH en las muestras de suelos tamizadas a diferentes tamaños, debido a la influencia que ejerce la acidez del suelo en la movilidad del Cd. El método empleado fue el potenciométrico, tal como se describe a continuación: en un matraz Erlenmeyer de 125 mL; se pesaron 10 g de suelo con una balanza analítica digital y se añadieron 25 mL de agua desionizada, medidos con un cilindro graduado. La mezcla se mantuvo en agitación en una plancha magnética por 5 minutos. Posteriormente, en agitación continua, se midió 3 veces el valor de pH con un pH-metro provisto de un electrodo combinado, marca Orión. Se realizaron tres réplicas por cada tamaño de partículas del suelo.

Para el análisis químico, se fraccionó el suelo de manera de obtener los tamaños de partículas agrupados de la siguiente forma: ≤ 2 mm, ≤ 1 mm, $\leq 0,5$ mm y $\leq 0,25$ mm. Esto se realizó pasando el suelo a través de cada tamiz por separado, tamizando hasta obtener 200 g de cada uno de los tamaños señalados.

El estudio se realizó bajo un diseño experimental completamente aleatorizado. Se determinó por triplicado la concentración de cadmio total, cadmio unido a la fracción hidrosoluble y cadmio unido a los carbonatos en las cuatro fracciones con diferentes diámetros de partículas (≤ 2 mm, ≤ 1 mm, $\leq 0,5$ mm y $\leq 0,25$ mm) de un suelo. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de la varianza (ANAVAR) utilizando como herramienta el programa Statistix 8.0, luego de verificar los supuestos básicos; el supuesto de normalidad mediante la prueba de Wilk-Shapiro y la prueba de Barlett para la verificación de la homogeneidad de las varianzas. Para comparar diferencias significativas entre los valores de concentración de cadmio entre los suelos evaluados, como método de comparación múltiple se utilizó la prueba de Tukey y para determinar el grado de asociación entre las variables estudiadas, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson.

Antes de realizar las extracciones, se efectuó una selección previa de las fracciones químicas de mayor relevancia, mediante un diagrama causa – efecto, en el cual se consideraron factores tales como la fracción, cuyos resultados tuvieron comparación con las normas ambientales para suelos, la fracción disponible para ser absorbida por las plantas y el tipo de suelo. Con base a lo expuesto anteriormente, se seleccionaron las fracciones: cadmio total, cadmio hidrosoluble y cadmio ligado a los carbonatos del suelo, respectivamente. Las extracciones se realizaron, como se señala a continuación:

Extracción de cadmio total: el método de extracción que se seleccionó para obtener la fracción total de cadmio fue el

método 3050 de la USEPA (Carter, 1993), cuya metodología se muestra en la figura 1.

Extracción de la fracción hidrosoluble: se realizó siguiendo lo expuesto por Martínez (2005), tal como se muestra en la figura 2.

Extracción de cadmio unido a los carbonatos: se determinó según la metodología empleada por Martínez (2005); Jordán *et al.* (2009), tal como se muestra en la figura 3.

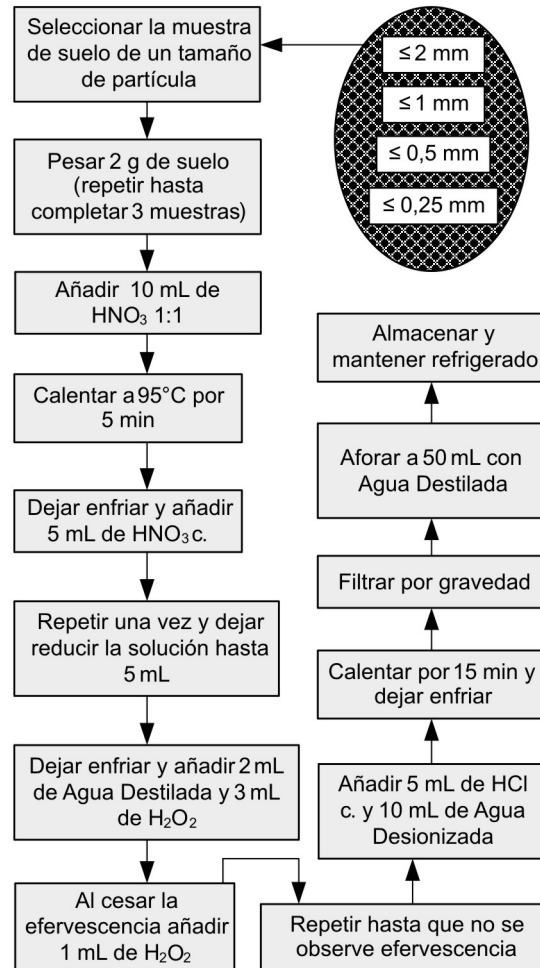


Figura 1. Metodología para la extracción de cadmio total.

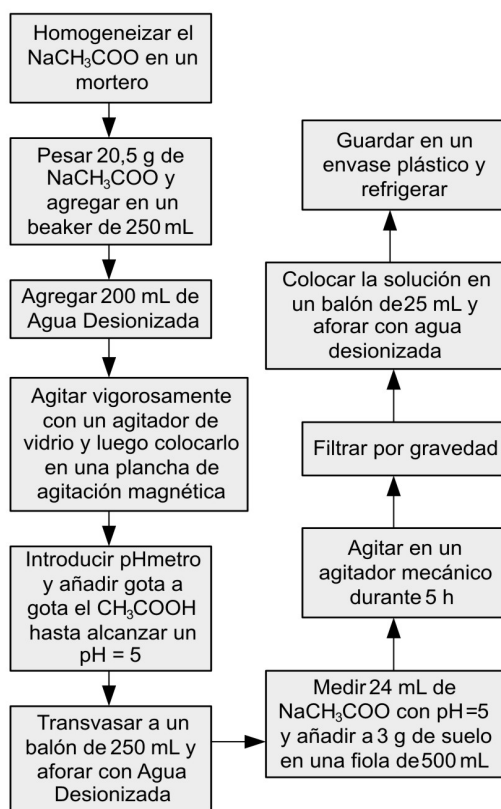


Figura 2. Metodología para la extracción del cadmio unido a los carbonatos.

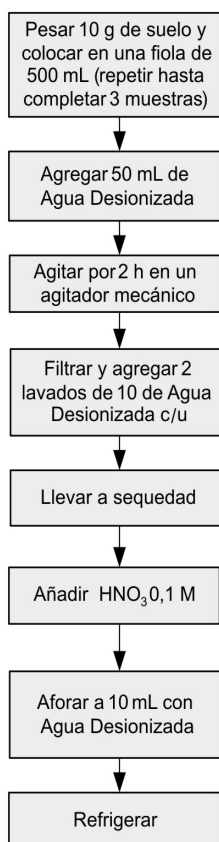


Figura 3. Metodología para la extracción de cadmio hidrosoluble.

La concentración de cadmio en cada uno de los extractos se determinó mediante un equipo de absorción atómica Perkin-Elmer.

Para determinar la concentración de cadmio en cada una de las fracciones de suelo (mg/kg) se utilizó la siguiente ecuación:

$$Cd_s = (Cd_{sol} - Cd_B) \times \frac{V_{sol}}{m_s} \times f \quad (1)$$

donde:

Cd_s : concentración de cadmio en la fracción química correspondiente a un tamaño de partícula (mg/kg)

Cd_{sol} : concentración de cadmio en los extractos correspondientes a un tamaño de partícula (mg/L)

Cd_B : concentración de cadmio en el blanco (mg/L)

V_{sol} : volumen de aforo del extracto (mL)

m_s : masa de suelo utilizada en la extracción (g)

f : factor de conversión (1 g.L/kg.mL)

En vista de que el agente extractor de la fracción unida a los carbonatos (CH_3COONa) también extrae el cadmio hidrosoluble, para esta fracción además del blanco se sustrajo el contenido de cadmio hidrosoluble. Para determinar la fracción que representan tanto el cadmio hidrosoluble como el unido a los carbonatos se empleó la ecuación (2).

$$D_f = \frac{X_p}{X_t} \times 100 \quad (2)$$

donde:

D_f : Distribución de la fracción química (%)

X_t : Concentración de cadmio total del suelo (mg/kg)

X_p : Concentración de cadmio asociada a la fracción hidrosoluble y a la unida a los carbonatos (mg/kg)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 4 se aprecian los resultados de la distribución por tamaño de las partículas de suelo, donde la mayor proporción viene representada por las partículas menores o iguales a 0,25 mm, con un 42%. Esto puede explicarse ya que el muestreo de suelo se realizó a una profundidad de 0 a 20 cm desde la superficie, estando más propenso a que las partículas sólidas pequeñas que transporta el aire se depositen en él, favoreciendo su acumulación.

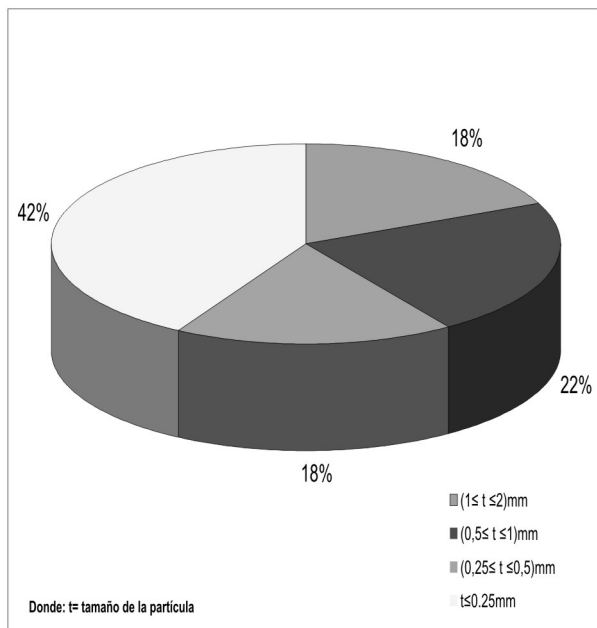


Figura 4. Distribución por tamaño de las partículas del suelo.

Los valores de pH medidos para cada fracción de suelo se muestran en la tabla 2. Dichos valores no son estadísticamente diferentes, por lo tanto, en este estudio el pH no mostró variación con respecto al tamaño de las partículas del suelo. La importancia de la determinación del pH radica en la incidencia que tiene sobre el comportamiento del cadmio en el suelo. Según Herrera (2000), mientras mayor es el pH del suelo, mayor es la retención de cadmio en el mismo. Por su parte, García & Sosa (1994), afirman que a valores de pH por encima de 6 la absorción de cadmio se incrementa rápidamente.

Tabla 2. Valor de pH del suelo para cada tamaño de partícula.

Tamaño de partícula (mm)	pH
≤ 2	8,09 a*
≤ 1	8,48 a
$\leq 0,5$	8,13 a
$\leq 0,25$	7,98 a

* Medias con las mismas letras no son estadísticamente diferentes ($\alpha=0,05$).

La distribución del cadmio en las diferentes fracciones químicas evaluadas para cada tamaño de partícula puede apreciarse en la figura 5. De acuerdo a estos resultados se puede afirmar que el cadmio en el suelo se encuentra asociado a los carbonato entre 19-24% y a otras fracciones entre 70-79%. Jordán *et al.* (2009), obtuvieron resultados similares

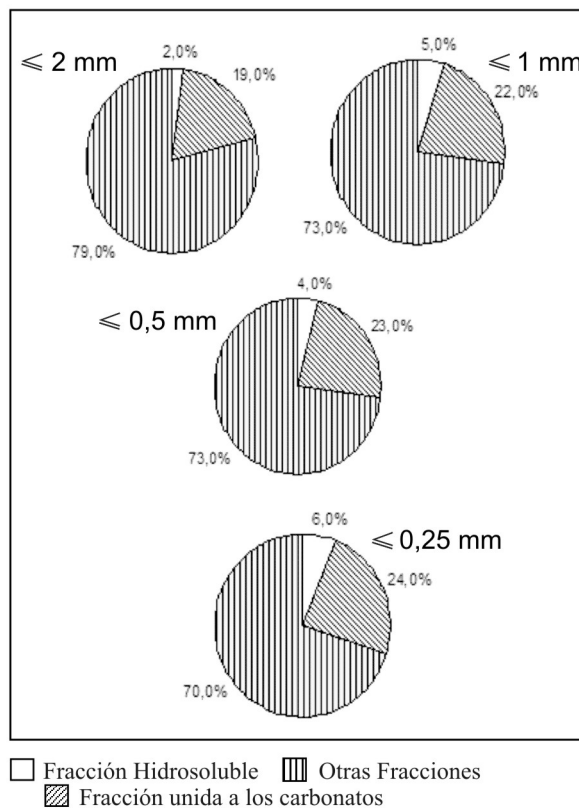


Figura 5. Distribución de las fracciones de cadmio en los diferentes tamaños de partícula.

en un suelo calcáreo de España, estos investigadores señalan que la distribución de Cd, debe ser una consecuencia de los compuestos de Cd presentes en los sedimentos que forman el material parental del suelo. El bajo porcentaje de Cd (2-6%) asociado a la fracción hidrosoluble lo atribuyen a la quelación del metal, lo que aumenta la solubilidad del Cd en agua en los suelos alcalinos. Se observa que las fracciones hidrosoluble y unida a los carbonatos tienden a aumentar a medida que disminuye el tamaño de partícula. Esto concuerda con el hecho de que el 42% del suelo está conformado por partículas de menor tamaño (figura 4), precisamente donde se obtiene el mayor porcentaje de cadmio hidrosoluble. Esta fracción representa la cantidad de cadmio biodisponible, por lo que se deduce que existen mayores posibilidades de que el cadmio presente en el suelo penetre en la cadena trófica. La mayoría de las metodologías que se refieren a estudios de suelo por lo general establecen realizar los análisis en suelo con partículas ≤ 2 mm, entre ellos Abdel-Saheb *et al.* (1994); Teruo *et al.* (1995); Carrasquero (1999); Persicani (1995). Sin embargo, investigadores en el área ambiental han trabajado con muestras de suelo con partículas de tamaño \leq a 2 mm, entre ellos Martínez & Rivero (2005), quienes utilizaron partículas ≤ 1 mm para cuantificar la concentración de metales pesados en distintas fracciones del suelo. La USEPA (Carter, 1993) establece que para la determinación de la concentración total

de metales pesados en el suelo, se debe realizar la extracción en partículas de tamaño ≤ 1 mm. Por lo antes expuesto se hace necesario unificar criterios de manera que se puedan comparar los resultados que se obtengan en las investigaciones referentes a la cuantificación de metales en el suelo.

La concentración Cd total obtenido en cada uno de los tamaños de partículas de suelo considerados (tabla 3), resultó superior a lo que establecen las normativas en suelos y/o investigadores. La USEPA (Carter, 1993) establece 1 mg/kg; Förstner & Wittmann (1983) señalan para suelo agrícolas 0,7 mg/kg; García & Sosa (1994) en sedimentos de origen lacustre refieren concentraciones entre 0,1-1,5mg/kg y Jarva *et al.* (2009) en suelos contaminados encontraron valores $\leq 0,5$ mg/kg. Al comparar los resultados obtenidos de cadmio total con los límites estipulados, se tiene que en todas las muestras de suelo el límite es sobrepasado.

Tabla 3. Niveles de cadmio total en cada tamaño de partícula del suelo.

Tamaño de partícula (mm)	pH
≤ 2	2 a
≤ 1	1,5 a
$\leq 0,5$	2 a
$\leq 0,25$	1,58 a

* Medias con las mismas letra no son estadísticamente diferentes ($\alpha=0,05$).

La causa de que la concentración total de cadmio exceda los niveles establecidos por algunos investigadores y organizaciones podría relacionarse, tal como lo expresan García & Sosa (1994), a los efluentes urbano-residenciales, las industrias de electrodeposición y las descargas urbanas, todas presentes en la cuenca del Lago de Valencia. Esto también podría asociarse como lo expresa Herrera (2000), a fuentes de contaminación aéreas, en forma de polvo y vapores provenientes de las fundiciones de metales o plantas incineradoras.

De acuerdo con Dé Vries & Bakker (1998), la concentración de cadmio total permisible en diversos países está comprendida entre 0,3 y 2 mg/kg, por lo que de acuerdo a estos autores, los valores obtenidos están dentro de los valores señalados.

El análisis de la varianza no mostró diferencias significativas ($P<0,05$) entre las concentraciones de Cd total (tabla 3), cadmio unido a los carbonatos y cadmio hidrosoluble, en las fracciones de diámetro de partículas (≤ 2 mm, ≤ 1 mm, $\leq 0,5$ mm, $\leq 0,25$ mm) del suelo evaluado. Esto significa que si se realiza una extracción en cualquiera de los tamaños de

partícula de dichas fracciones, los resultados son estadísticamente iguales.

Se verificó si existe una incidencia del pH y el tamaño de partícula con respecto a la concentración de cadmio. Según el coeficiente de correlación de Pearson existe una correlación directamente proporcional significativa ($P<0,005$), que indica que el tamaño de las partículas tiene una influencia positiva en el valor de la concentración de cadmio en el suelo (CP=-0,7025, $P=0,0035$), mientras que el pH (CP=0,2032, $P=0,4676$) no ofrece una incidencia significativa, a pesar de lo que afirman Carrasquero (1999) y García & Sosa (1994).

CONCLUSIONES

El suelo tamizado a 2 mm está conformado en un 42% por partículas con diámetro menor o igual a 0,25 mm.

La concentración de Cd en el suelo evaluado se encuentra asociado entre 2-6 % a la fracción hidrosoluble, en 19-24 % a fracción asociada a los carbonatos y entre 70 a 79 % asociados a otras fracciones.

La concentración de cadmio en las fracciones hidrosolubles, unida a los carbonatos y total no presentan diferencias significativas cuando se determinan en partículas de suelo de tamaño $\leq 0,25$, $\leq 0,5$, ≤ 1 y ≤ 2 mm. Existe una tendencia al incremento del cadmio hidrosoluble y el unido a los carbonatos a medida que disminuye el tamaño de partícula del suelo.

La concentración total de cadmio en el suelo resultó superior a lo que establecen las normativas en suelos agrícolas y en sedimentos de origen lacustre.

AGRADECIMIENTO

Las autoras manifiestan su agradecimiento al CDCH-UC por la subvención asignada, la cual permitió sufragar parte de los costos involucrados para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- ABDEL-SAHEB, I., SCHWAB, A., BANKS, M., HETRICK, B. (1994). Chemical characterization of heavy-metal contaminated soil in southeast Kansas. Water, air and soil pollution. 78; pp. 73-82.
- CARRASQUERO, A. (1999). Determinación de los procesos químicos asociados a la contaminación con cadmio en las almendras de cacao. Ocumare de la costa. Es-

- tado Aragua. Tesis doctoral no publicada. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. s/n.
- CARTER, M. (1993). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. USA. Lewis Publishers. s/n.
- COSTA, C., MEURER, E., BISSANI, C., TEDESCO, M. (2007). Fraccionamiento secuencial de cádmio e chumbo em solos. *Ciencia Rural*. 37(5); set-out. s/n.
- DÉ VRIES, W. & BAKKER, D. J. (1998). *Manual for calculating critical loads of heavy metals for terrestrial ecosystem: Guidelines for critical limits, calculation methods and input data*. TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation. Den Helder, Netherland. s/n.
- FÖRSTNER, U. & WITRMANN, G. (1983). *Metal pollution in the aquatic environment*. 2nd. Revised Edition. New Cork. 134, 136, 148 y 149.
- GARCÍA, J., SOSA, A. (1994). Trace metals in Valencia Lake (Venezuela) sediments. *Water, Air and Soil Poll.* 77; pp. 141-150.
- HERRERA, T. (2000): La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. *Revista Venesuelos*, 8; pp. 42-46.
- JARVA, J., TARVAINEN, T., TINTINEN, P., REINIKAINEN, J. (2009). Chemical characterization of metal-contaminated soil in two study areas in Finland. *Water, air and soil poll.* 198; pp. 373-39.
- JORDÁN, M., MONTERO, M., PINA, S., GARCÍA, E. (2009). Mineralogy and distribution of Cd, Ni, Cr and Pb in biosolids-amended soils from Castellón Province (NE, Spain). *Soil Sci.* 174(1); pp. 14-20.
- MARTÍNEZ, Y. (2005). Fraccionamiento de metales pesados en suelos tratados con diferentes dosis de un lodo residual y biodisponibilidad en un cultivo. Tesis doctoral sin publicación. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. s/n.
- MARTÍNEZ, Y. & RIVERO, C. (2005). Evaluación de diferentes métodos para determinar las fracciones de metales pesados presentes en el suelo. *Revista Ingeniería UC*. 12(3); pp. 14-20.
- MCBRIDE, M. (1994). *Environmental chemistry of soils*. New York, USA: Oxford University Press, Inc. s/n.
- PEREIRA, M., GUIMARÃES, R., CURI, N., NAVES, M., LIMA, J., TARSO, N. (2005): Efeito do pH na adsorção e desorção de cádmio em latossolos brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo.* 29; pp. 523-532.
- PERSICANI, D. (1995). Analysis of leaching behavior of sludge-applied metals in two field soils. *Water, Air and Soil Poll.* 83; pp. 1-20.
- REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (1995). Decreto 638. Normas sobre la calidad del aire y control de la contaminación. *Gaceta Oficial* N° 4899. s/n.
- REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (1995). Decreto 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. *Gaceta Oficial* N° 5021. s/n.
- REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (1998). Decreto 2289. Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos. *Gaceta Oficial* 5212. s/n.
- REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (1992). Decreto 3219. Normas para la clasificación y control de la calidad de las aguas de la Cuenca del lago de Valencia. *Gaceta Oficial* N° 5305. s/n.
- RITCHIE, G. & SPOSITO, G. (1995). Speciation in soils. En *Chemical speciation in the environment*. A. M. Ure y C. M. Davidson (Eds.). Glasgow. pp. 201-233.
- TERUO, A., MASATSUGU, K., KYOTO, O. (1995). Distribution of different fractions of cadmium, zinc, lead, and copper in unpolluted and polluted soils. *Water, Air and Soil Pollution*. 83; pp. 187-194.
- VIEIRA, K., ARAÚJO, C., MENDONÇA, R., AGUIAR, A., DA SILVA, A. (2008). Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. *R. Bras. Ci. Solo*, 32; pp. 1319-1328.