

Cadmio disponible en dos suelos de Venezuela: efecto del fósforo

Nereida Sánchez^{*,a}, Carmen Rivero^b, Martínez Yadira^a

^aLaboratorio de Investigación y Tecnología de Suelos y Ambiente, LITSA. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo

^bLaboratorio de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela

Resumen.-

La disponibilidad del cadmio (Cd) en el suelo está relacionada con la movilidad, transporte y distribución del metal en este sistema. La dinámica del Cd se describe mediante procesos de adsorción y desorción que dependen de la forma química del metal y de las características del suelo. En el presente trabajo se evaluó el efecto de la aplicación de fósforo sobre la disponibilidad de Cd en dos suelos Venezolanos de uso agrícola, identificados como Mariara y El Tigre. El estudio se realizó en dos etapas que comprenden la caracterización preliminar de los suelos y ensayo de incubación de los suelos, previamente enriquecidos con Cd, con tres dosis de fósforo bajo un diseño de bloques al azar completamente aleatorizado, por un lapso de 32 días. Los resultados arrojaron que al finalizar el ensayo en ambos suelos, la cantidad de cadmio disponible disminuyó por efecto del fósforo.

Palabras clave: cadmio disponible, fósforo, suelos venezolanos,

Cadmium availability in two Venezuelan: phosphorus effect

Abstract.-

The availability of cadmium (Cd) in soil is related to the mobility, transport and distribution of the metal in this system. The dynamic of Cd is described by processes of adsorption and desorption which depend on the chemical form of the metal and the characteristics of the soil. In this study the effect of the application of phosphorus on the availability of Cd was evaluated in two venezuelan agriculture soil, identified as Mariara and El Tigre. The study was conducted in two stages that comprise the preliminary characterization of soils and testing of incubation of soil, previously enriched with Cd, with three doses of phosphorus under a randomized block design for a period of 32 days. The results showed that finish of test in both soils, the amount of cadmium available decreased the effect of phosphorus.

Keywords: cadmium available, phosphorus, venezuelan soil.

Recibido marzo 2011

Aceptado: agosto 2011

1. INTRODUCCIÓN

El cadmio es un metal pesado no esencial para el crecimiento de las plantas y animales. Bajas concentraciones de este metal en el suelo constituyen un riesgo de toxicidad para plantas,

animales y seres humanos. Las fuentes antropogénicas de cadmio en el suelo están asociadas a las actividades industriales, minería, aplicación de materiales de enmienda para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo y el uso de fertilizantes fosfatados. La distribución y disponibilidad de los metales pesados en el perfil del suelo está determinada por las características físicas, químicas y biológicas de este sistema, dado que influyen sobre la actividad y concentración de los metales en la solución del suelo y por ende, afectan su disponibilidad. El tipo de arcilla, los óxidos e hidróxidos y la materia orgánica forman

* Autor para correspondencia

Correo-e: nsanchez@uc.edu.ve (Nereida Sánchez)

parte de la fase sólida del suelo y proporcionan cargas permanentes y variables responsables de la sorción de muchos contaminantes [1].

Las regulaciones sobre los límites admisibles de cadmio en suelos de distintos países se basan en el contenido total del metal en suelo. Estos valores son reconocidos como una medida del riesgo potencial que el elemento ejercería en el suelo. Sin embargo, se ha encontrado que la actividad de los iones del metal en el suelo es un indicador de la disponibilidad del metal pesado en el mismo [2], que refleja la fracción del metal que estaría más disponible para ser absorbida por las plantas, la biota del suelo o perderse por lixiviación a las aguas subterráneas.

La fracción disponible es por lo tanto un indicador que aporta información de mayor interés con respecto a los riesgos de la presencia de cadmio en el suelo. La absorción de cadmio por un cultivo no sólo depende de la actividad del ion metálico en la solución del suelo, sino también de las relaciones que existan entre los iones en solución y los iones en fase sólida. Por otra parte se ha señalado que la transferencia de un elemento entre el suelo y la planta no tiene por qué pasar por la fase de solución [3], dado que el metal podría estar disponible para la planta desde la fase sólida del suelo, mediante el proceso de difusión.

Es por ello que en la determinación de la disponibilidad de cadmio en el suelo se debe considerar la proporción del metal potencialmente disponible, es decir la fracción del metal en el suelo potencialmente móvil ante cambios en las condiciones ambientales, además del que se encuentra en la solución del suelo. Ha sido ampliamente difundido el uso de extractantes químicos que promueven el desplazamiento de los iones del metal que se encuentran en la fase intercambiable del suelo, unidos por atracción electrostática a los sitios negativos del mismo o a través de otros enlaces de relativa baja energía [4], [5], [6] y [7]. Además, se han realizado investigaciones en las que se establece una correlación entre el contenido de cadmio en plantas y la cantidad de cadmio extraída con una variedad de soluciones extractoras, mediante métodos validados para diferentes cultivos y para

diferentes suelos [8].

Con base en lo expuesto, se trazó como objetivo fundamental de este estudio la determinación del contenido de cadmio disponible en dos suelos de uso agrícola y de baja fertilidad, sujetos a la aplicación de dosis considerables de fertilizantes para elevar el rendimiento de los cultivos.

2. BASES TEÓRICAS

2.1. *El Cadmio*

El cadmio es un metal pesado, de densidad $8,642 \text{ g/cm}^{-3}$, de color blanco, blando, dúctil y maleable. Es un elemento poco abundante en la naturaleza y se encuentra en casi todos los minerales del zinc.

En general, el contenido de cadmio en los suelos se encuentra entre 1 a 3 mg/kg . Específicamente en suelos no contaminados, el contenido de cadmio debe ser menor a 1 mg/kg [9].

2.2. *Contaminación de suelo por metales pesados*

Las consecuencias ecológicas por contaminación de suelos con cadmio están relacionadas con la movilidad, transporte y distribución del metal en el perfil del suelo. Esta dinámica se describe mediante procesos de adsorción y desorción que dependen de la forma química del metal y están controlados por factores físicos, químicos y biológicos del suelo, que juegan un papel muy importante en la solubilidad del elemento, tales como el pH, la presencia de ligandos orgánicos e inorgánicos producto de la descomposición de la materia orgánica, presencia de fosfatos, así como también del contenido y tipo de arcilla presente en el mismo [10] y [11].

Entre los principales factores antropogénicos de contaminación de cadmio en el suelo, se encuentran las actividades agrícolas y las actividades de origen urbano e industrial. La actividad agrícola contribuye a través del uso de fertilizantes fosfatados en un 34 % a la polución, seguido por las fuentes naturales (21 %) y por la combustión de fósiles (21 %) [12]. También, el uso de plaguicidas, estiércol, purines, compost, y lodos procedentes de plantas de tratamiento de aguas

residuales, constituyen actividades responsables de la contaminación del suelo por metales pesados.

Por otra parte, el fósforo (P) es un nutriente esencial para el desarrollo de los cultivos. Es poco móvil y cuando es aplicado al suelo, nunca es aprovechado totalmente por las plantas, sólo un 20 – 30% se transforma en fosfatos solubles disponibles en el primer año. El resto es “fijado” en el suelo gracias a la formación de compuestos poco solubles que las raíces tienen dificultad de extraer en el corto plazo, mejorando la situación en el largo plazo.

Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo y a quedar disponibles para ser absorbidos por las raíces de los cultivos [13], [14] y [3]. El contenido de metales pesados en los tejidos vegetales de ciertos cultivos, está relacionado con la abundancia de estos metales en los suelos, especialmente con el contenido del metal en la fracción soluble. Suelos con elevadas concentraciones de metales pesados podrían impactar la calidad y rendimiento en la producción de cultivos, así como también, la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena alimenticia por medio del consumo de plantas por animales y estos a su vez, por humanos o por el consumo directo de plantas por los seres humanos [3] y [15].

2.3. Biodisponibilidad de metales pesados

Se entiende por biodisponibilidad la fracción de metales pesados que está disponible para la absorción por las plantas. La biodisponibilidad depende de la solubilidad y movilidad de los metales en la solución del suelo. Solo los metales asociados a las fracciones solubles e intercambiables están realmente disponibles para las plantas, por ello la concentración total de los metales en el suelo no refleja necesariamente los niveles de metales biodisponibles [13] y [16].

En el suelo los metales se asocian con distintas fracciones [17]:

1. Fracción soluble, como iones de metal libre o formando complejos metálicos solubles en la solución del suelo.
2. Fracción intercambiable, adsorbidos en los sitios de intercambio de los constituyentes inorgánicos del suelo.

3. Fracción orgánica del suelo.
4. Fracción ligada a los óxidos, hidróxidos y carbonatos del suelo.
5. Fracción residual, ubicada en las estructuras de los silicatos del suelo

La toxicidad en el suelo debida a los metales pesados está relacionada, no sólo con el contenido total de estos elementos, sino también con su biodisponibilidad y movilidad en el sistema suelo [18] y [2]. La fracción del metal disponible para ser asimilable por las plantas se puede equiparar con la fracción del metal extraída con DTPA o con EDTA, y a esta fracción se deberían referir los diferentes niveles de toxicidad [19] y [20]. Sin embargo, debido a la dificultad en la extracción, las normativas prefieren evaluar la cantidad total del metal presente. Se supone que existe un equilibrio entre la fase soluble y la cantidad total presente. El 10% del contenido total del metal pesado en el suelo se encuentra en la fracción soluble [19]. Cabe destacar que esta relación corresponde a factores intrínsecos del metal así como a las características de los suelos considerados.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en dos suelos venezolanos de uso agrícola identificados como suelo El Tigre (8°58'55,2"N, 63°49'1,92"W) y suelo Mariara (10°16'14,88"N, 67°44'54,24"W). Estos suelos presentaban diferentes tipos de cultivos: caña de azúcar (Mariara) y pastos (El Tigre). El estudio comprendió una fase inicial en la cual se hizo una caracterización preliminar de los suelos y se determinaron los niveles de cadmio presentes. Seguidamente los suelos se enriquecieron artificialmente con una dosis de Cd equivalente al 70% de la capacidad máxima de adsorción de los suelos seleccionados [21] y se incubaron con tres dosis fósforo, bajo condiciones controladas de humedad del suelo (70% de capacidad de campo) y temperatura (25 – 30°C), durante 32 días. Además, a los suelos se les aplicó cantidades de nitrógeno y potasio con base en los requerimientos de los cultivos que habitualmente se siembran en los mismos.

Se utilizó cloruro de cadmio (CdCl_2 con 76,02 % de Cd) como fuente de Cd y fosfato diamónico $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, con 21,2 % de N y 23,5 % de P, como fuente de P. Además se utilizó agua desionizada.

3.1. Muestreo y caracterización física y química

Para el análisis preliminar de cada suelo se tomaron muestras en lotes de 0,5 – 1 ha, siguiendo como patrón de recorrido la forma de zig-zag, colectando un total de 18 submuestras con la ayuda de un barreno a una profundidad de 20 cm. Para obtener una muestra representativa del suelo se mezclaron las submuestras colectadas y se obtuvo una muestra compuesta, la cual se secó al aire, se tamizó a través de un tamiz de 2 mm de diámetro, para evaluar sus características físicas y químicas. Para el análisis de metales pesados en el suelo se pasó la muestra por un tamiz de 1 mm [22]. La textura del suelo se determinó por el método de Bouyoucos [23]. La humedad en el suelo se determinó gravimétricamente [24]. La capacidad de retención de humedad (CRH) se determinó según la metodología descrita por Aciego [25]. En cuanto a la acidez del suelo, se empleó el método potenciométrico en una suspensión de suelo con relación suelo-solución 1:1, las muestras fueron agitadas por una hora. Para establecer la presencia de cargas negativas en el suelo se utilizó una solución de KCl 1 molc.L⁻¹. La extracción química de las bases cambiables del suelo, se realizó empleando NH_4Cl 0,2 molc.L⁻¹ como solución extractante [26] y los cationes cambiables (Ca^{+2} ; Mg^{+2} ; Na^+ ; K^+) por la metodología descrita por Rhoades [27] y se determinaron por espectrometría de emisión y por absorción atómica. Para la determinación de la materia orgánica se utilizó el método de Heanes [28]. Mientras que el fósforo disponible se determinó por el método de Bray 1 y se midió la absorbancia de los extractos a una longitud de onda de 882 nm en el espectrofotómetro de luz visible [29]. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

3.2. Ensayo de Incubación

Inicialmente los suelos se enriquecieron artificialmente con Cd a partir de soluciones de CdCl_2 de forma tal que el contenido de Cd fuera el equivalente a 250 mgCd/kg de suelo. Luego, los suelos se incubaron con fósforo durante 32 días, a una temperatura comprendida entre 25–30°C y capacidad de campo (70 %). Este se realizó en el Laboratorio de Investigación y Tecnología de Suelos y Ambiente (LITSA), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. En el ensayo de cada suelo, se establecieron 30 unidades experimentales bajo un diseño de bloques al azar, completamente aleatorizado. En el mismo, se evaluaron por duplicado, tres tratamientos: 0 mg.kg⁻¹P, 50 mg.kg⁻¹P y 150mg.kg mg.kg⁻¹P, y se tomaron muestras destructivas a los 0, 4, 8, 16 y 32 días del ensayo para determinar el contenido de Cd disponible en el suelo. Cada unidad experimental estaba conformada por 100 g de suelo predadsorbido con Cd y la dosis de fósforo correspondiente.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza utilizando como herramienta el programa Statistix 8.0 y la prueba de comparación de medias de Tukey a los tratamientos que mostraron diferencias significativas.

3.3. Determinación del cadmio disponible

El nivel de cadmio disponible en el suelo se determinó empleando EDTA 0,05M a pH 7,0 en una relación suelo: extractante de (1:2). Las muestras se agitaban por dos horas y posteriormente se centrifugaron a 10000 rpm durante 20 minutos [20]. Seguidamente las muestras se filtraron a través de papel de filtro N° 5C marca Advantec, equivalente a Whatman N° 42, de 12,5 cm de diámetro. Las concentraciones de cadmio disponible en los sobrenadantes de cada muestra se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica, en un equipo Perkin Elmer.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización preliminar de los suelos. El

Tabla 1: Características físicas y químicas de dos suelos agrícolas venezolanos

Análisis	Suelo	
	Mariara	El Tigre
Arcilla (%)	50	14
Limo (%)	42	11,2
Arena (%)	8	74
Textura	Arcillo limoso	Areno francoso
pH (1:1)	6,20	6,00
pH suelo: KCl(1:1)	4,91	4,44
CIC (cmol.kg ⁻¹)	19,56	3,93
M.O (g.kg ⁻¹)	3,25	0,43
Ca (mg.kg ⁻¹)	6712,00	1440,00
Mg (mg.kg ⁻¹)	645,03	64,02
K(mg.kg ⁻¹)	35,10	6,50
Na (mg.kg ⁻¹)	7,67	12,27
P (mg.kg ⁻¹)	6,84	5,64
Cd ^T (mg.kg ⁻¹)	0,08	0,02

análisis textural indicó que el suelo El Tigre se caracteriza por un alto contenido de partículas gruesas (areno francoso) y en el suelo Mariara, predominan partículas finas (arcillo limoso).

Ambos suelos son ligeramente ácidos. En cuanto a la carga eléctrica de los dos suelos, se obtuvo un valor negativo en la diferencia entre el pH del suelo en KCl y el pH del suelo en agua. El valor negativo, obtenido en ambos suelos, al sustraer el valor de pH en el KCl del pH en agua es un indicador de la dominancia de coloides con cargas negativas. En lo que se refiere a la capacidad de intercambio catiónico efectiva, este valor es alto en el suelo Mariara, a diferencia del suelo El Tigre, lo cual se atribuye a la escasa contribución de la materia orgánica (0,43 %), así como también a la deficiencia de coloides inorgánicos.

Además, este valor indica que este suelo es susceptible a la pérdida de cationes por lavado. Con respecto al contenido de fósforo y nitrógeno en ambos suelos, los valores son bajos comparados con las recomendaciones de fósforo (50 mg.kg⁻¹) y nitrógeno (120 kg.ha⁻¹), señaladas en el manual de alternativas de recomendaciones de fertilizantes para cultivos prioritarios en Venezuela [30]. El

contenido de cadmio total en los suelos es menor a 1 mg.kg⁻¹; por lo que el contenido de Cd es inferior al límite de Cd en suelos no contaminados.

Tabla 2: Tratamientos aplicados a los suelos

Tratamiento	Suelo	Suelo
	Mariara (g)	El Tigre (g)
Dosis 1: 0 mg.kg ⁻¹	0,0000	0,0000
Dosis 2: 50 mg.kg ⁻¹	0,1554	0,1745
Dosis 3: 150 mg.kg ⁻¹	0,7176	0,7367

Fertilizante fosfatado: dihidrógeno fosfato de potasio
Fertilizante nitrogenado: úrea; 0,1466 g
Fertilizante potásico: los análisis preliminares arrojaron un contenido adecuado de este nutriente en ambos suelos.

Con base en los resultados de la caracterización preliminar de los suelos, los suelos fueron preadsorbidos con Cd (250 mgCd.kg⁻¹ suelo), se ajustaron los nutrientes N y K a los requerimientos de los cultivos respectivos y se establecieron incubaciones de los mismos con las dosis de fertilizante fosfatado mostradas en la Tabla 2.

4.1. Ensayo de incubación. Contenido de cadmio disponible

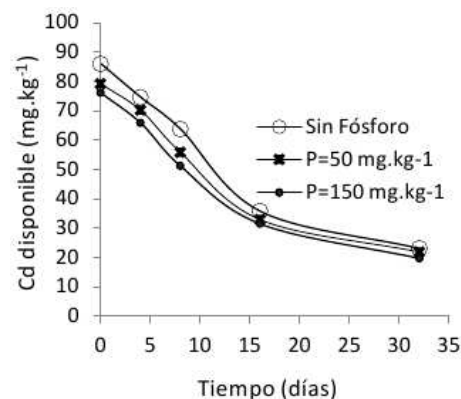


Figura 1: Cadmio disponible en suelo Mariara

Tanto para el suelo El Tigre como para el suelo Mariara, el análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas ($P < 0,01$) entre las distintas dosis de fósforo aplicadas. En las

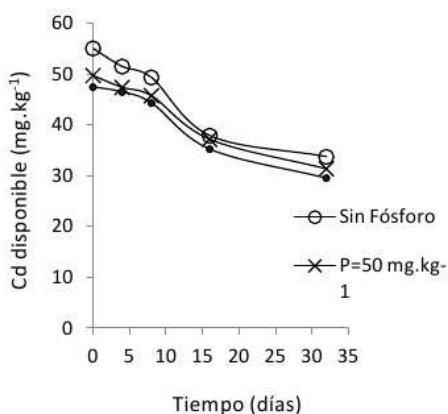


Figura 2: Cadmio disponible en suelo El Tigre

Figuras 1 y 2 se puede observar que en ambos suelos la disponibilidad de Cd disminuye en el tiempo para todos los tratamientos, y es más acentuada en el suelo Mariara. Durante los treinta y dos días que duró el ensayo hubo una mayor disponibilidad de cadmio en los suelos sin fósforo que en los suelos con tratamientos de 50 y 150 mg.kg⁻¹ de fósforo.

En ambos suelos, la prueba de Tukey arrojó que el tratamiento con 0 mg.kg⁻¹ de fósforo difiere significativamente ($P < 0,01$) de los tratamientos con dosis de 50 y 150 mg.kg⁻¹ de fósforo. Estos dos últimos tratamientos no mostraron diferencias significativas, por lo que estadísticamente, al aplicar una dosis de 50 y 150 mg.kg⁻¹ de fósforo en estos suelos, se obtiene el mismo efecto sobre la disponibilidad de cadmio, es decir, disminuir la cantidad de cadmio disponible en los mismos.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por estudios sobre el efecto del fósforo sobre la disponibilidad de cadmio en suelos [31] y [32]. Sin embargo, la disponibilidad del metal es mayor en el suelo Mariara comparado con el suelo El Tigre, posiblemente debido a los niveles iniciales de cadmio y a que el mecanismo que describe el movimiento y adsorción de este metal es más lento, a raíz de las características físicas y químicas del suelo y las características intrínsecas del metal [33].

El suelo Mariara es ligeramente ácido, con un contenido mediano de materia orgánica y con arcillas de cargas negativas variables y permanentes, además de una alta CIC, indicador de una

capacidad elevada para retener cationes en los sitios de intercambio; propiedades que le atribuyen a este suelo un alta capacidad de adsorción de cadmio.

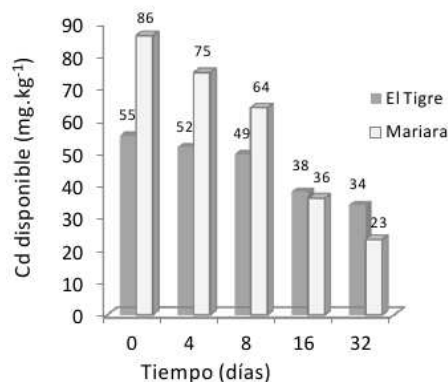


Figura 3: Cadmio disponible en suelos incubados con 0 mg.kg⁻¹ de P

En un intento de visualizar las posibles diferencias, en la disponibilidad de Cd, entre suelos, se analizó cada tratamiento separadamente. La Figura 3 muestra la variación del contenido de cadmio disponible en los dos suelos, para el tratamiento sin fósforo. Los resultados indican que a los 32 días de incubación del suelo Mariara, de la dosis de cadmio aplicada al suelo (250 mg Cd.kg⁻¹ suelo), sólo quedó un 9 % de su valor (23 mg Cd.kg⁻¹ suelo) como Cd disponible; mientras que en el suelo El Tigre solo quedó un 13 % de la dosis inicial de Cd aplicada, como Cd disponible.

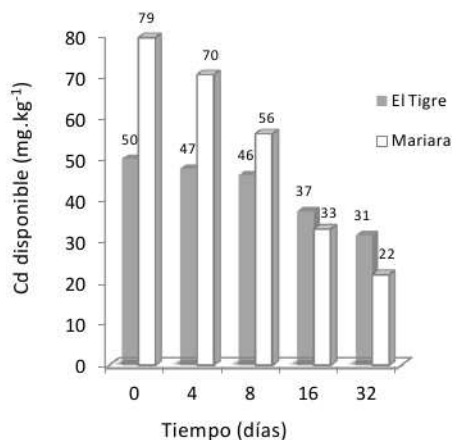


Figura 4: Cadmio disponible en suelos incubados con 50 mg.kg⁻¹ de P

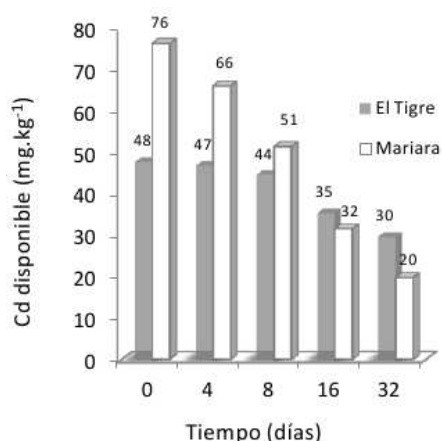


Figura 5: Cadmio disponible en suelos incubados con 150 mg.kg⁻¹ de P

Las figuras 4 y 5 muestran la variación del contenido de cadmio disponible en los suelos, durante el periodo de incubación, con dosis de 50 y 150 mg.kg⁻¹ de fósforo respectivamente.

Se puede observar que a los 32 días del ensayo de incubación, los contenidos de Cd disponible en los suelos Mariara y El Tigre eran de aproximadamente 20 y 30 mg Cd.kg⁻¹ suelo, respectivamente, valores que representan un 8 y 12 % de la dosis de Cd aplicada inicialmente a cada suelo.

Por lo tanto, en ambos suelos, el efecto del fósforo fue disminuir la cantidad de cadmio disponible.

5. CONCLUSIONES

Para los suelos identificados como Mariara y El Tigre, después de 32 días de incubación con una dosis de cadmio de 250 mg.kg⁻¹, y con el tratamiento sin fósforo, solamente quedó un 9 % y 13 % de cadmio disponible, mientras que en los suelos fertilizados con fósforo sólo quedó un 8 % y 12 % de la dosis de Cd aplicada inicialmente, respectivamente.

Las características físicas y químicas del suelo Mariara, ligeramente ácido, con un contenido mediano de materia orgánica y textura arcillo limosa, presencia de cargas negativas variables y permanentes además de una alta CIC, le confieren al mismo una alta capacidad de adsorción de cadmio, a diferencia del suelo El Tigre, por lo

que en el primero la disponibilidad de cadmio fue menor al final del ensayo de incubación de los suelos.

El efecto del fósforo en los suelos estudiados fue disminuir la disponibilidad de cadmio en los mismos. Sin embargo, no existen diferencias significativas en la disponibilidad del cadmio en ambos suelos después de ocho días de incubación con dosis de 50 y 150 mg.kg⁻¹ de fósforo.

Referencias

- [1] Krishnamurti, G. (2008). *Chemical methods for assessing contaminant bioavailability in soils*. Soil Sci.Soc. Am. J., 32, 495–520.
- [2] McBride, M.B. (1995). *Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: Are USEPA regulations protective?* J.Environ.Qual. 24, 5–18.
- [3] Kabata-Pendias, A. y H. Pendias, (1986). *Trace Elements in Soils and Plants*, 2a edición, Boca Ratón, FL, CRC. Press. pp. 112–116.
- [4] Pickering, W. F. (1986). *Metal ion speciation – soils and sediments*. Ore Geol. Rev. 1, pp. 83–125.
- [5] Beckett, P.H.T. (1989). *The use of extractions in studies on trace metals in soils, sewage sludges, and sludge-treated soils*, Adv. Soil Sci. 9 (1989), 143–176.
- [6] Kersten, M. y Foerstner, U.(1989). *Speciation of trace elements in sediments*.En: G. Batley, Editor, *Trace Element Speciation: Analytical Methods and Problems*, CRC Press, Boca Raton, FL., pp. 245–317.
- [7] Ure, A.M., Davidson C.M. y Thomas R.P. (1995). *Single and sequential extraction schemes for trace metal speciation in soil and sediment*, Tech. Instr. Anal. Chem. 17, 505–523.
- [8] Bingham, F.T. y Bartels, J.M. (1996). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 752-758.
- [9] McBride, M.B., (1991). *Comments on "Adsorption of heavy metals by silicon and aluminum oxide surfaces on clay minerals"*. Soil Science Society of America Journal. 55, 1508 – 1509.
- [10] Jakub M., Tomasz B. y Maneckia M. (2008). *Immobilization of aqueous cadmium by addition of phosphates*, Journal of Hazardous Materials, 152, 1332–1339.
- [11] Naidu, R. y Harter, R. (1992). *Efecto de diferentes ligandos orgánicos en la adsorción de cadmio*, J.Soil Sci. 62(3), 644–650.
- [12] Rodríguez M., Martínez N., Romero M. Del Río L., y Sandalio L. (2008). *Toxicidad del Cadmio en Planta*, Ecosistemas. 17 (3).
- [13] Salviano A., Pereira G., Araujo C. y Oliveira M. (2006). *Bioavailability of cadmium and lead in a soil amended with phosphorus fertilizers*, Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), 63 (4), 328–332.

- [14] McLaughlin, M., Zarcinas, A., Stevens, D., y Cook, N. (2000). *Soil testing for heavy metals*. Soil Sci. Plant Anal., 31 (11-14), 1661–1700.
- [15] Jinadasa, N., Milham, P., Hawkins, C., Cornish, P., Williams, P, Kaldor, C. y Conroy, J. (1999). *Cadmium levels in soils and vegetables*, Rural industries research and development corporation. Australia.
- [16] Bonomelli, C., Bonilla, C. y Valenzuela, A. (2003). *Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile*. Pesq. Agrop. bras. Brasilia 38 (10): 1179-1186.
- [17] Tessier, A., Campbell, P. y Vison M. (1979). *Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals*. Anal.Chem. 51, 844–851.
- [18] Li, Z. y Shuman, L. (1996). *Heavy Metal movement in metal contaminated soil profiles*. Soil Sci.Soc.Am.J, 161, 656–666.
- [19] Lindsay, W. y Norvell, W. (1978). *Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and cooper*. Soil Sci.Soc. Am. J.,42, 421–428.
- [20] Berrow, M. y Mitchell, R. (1980). *Location of trace elements in soil profiles: total and extractable contents of individual horizons*. Trans. R. Soc. Edinburgh:Earth Sciences. 17, 103–121.
- [21] Sánchez, N. y Subero, N. (2010). *Adsorción de cadmio en dos suelos agrícolas venezolanos*, Trabajo de Ascenso. Mimeografiado. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería, Valencia, pp. 65–68.
- [22] McLaren, R.G. y Crawford, D.V. (1973). *Studies on soil copper. II. The specific adsorption of cooper by soils*. J. Soil. Sci. 24, 443–452.
- [23] Bouyoucos, G.J. (1962). *Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils*, Agron, J, 54, 464–465.
- [24] Gardner, W. H. (1986). *Water Content*. En A. Klute (Comp.), *Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. 2da. edición. Agronomy 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp. 493–544.
- [25] Aciego, J. (2007). *Muestreo y pre-tratamiento del suelo para su análisis microbiológico*, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Laboratorio de Fertilidad y Biología de suelo, p, 2–6.
- [26] Rodríguez, A. y Rodríguez, O. (2002). *Comparación de la CIC en dos suelos, utilizando acetato de amonio, acetato de sodio, y cloruro de amonio*, UCLA, Departamento de Química y Suelos, Lara – Venezuela.
- [27] Rhoades J. (Comp.). (1982). *Cation Exchange Capacity. Methods Of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Second edition. Number 9 (part 1). USA.
- [28] Heanes, D. (1984). *Determination of total organic-C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure*. Com. Soil Sci. Plant Anal. 15, 1191–1213.
- [29] Gilabert de Brito, J.; I., López de Rojas y R. Pérez de Roberti. (Comp). (1990). *Manual de métodos y procedimientos de referencia (Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad)*. Versión preliminar. Maracay, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 164 p.
- [30] Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola, INIA, (2008). *Manual de alternativas de recomendaciones de fertilizantes para cultivos prioritarios en Venezuela*. Serie B, N° 18, pp. 61 y 338.
- [31] Kirkham, M.B. (2006). *Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments*. Geoderma, 137, 19–32-
- [32] Brown, S., Chaney, R., Hallfrisch, J., Ryan, J.A. y Berti, W. (2004). *In situ soil treatments to reduce the phyto and bioavailability of lead, zinc and cadmium*. J. Environm. Qual. 33, 522–531.
- [33] Titova, N.A., Travnikova L.S., Kakhovich Z.N., Sorokin S.E., Schulz E., Korschens M. (1996). *Heavy metal content in various particle-size and density fractions of soils*, Eurasian Soil Science, 29(7), 820–830.