

Contenido de cadmio en arroz (*Oryza sativa* L.) y en suelos fertilizados con fosfatos por un periodo entre 5 y 51 años

Ricardo Ramírez^{1*}, Neudis Subero², Omaira Sequera³ y Julio Parra¹

¹Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo 4579. Maracay 2101, Venezuela.

²Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Carabobo. Venezuela.

³Decanato de Agronomía, Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Lara. Venezuela.

RESUMEN

El cadmio (Cd) es un metal pesado tóxico y ocurre en los suelos en forma natural, por contaminación con aguas residuales industriales o por el uso de fertilizantes y abonos orgánicos contaminados. La producción de arroz (*Oryza sativa* L.) en el Sistema de Riego del Río Guárico, Venezuela, con el uso de fertilizantes fosfatados, data de muchos años. Para conocer el nivel de contaminación con Cd se tomaron muestras de suelos y plantas en 36 parcelas de arroz fertilizadas con fosfatos por un periodo entre 5 y 51 años de aplicación. El Cd intercambiable del suelo se extrajo usando una solución de ácido dietilentriamino pentaacético (DTPA) con una relación suelo:extractante de 1:2 y el Cd del tejido vegetal se obtuvo por digestión húmeda. En los extractos de suelo y plantas se determinó Cd mediante la técnica de espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Los niveles de Cd en el suelo variaron entre 0,012 y 0,160 mg/kg, muy por debajo del nivel crítico de 0,5 mg/kg. Este comportamiento se reflejó en la planta; el Cd en el grano varió entre 17 y 254 $\mu\text{g}/\text{kg}$, en la cascarilla de 4 a 165 $\mu\text{g}/\text{kg}$ y en el rastrojo de 8 a 464 $\mu\text{g}/\text{kg}$, valores que están por debajo del máximo de tolerancia admitido por el Codex Alimentarius. El Cd en el grano de arroz mostró una relación lineal positiva con el Cd (0,83) y pH del suelo (0,79), pero no se encontró asociación entre el Cd del suelo con los años de fertilización. El mayor enriquecimiento con Cd se localizó en el rastrojo del arroz.

Palabras clave: cascarilla, fertilizante, parcelas, relación cadmio-pH

Cadmium content in rice (*Oryza sativa* L.) and in soils fertilized with phosphorus for a period between 5 and 51 years

ABSTRACT

Cadmium (Cd) is a toxic heavy metal that arises naturally in soils, or due to the use of residual waste water from industrial activities, but also from the application of organic and inorganic contaminated fertilizers. Rice (*Oryza sativa* L.) production in the Guárico River Irrigation System, Venezuela, is using phosphate fertilizers for at least 51 years. Soil and plant samples were collected in 36 farmers plots to determine the Cd content in both soil and plant tissue. The exchangeable Cd soil was extracted using a solution of diethylenetriamine pentaacetic acid (DTPA) with a ratio soil: extractant of 1:2 and Cd plant tissue was obtained by wet digestion. In extracts of soil and plant Cd was determined by the technique of coupled plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES). Cadmium levels in soils ranged from 0.012 to 0.160 mg/kg, well below the critical level of 0.5 mg/kg. Low Cd content in the soil was reflected in the plant, Cd in the grain varied between 17 and 254 $\mu\text{g}/\text{kg}$, in the hull 4 to 165 $\mu\text{g}/\text{kg}$, and in

*Autor de correspondencia: Ricardo Ramírez

E-mail: abisam28@gmail.com

the stubble 8 to 464 $\mu\text{g}/\text{kg}$; those values are below the maximum tolerance level allowed by the Codex Alimentarius. Cadmium in the rice grain showed a positive linear relationship with Cd in soil (0.83) and soil pH (0.79), but no association was found between Cd and years of fertilization. The greatest enrichment with Cd corresponded to the rice stubble.

Key words: hull, fertilizer, plots, cadmium-pH relationship

INTRODUCCIÓN

El cadmio (Cd) es un metal pesado potencialmente tóxico para el ser humano y puede ocurrir naturalmente en el suelo en diferentes concentraciones. El alto contenido de Cd en los suelos tiene diferentes orígenes, pueden ser de carácter natural, proveniente de los materiales parentales, de la aplicación de fertilizantes fosfatados con alto contenido de Cd, dependiendo del origen de la roca fosfórica usada para su fabricación (Senesi y Polemio, 1981; Raven y Loeppert, 1997) y, frecuentemente, se debe a la contaminación con residuos, líquidos o sólidos de los procesos industriales (Tiller *et al.*, 1997).

La acumulación de Cd en el suelo se atribuye a la fertilización continua por largos períodos, con altas dosis de fertilizantes fosfatados (Mann *et al.*, 2002; Loganathan *et al.*, 2003; Kuo *et al.*, 2007), lo que ocasionaría un incremento del Cd disponible en la solución del suelo a niveles tóxicos (Pezzarossa *et al.*, 1993; Taylor 1997) causando su posterior absorción por la planta. Monteiro *et al.* (2006) en Brasil, demostraron que la aplicación de cuatro fuentes de fosfato a un suelo ultisol incrementó el contenido de Cd en el suelo y en el frijol verde. En esta forma el Cd puede pasar de los sistemas de producción agrícola a la cadena alimentaria, encontrándose en los productos cosechados que son consumidos directa o indirectamente por el humano. Anderson y Siman (1991) condujeron estudios con varios cultivos en experimentos de larga duración fertilizados con fosfatos ricos en Cd, demostrando que la acumulación de éste metal en la semilla creció en forma consistente de acuerdo con el incremento del nivel de fertilización fosfatada.

En experimentos de larga duración, fertilizados con dos de fosfatos consideradas normales, se ha encontrado muy poca o ninguna acumulación de Cd en el suelo, probablemente debido a que el contenido de Cd en los fosfatos usados era muy bajo (Richards *et al.*, 1998; Jones *et al.*, 2002). Zubillaga y Lavado (2002) indicaron que la aplicación continua de fosfato diamónico por 20 años en suelos de la Pampa Argentina, incrementó el Cd biodisponible en el suelo.

La absorción de Cd por las plantas varía con las especies al igual que su distribución. Bahmanyar (2008) encontró que la acumulación de metales pesados en las

raíces de arroz fue mayor que en el follaje y en la semilla; en el caso específico del Cd la cantidad de éste metal fue tres veces mayor que en la semilla. La absorción y acumulación de Cd en el trigo duro se atribuye a la presencia de pequeñas cantidades en el material parental de los suelos de las planicies en EUA, donde el contenido de Cd excedió los niveles de tolerancia (Li *et al.*, 1997; Norvell *et al.*, 2000). El nivel máximo de tolerancia para el Cd en el grano de trigo y arroz es de 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Codex Alimentarius, 2001).

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la aplicación continua de fertilizantes fosfatados por un periodo entre 5 y 51 años sobre el contenido de Cd en el suelo y en la planta de arroz (*Oryza sativa* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del trabajo se tomaron muestras de suelo en parcelas cultivadas con arroz, al momento de la cosecha en el año 2007, en el Sistema de Riego del Río Guárico, ubicado a 8° 53' N y 67° 19' O, con una precipitación promedio de 1330 mm por año y temperatura promedio anual de 29,5°C. En el sistema predominan los suelos vertisoles arcillosos, con las series Palmar y Calabozo (Cenatel, 2015).

La selección de las parcelas de arroz, para el muestreo, se hizo con la ayuda de una encuesta para conocer los años de cultivo. Se escogieron al azar 36 parcelas fertilizadas con fosfatos por períodos de tiempo que variaron entre 5 y 51 años. El muestreo de los suelos se realizó en una superficie de 2 ha, aproximadamente, dependiendo del tamaño del "tanque" levantado por el agricultor, de acuerdo a las curvas de nivel. El método de muestreo usado fue el de zigzag, tomando 20 submuestras por tanque entre 0 y 20 cm de profundidad, con un tubo de 7 cm de diámetro, las cuales se mezclaron para formar una sola muestra compuesta por parcela. Los suelos se secaron al aire y se tamizaron con una malla plástica de 2 mm, se colocaron en frascos de vidrio y se almacenaron para su posterior análisis.

En cada punto de muestreo de suelo se tomó una macolla de arroz, para obtener 20 macollas por parcela, las plantas se lavaron con agua desionizada y se secaron a 70°C por 48 h en una estufa de ventilación forzada. Las plantas se dividieron en follaje, grano y cascarilla y se pesaron para determinar el peso seco de cada

componente. El material vegetal se molió usando una malla de plástico de 1 mm y el polvo resultante se guardó en frascos de polietileno para su posterior análisis.

El Cd intercambiable del suelo se extrajo usando una solución de DTPA (ácido dietilentriamino pentaacético) ajustada a pH 7,35 con una relación suelo:extractante de 1:2 (Baker y Amacher, 1982) y la determinación del Cd en el extracto se realizó con un equipo de espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). El Cd del tejido vegetal se extrajo por digestión húmeda con H_2SO_4 y H_2O_2 en un bloque de digestión de acuerdo con Jones *et al.* (1991) y en el extracto se determinó el contenido de Cd por ICP-OES.

Para estimar el grado de relación del contenido de Cd en el grano de arroz con el pH y contenido de Cd en el suelo, los datos se ajustaron a un modelo de regresión lineal, tomando en cuenta sólo los datos de las muestras donde se encontró acumulación de Cd en el grano, y eliminando un dato extremo fuera de lo normal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pH de los suelos varió desde fuertemente ácido (3,5) hasta casi neutro (6,9), el contenido de materia orgánica desde 1,7 hasta 4,0%, la capacidad de intercambio catiónico de 0,7 a 14,3 cmol/kg, el valor más bajo de cinc fue de 0,42 mg/kg y el más alto de 4,0 mg/kg, el calcio varió entre 50 y 2811 mg/kg.

El contenido de Cd en los suelos, a una profundidad de 0-20 cm, varió desde 12 hasta 160 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Figura 1) y se ubicó por debajo de 500 $\mu\text{g}/\text{kg}$, valor señalado por Kabata-Pendias y Wiacek (1985) como nivel crítico en el suelo. Este comportamiento podría ser atribuido a que los fosfatos usados, en el transcurso del tiempo, no tenían Cd o que los niveles eran muy bajos y, por otra parte, es conocido que este metal es fuertemente retenido en los suelos inundados, lo que da lugar a que su movilidad y disponibilidad sea menor que en los suelos bien drenados (Grambrell, 1994).

No se encontró relación entre los años de fertilización con fosfatos y el contenido de Cd en el suelo (Figura 1), lo que coincide con lo publicado por Richards *et al.* (1998), después de 29 años de aplicación de diferentes dosis de fósforo, quienes no encontraron evidencias de enriquecimiento del suelo o de los cultivos con Cd. Por su parte, Jones *et al.* (2002) trabajando en suelos fertilizados con fosfatos por 20 años, señalaron que no se incrementó la concentración de metales en el suelo. Sin embargo, otros autores señalan que la aplicación de fosfatos con altos contenidos de Cd, por largos períodos de tiempo, podría dar lugar

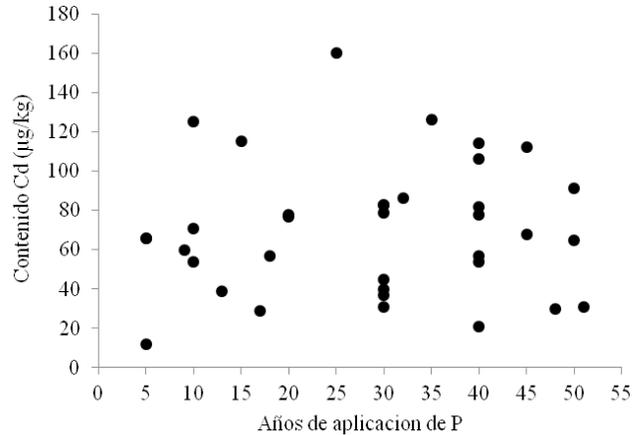


Figura 1. Cadmio disponible en el suelo y años de fertilización con fosfatos

al aumento del Cd en el suelo (Taylor, 1997; Gray *et al.*, 1999; Mann *et al.*, 2002). Sin embargo, no todos los fertilizantes fosfatados contienen niveles de Cd que podrían ser una fuente de contaminación en el suelo, lo que sería la explicación de los niveles bajos de Cd en los suelos fertilizados con fosfatos por muchos años. Según Senesi y Polemio (1981) y Raven y Loeppert (1997) el contenido de Cd en los fertilizantes fosfatados está relacionado con el origen de la roca fosfórica usada para su síntesis.

El contenido de Cd en 35 de las 36 muestras de arroz analizadas (Cuadro 1) se ubicó por debajo del nivel máximo permitido por el Codex Alimentarius (2001) de 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$. La distribución del Cd varió con la parte de la planta considerada; de las 36 muestras solo en 11 se encontró Cd en el grano con valores entre 20 a 61 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 27 en la cascarilla entre 4 a 54 $\mu\text{g}/\text{kg}$, y 24 en el rastrojo entre 8 y 127 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Cabe destacar que solo una muestra mostró concentraciones de Cd de 254, 164 y 464 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en el grano, cascarilla y rastrojo, respectivamente (Cuadro 1). Moral *et al.* (1994) y Lehoczy y Marth (1996) dieron a conocer que la acumulación de Cd varía con las especies y con el órgano considerado. Bahmanyar (2008) encontró una mayor acumulación de Cd en las raíces del arroz en comparación con el follaje y el grano, cuando fue cultivado en un suelo contaminado. Un resultado parecido fue obtenido por Choudhary *et al.* (1995) en trigo donde la concentración de Cd en el grano fue menor que en las hojas y tallos.

El Cd en el grano de arroz mostró estar relacionado con el Cd disponible y pH del suelo, pero no la cascarilla y el rastrojo. Los coeficientes de correlación significativos fueron de 0,83 para grano-Cd

Cuadro 1. Cadmio en el grano, cascarilla y rastrojo de arroz, y años de fertilización con fosfatos en 36 parcelas del Sistema de Riego del Río Guárico

Año	Grano	Cascarilla	Rastrojo
17	0	0	0
20	0	0	0
40	0	0	0
nd ¹	48	0	0
13	0	26	0
nd	0	69	0
32	0	70	0
40	0	4	0
50	0	26	0
nd	0	49	0
10	0	37	0
30	0	24	0
5	0	32	0
25	0	0	83
40	0	0	37
nd	0	0	29
10	0	0	106
40	30	30	0
18	38	63	0
20	58	0	9
48	32	0	14
30	24	0	8
9	0	19	40
45	0	53	32
50	0	48	55
30	0	17	29
40	0	33	36
35	0	25	24
45	0	48	127
51	0	53	79
30	0	12	24
30	0	54	65
40	0	47	29
15	0	21	52
5	56	45	56
5	61	17	45
30	51	19	22
40	29	22	108
10	254	164	464
nd	65	52	209
nd	20	36	39
nd	17	30	38
30	20	36	93

¹nd: dato no disponible

del suelo y 0,79 para grano-pH. El modelo de regresión lineal que muestra el grado de dependencia del Cd en el grano de arroz con las variables de suelo se evidencia en las Figuras 2 y 3. De acuerdo con los coeficientes de

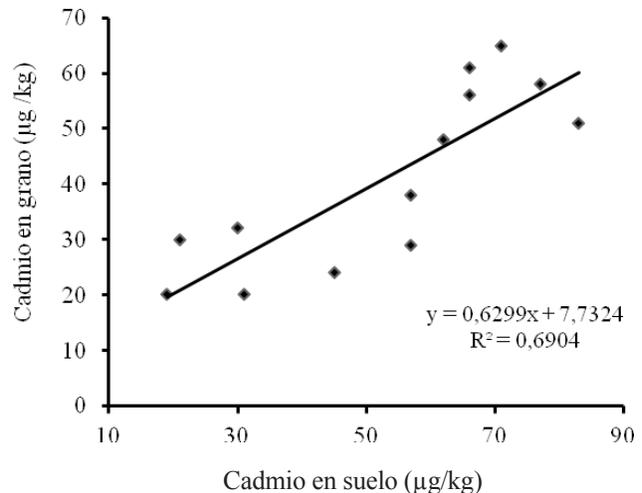


Figura 2. Relación entre el contenido de Cd en el grano de arroz con el Cd del suelo.

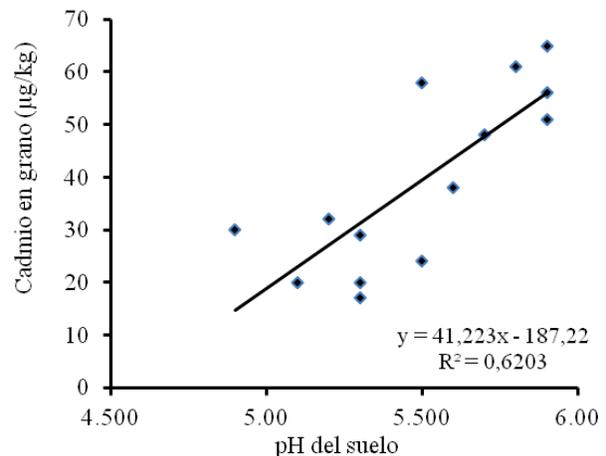


Figura 3. Relación entre el contenido de Cd en el grano de arroz con el pH del suelo

determinación encontrados, las variaciones de Cd en el grano de arroz pueden ser atribuidas en un 69% de los casos a las variaciones del Cd en el suelo y en el caso de pH en un 62%, mostrando una alta dependencia. Otros autores han publicado resultados parecidos; Kabata-Pendias y Wiacek (1985) señalaron que existe una relación lineal entre el Cd en la planta y la concentración en la solución nutritiva, Hornburg y Bummer (1986) encontraron que la concentración de Cd en el grano de trigo se incrementaba en forma lineal con el contenido total del Cd en el suelo y posteriormente, Kabata-

Pendias (2011) reseñó la dependencia del contenido de Cd en el grano de arroz, trigo y avena del Cd en suelos contaminados.

El pH del suelo es considerado como el factor más importante en el control de la absorción total y relativa del Cd por la planta. Bingham *et al.* (1980) indicaron que el contenido de Cd en el grano de arroz resultó ser altamente dependiente del pH del suelo y que la mayor absorción tenía lugar a pH de 5,5. Por otra parte, Kitagishi y Yamane (1981) mostraron que la mayor absorción relativa del Cd por las plántulas de arroz ocurrió entre los valores de pH de 4,5 a 5,5.

CONCLUSIONES

La aplicación continua de fosfatos, a los suelos cultivados con arroz en el Sistema de Riego del Río Guárico, por diferentes períodos hasta de 50 años, no dio lugar a un incremento del Cd en los suelos. Los niveles encontrados se mantuvieron por debajo el nivel considerado crítico (0,5 mg/kg), debido posiblemente a que se usaron fosfatos con bajos contenidos de éste metal. La baja disponibilidad de Cd en el suelo resultó en una baja acumulación del Cd en la planta arroz, que sin considerar la raíz, la mayor proporción de Cd se encontró en el rastrojo seguido por la cascarilla y finalmente en el grano. El contenido de Cd en el grano mostró una relación lineal positiva con el Cd del suelo y con el pH.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible realizarlo gracias al financiamiento recibido de FONACIT y al oportuno apoyo de la Fundación CIEPE, del CDCH-UCV y de la Asociación de Productores de Arroz del estado Guárico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, A.; G. Siman. 1991. Levels of Cd and some other trace elements in soils and crops as influenced by lime and fertilizer level. *Acta Agr. Scand.* 41:3-11.
- Bahmanyar, M.A. 2008. Cadmium, nickel, chromium, and lead levels in soils and vegetables under long term irrigation with industrial wastewater. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39:2068-2079.
- Baker, D.; M.C. Amacher. 1982. Nickel, copper, zinc and cadmium. In Page, A.L. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Book Series No 9.* ASA, SSSA. Madison, EUA. pp. 323-336.
- Bingham, F.T.; A.L. Page; J.E. Strong. 1980. Yield and cadmium content of rice grain in relation to addition rates of cadmium, copper, nickel, and zinc with sewage sludge and liming, *Soil Sci.* 130: 32-43.
- Cenatel. 2015. Centro Nacional de Teledetección con Fines Agrícolas. Infraestructura de datos espaciales. Fundación Instituto de Ingeniería para la Investigación y Desarrollo Tecnológico. Caracas, Venezuela. Disponible en: www.cenatelgeo.inia.gov.ve. [Consultado: 19/01/2015].
- Choudhary, M.; L.D. Bailey; C.A. Grant; D. Leisie. 1995. Effects of Zn on the concentration of Cd and Zn in plant tissue of two durum wheat lines. *Can. J. Plant Sci.* 75:445-448.
- Codex Alimentarius Commission. 2001. Joint FAO/WHO food standards programme. Twenty fourth sessions. Genova, Suiza.
- Gray, C.W.; R.G. McLaren; A.H.C. Roberts; L.M. Condron. 1999. The effect of long term phosphatic fertilizer applications on the amounts and forms of cadmium in soils under pasture in New Zeland. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 54:267-277.
- Grambrell, R.G. 1994. Trace and toxic metals in wet lands: a review. *J. Environ. Qual.* 123:883-891.
- Hornburg, V.; G.W. Brummer. 1986. Cadmium availability in soils and content of wheat grain. 5th Spurenelement Symposium on Iodine and other Trace Elements. Schiller University, Jena, Alemania. 916 p.
- Jones, C.A.; J. Jacobsen; S. Lorbeer. 2002. Metal concentration in three Montana soils following 20 years of fertilization and cropping. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33:1401-1414.
- Jones, J.B. Jr; B. Wolf; H.A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook.* Micro-Macro Publishing. Athens, EUA.
- Kabata-Pendias, A. 2011. *Trace Elements in Soil and Plants.* 4^{ta} ed. CRC Press. Boca Raton, EUA.
- Kábata-Pendias, A.; K. Wiacek. 1985. Excessive uptake of heavy metal by plants from contaminated soil. *Soil Sci. Ann.* 36:4-36.
- Kitagishi, K.; I. Yamane. 1981. *Heavy Metal Pollution in Soils of Japan.* Japan Science Society Press. Tokio, Japon. 302 p.
- Kuo, S.; B. Huang; R. Bembenek. 2007. Release of cadmium from a triple superphosphate and a phosphate rock in soil. *Soil Sci.* 172:257-265.

- Lehoczky, E.I.; P. Marth. 1996. Cd content of plants as affected by soil Cd concentration. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27:1765-1777.
- Li, Y.M.; R.I. Chaney; A. A. Schneider; J.F. Miller; M.E. Elias; J.J. Hammond. 1997. Screening for low grain cadmium phenotypes in sunflower, durum wheat and flax. *Euphytica* 94:23-30.
- Loganathan, P.; M.J. Hedley; N.D. Grace; J. Lee; S.J. Cronin; N.S. Bolan; J.M. Zanders. 2003. Fertilizer contaminants in New Zealand grazed pasture with special reference to cadmium and fluorine. *Aust. J. Soil Res.* 41:501-532.
- Mann, S.S.; A.W. Rate; R.J. Gilkes. 2002. Cadmium accumulation in agricultural soils in Western Australia. *Water Air Soil Poll.* 141:281-297.
- Monteiro, S.M.A.; D.J. Pereira; C.W. Araujo; S.M. Oliveira. 2006. Bioavailability of cadmium and lead in soil amended with phosphorus fertilizers. *Sci. Agric.* 63:328-332.
- Moral, R.G.; I. Palacios; J.N. Gómez; J. Mataix, J. 1994. Distribution and accumulation of heavy metals (Cd, Ni and Cr) in tomato plants. *Fresenius Environ. Bull.* 3:395-399.
- Norvell, W.A.; J. Wu; D.G. Hopkins; R.M. Welch. 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:2162-2168.
- Pezzarossa, B.G.; F.M. Petruzzelli; F. Tognon. 1993. Effect of repeated phosphate fertilization on the heavy metal accumulation in soil and plants under protected cultivation. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24:2307-2319.
- Raven, K.P.; R.H. Loeppert. 1997. Trace element composition of fertilizers and soil amendments. *J. Environ. Qual.* 26:551-557.
- Richards, I.R.; C.J. Clayton; J.K. Reeve. 1998. Effects of long term fertilized phosphorus application on soil and crop phosphorus and calcium contents. *J. Agr. Sci.* 131:187-195.
- Senesi, N.; M. Polemio. 1981. Trace element addition to soil by application of NPK fertilizers. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 2:289-302.
- Taylor, M.D. 1997. Accumulation of cadmium derived from fertilizers in New Zealand soils. *Sci. Total Environ.* 208:123-126.
- Tiller, K.G.; D.P. Oliver; M.J. McLaughlin; R.H. Merry; R. Naidu. 1997. Managing cadmium contamination of agricultural land. *In: Iskandar, I.K.; D.C. Adriano (Eds.) Remediation of Soils Contaminated with Metals. Science Reviews Ltd. Northwood, EUA.* pp. 222-225.
- Zubillaga, M.; R. Lavado. 2002. Fertilización fosfatada prolongada y contenido de elementos traza en un Argiudol típico de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 20:110-113.