

Bioacumulación de metales pesados en arroz cultivado bajo condiciones de contaminación en la subcuenca Mampostón

Heavy metal bioaccumulation in rice culture under contamination conditions in Mamposton watershed

M.Sc. María Aurora Mesa Pérez^I, Dr.C. Oscar Díaz Rizo^{II}, Dr.C. José Miguel Sánchez-Pérez^{III}, Dr.C. David Baqué^{III}, Tec. Marie Jose Tavella M.^{III}

^I Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II} Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Plaza, La Habana, Cuba.

^{III} CNRS-Laboratoire d'Ecologie Fonctionnel et Environnemental. Université Toulouse 3, France.

RESUMEN. El arroz (*Oriza sativa*, L.) es uno de los cultivos de mayor demanda en Cuba. La modalidad de siembra en aniego, utilizando el agua superficial de ríos cercanos, se encuentra muy extendida. La contaminación de esta agua por metales pesados (MP) constituye una vía importante de entrada del contaminante al hombre. Es por ello que el presente trabajo pretende evaluar la bioacumulación de metales pesados en plantas de arroz cultivadas en condiciones de contaminación en la subcuenca Mampostón. Se determinó el contenido de MP en agua para cuatro puntos de muestreo (Res, M2_1, M2_2 y Dique). Además se determinó el contenido pseudototal (digestión HNO₃; HCl) e intercambiable (CaCl₂) de MP en el suelo. En las plantas se realizó el muestreo 10 áreas de 1 m² mediante un muestreo completamente aleatorizado tomando en cada una 10 plantas y haciendo una muestra compuesta. Las plantas se separaron en cada órgano para su estudio y se determinó el contenido total de MP por digestión biácida. Todos los análisis de MP se realizaron mediante ICP-MS. Los resultados indican que el agua de aniego contiene bajos contenidos de MP. El suelo presenta valores inferiores de Cr y Pb mientras que son superiores Zn, Co, Cu y Cd, este último con valores cercanos a IVS con riesgo de ecotoxicidad. Las plantas de arroz bioacumularon estos metales concentrándolos en sus raíces, siendo FBC>1 para el Zn y el FBT>1 para Zn y Se. En ninguno de los metales los contenidos en el grano son superiores a la NC 493:2006.

Palabras clave: cultivo, agua fluvial superficial, seguridad alimentaria.

ABSTRACT. Rice (*Oriza sativa*, L.) is one of the most important cultures in Cuba. This culture is usually cultivated using the superficial fluvial water. Heavy metal pollution in this water is an important way for man uptake this hazardous substances. For that reason this work are as aim evaluate heavy metal bioaccumulation in rice culture under contamination conditions in Mamposton watershed. Heavy metal concentration in water was determinate in four stations (Res, M2_1, M2_2 y Dique). Pseudototal concentration (HNO₃; HCl digestion) and exchangeable concentration (CaCl₂) of heavy metal in soil was obtained in three point of culture area. 10 rice plants were taken in 10 areas of culture for total concentration of heavy metal analysis (HNO₃; HCl digestion). All of them were determinate for ICP-MS. The water show a small concentration of Cu, Zn, Cr, Co, Cd and Pb, always under permissive limits in Cuban regulation but the pseudototal concentration of Zn, Cu, Co y Cd in soil are near IVS limit representing an ecological risk. Rice plants bio accumulate Zn in radical area (FBC>1) and translocate Se (FBT>1) trough aerial parts. All of heavy metals are under Cuba concentration limit for cereals grain (NC 493:2006).

Keywords: Tillage, superficial fluvial water, alimentary safety.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo y el agua destinada al cultivo agrícola es uno de los más serios problemas medioambientales que afronta la humanidad (Cao *et al.*, 2013). La biodisponibi-

lidad de los metales pesados es principalmente afectada por el contenido total presente en el suelo en interacción con las propiedades químicas y físicas del mismo, pero también por

las plantas cultivadas en estos (Cheng *et al.*, 2006). Incluso en condiciones de contaminación moderada a baja, el cultivo de especies hiperacumuladoras o acumuladoras de MP puede constituir un riesgo importante de entrada de contaminantes vía cadena trófica (Gorbunov *et al.*, 2002).

El arroz es el cereal más importante en el mundo, por su extensión de cultivo y repercusión en la dieta de casi 3 billones de personas (Zhao y Mc Grath, 2009), sin embargo es ampliamente respaldado por la literatura su comportamiento como planta hiperacumuladora de más de siete metales diferentes, siendo los más problemáticos el Cd, por su movilidad y toxicidad, y el Pb, que aunque no es un metal móvil, es muy tóxico (Reeves *et al.*, 2000¹). Esta respuesta no es la misma en todos los cultivares existentes y por tanto debe estudiarse para cada uno, con vistas a seleccionar aquellos con bajos potenciales de bioacumulación y de esta forma aumentar las posibilidades de producir alimentos sanos y seguros (Gholam *et al.*, 2005 y Liu *et al.*, 2007).

El arroz popular es una variante de cultivo establecida para pequeños agricultores en la cual el campesino siembra en diques bajo aniego pequeñas parcelas destinadas al autoconsumo preferiblemente. Esta variante ha sido bien acogida en la periferia de las ciudades y se estima que el 70% del arroz producido en los municipios San José de las Lajas y Güines se realiza bajo esta modalidad (MINAG, 2014²). Tomando en cuenta que el agua que se utiliza, en la mayor parte de los casos, proviene del agua superficial del río Mampostón y de su afluente Ganuza, y que en ambos son vertidos los residuales industriales de múltiples empresas, se hace necesario plantearse como objetivo de estudio: evaluar la bioacumulación de MP en plantas de arroz cultivadas en

condiciones de contaminación.

MÉTODOS

El trabajo fue realizado en la finca “San Pedro” (N 22° 55’53.65” y O 82° 2’ 56.48”) municipio San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba en el mes de junio de 2013.

La finca cuenta para el cultivo del arroz con un dique de 0,5 ha que es anegado utilizando el agua superficial del río Mampostón después de su intersección con el río Ganuza.

Para el estudio se analizó el agua, el suelo y las plantas cultivadas según se detalla a continuación:

Muestreo y análisis en agua

El agua se tomó en pomos de plástico inerte de 5 L de capacidad previamente enjuagados con HNO₃ 0,5 mol.L⁻¹ para eliminar restos orgánicos y agua destilada por triplicado.

- Se ubicaron 4 puntos de muestreo:
- Residual: localizado sobre el río Mampostón. Identifica al punto más cercano a las deposiciones sólidas de residuos de la producción de la fábrica de Asfalto. En este punto ya ha confluído el afluente Ganuza por lo que se mezcla la carga contaminante que este posee con la aportada por la fábrica de Asfalto. En la Tabla 1 se caracterizan los aportes en este punto.
- M2_1 y M2_2: Ubicados a 50 m uno del otro sobre el río Mampostón y alejándose de la fábrica de Asfalto. El punto M2_2 coincide con el punto de bombeo de agua hacia el dique.
- Dique: agua contenida en la parcela de cultivo.

Tabla 1. Empresas relacionadas con la carga contaminante del sitio en estudio

Foco contaminante	Coordenadas		Residual	Categoría
	Norte	Este		
Pasteurizadora “Aljibe”.	345 000	385 100	Orgánico: desechos lácteos	III
Fábrica de Pintura “Raúl Cepero Bonilla”.	345 500	397 500	Inorgánico: químicos complejos.	I
Fábrica de “Ron San José”.	344 440	387 960	Orgánico: vinaza entre otros	V
CEPAM	348 000	388 250	Orgánicos: desechos del proceso de cría de alevines.	III
Planta de asfalto “8 vías”.	345 250	389 000	Inorgánico y orgánico: residuos sólidos y gaseosos	V
Fábrica de aluminio	346 000	388 650	Inorgánico: desechos sólidos	V

El agua fue llevada al laboratorio para determinar pH y conductividad eléctrica (CE) mediante potenciometría. Posteriormente fue filtrada con filtro de celulosa 0.22 µm para eliminar la materia en suspensión y acidificada con HNO₃ ultrapuro con el objetivo de oxidar el carbono orgánico disuelto y estabilizar la solución de metales. La determinación se realizó directamente en un equipo ICPMS.

Muestreo y análisis en suelos

El muestreo de suelo se realizó tomando tres muestras compuestas en el dique mediante un muestreo completamente aleatorizado. El suelo fue secado en estufa a 60 °C hasta peso constante y tamizado con tamiz de nylon de 50 µm, se determinó pH en H₂O

¹ REEVES, R.D., BAKER, A.J., RASKIN, I., ENSLEY, B.D.: Phytoremediation of toxic metals, pp. 193–229, In: Wiley (eds), New York, 2000.

² MINAG: Informe anual sobre los resultados agrícolas de la provincia Mayabeque, Ed. MINAG, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2014.

y conductividad eléctrica (potenciometría con relación agua-suelo 1:5), contenido de materia orgánica Walkley-Black (Okalebo *et al.*, 1993³) y textura por el método de Bouyoucos (Martín y Hernández, 2003⁴).

El contenido pseudototal de MP se extrajo mediante digestión biácida (HNO₃: HCl) en proporción 2:1 y H₂O₂. La temperatura durante la digestión fue de 55 °C - 80 °C por 3 horas en un equipo Digiprep (Laboratoire d'Ecologie Fonctionnel et Environnemental. Université Toulouse 3. France). La lectura se realizó para los elementos mayores mediante ICPOES y el resto mediante ICPMS.

El contenido intercambiable de MP se determinó en una solución 0,5,N de CaCl₂ en agitación por 30 minutos (Laboratoire d'Ecologie Fonctionnel et Environnemental. Université Toulouse 3. France). La lectura se realizó para los elementos mayores mediante ICPOES y el resto mediante ICPMS.

Muestreo y análisis de plantas:

- Las plantas de arroz de la variedad IA Cuba 15 fueron recolectadas al finalizar el ciclo productivo, en el momento de la recogida del grano.
- Se colectaron 10 plantas de 10 áreas de 1 m² seleccionadas mediante muestreo completamente aleatorizado e incluyendo las tres áreas donde se tomaron las muestras de suelo. Las plantas se lavaron y separaron sus órganos mediante secado en estufa a 60 °C hasta peso constante. Las plantas de cada área se mezclaron para obtener una muestra compuesta por órgano y se maceraron en N₂ líquido.
- El contenido total de MP se extrajo mediante digestión biácida (HNO₃: HCl) en proporción 2:1 y H₂O₂. La temperatura durante la digestión fue de 55 °C - 80 °C por 3 horas en un equipo Digiprep (Laboratoire d'Ecologie Fonctionnel et Environnemental. Université Toulouse 3. France). La lectura se realizó para los mediante ICPMS.

Validación de los resultados

Se utilizaron para la validación de los resultados los estándares externos internacionales WQB- 1 (Cheam y Chau, 1984), SLRS-5 (NRC-CNRC, 2009) y NIST-SRM 1547 (Mackey y Spatz, 2009⁵). Como estándar interno una concentración conocida de ¹¹⁵In/¹⁸⁷Re (2,0325 µg·L⁻¹) en todas las muestras que

se analizaron mediante ICPMS.

Los análisis del recubrimiento medio (conc. medida/conc. certificada-100) muestran la exactitud de los análisis realizados en la Tabla 2 para cada matriz.

Análisis estadísticos

Para analizar las diferencias entre los puntos muestreados en agua se realizó un ANOVA de clasificación simple y una dódima de Duncan para p<0,05.

Los resultados en suelos se compararon con los de Febles *et al.* (2014) para suelos Ferralíticos Rojos típicos poco antropizados de Alturas de Nazareno, los resultados de Rodríguez *et al.* (2015) para suelos poco antropizados de Cuba y la norma holandesa (Swartjes, 1999).

Las concentraciones de MP en el grano de arroz se compararon con NC: 493:2006.

Se determinó el factor de bioconcentración y el factor de biotransferencia establecidos como:

$$FBC = \text{conc. planta} / \text{conc. sedimento} \text{ (Liu et al., 2007) (1)}$$

$$FBT = \text{conc. raíz} / \text{conc. órganos aéreos} \text{ (Liu et al., 2007) (2)}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de MP en agua

La Figura 1 muestra el contenido medio de MP en el agua evaluada. Los niveles detectados son bajos, lo que concuerda con el pH obtenido en las muestras (7,77-8,112). Solo se muestran diferencias significativas entre los sitios muestreados para el Cu (Res> M2_1=M2_2=Dique) y para el Zn (Res> M2_1>M2_2>Dique) según Duncan para p<0.05. Se observa que el gradiente disminuye a medida que el muestreo se aleja de los focos contaminantes, evidenciando la homeostasis del ecosistema basada principalmente en el efecto tampón del Ca y el Mg como reguladores del pH (Tabla 3).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos en esta subcuenca por Álvarez *et al.* (2010) dando como iones predominantes HCO₃⁻ y Ca²⁺ producto de una composición litogénica 63% Calcita y 30% Dolomita clasificándose como un agua bicarbonatada cálcica.

TABLA 2. Validación de los resultados alcanzados

Metal	SLRS-5			WQB-1			NIST-SRM 1547		
	Conc. medida	Conc. certificada	R (%)	Conc. medida	Conc. certificada	R (%)	Conc. medida	Conc. certificada	R (%)
	(µg·L ⁻¹)			(mg·kg ⁻¹)			(mg·kg ⁻¹)		
Cr	0,36±0,1	0,31±0,003	115	75,21±0,39	89,1±8,9	84	0,94±0,02	1,47±0,28	65
Co	0,054	0,05	107	16,22±0,7	20,1±2	81	0,77±0,001	0,066±0,003	109
Cu	13,8±0,1	17,4±1,3	80	88,46±0,5	79,6±7,9	111	8,29±0,27	10±1	83

³ OKALEBO, J.; GATHUA, K. & WOONER, P.: Laboratory methods of soil and plant analysis. A working manual, TSBF Programme, UNESCO-ROSTA. Nairobi, Kenya, 1993.

⁴ MARTÍN, N. y HERNÁNDEZ, J.: Manual de Laboratorio. Métodos para el Análisis Físico de los Suelos, Universidad Agraria de La Habana Facultad de Agronomía e Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, 2003.

⁵ MACKEY, E. & SPATZ, R.: Assessment of stability of trace elements in two natural matrix environmental standard reference materials: NIST-SRM 1547 Peach leaves and NIST-SRM 1566a Oyster tissue, 2009.

Metal	SLRS-5			WQB-1			NIST-SRM 1547		
	Conc. medida	Conc. certificada	R (%)	Conc. medida	Conc. certificada	R (%)	Conc. medida	Conc. certificada	R (%)
Zn	0,8	0,8±0,1	99	294,7±1,5	295±25	107	18,12±0,08	17,2±1,3	105
As	0,46	0,41±0,003	114	21,13±0,4	23±2,3	92	0,17±0,005	0,15±0,0015	113
Se	-	-	-	1,02±0,33	1,02±0,1	101	0,14±0,056	0,17±0,05	84
Cd	0,002	0,006±0,001	31	1,8±0,065	2±0,2	91	1,15±0,03	1 ± 0,1	116
Pb	0,078	0,081±0,006	97	82,36±0,3	83,7±8,3	98	4,08±0,33	5±0,5	82
Fe	-	-	-	4,0± 0,1	4,7±0,4	85	240±0,8	207±15	116
Na	4885±337	5380±100	91	NC	NC	NC	ND	ND	ND
K	796±57	839±36	95	NC	NC	NC	ND	ND	ND
Ca	9686±485	10500±400	92	1,10	1,167	95	ND	ND	ND
Mg	2128±223	2540±160	84	1,06	1,42	75	ND	ND	ND

NC- Metal no certificado para ese estándar ND- Metal no determinado

TABLA 3. Contenido de elementos mayores y otras variables medidas en el agua

Variable	Unidad de medida	Valor
pH		7,77 – 8,112
CE	µS·cm ⁻¹	30,6-38,6
Na	µg·L ⁻¹	6812±1,16
K	µg·L ⁻¹	4483±1,09
Ca	µg·L ⁻¹	46450±0,99
Mg	µg·L ⁻¹	12400±0,81

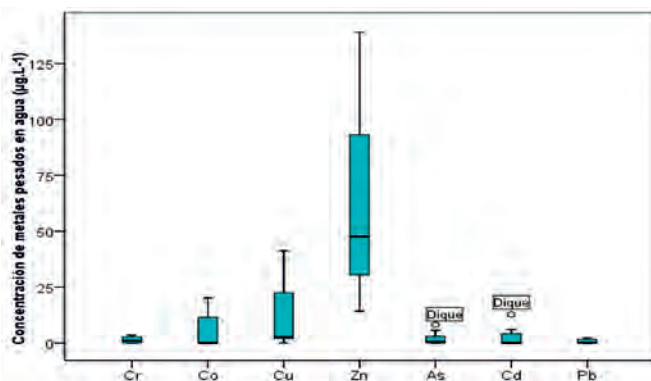


FIGURA 1. Contenido medio de MP en el agua de las cuatro estaciones muestreadas (Residual, M2_1, M2_2 y Dique). Las cajas azules representan los valores de la media desde el 25% al 75% de las muestras. Los bigotes verticales representan ESx.

Contenido de MP en suelo

Los suelos utilizados en el cultivo del arroz bajo aniego presentan una composición de elementos mayores de 22,52% de Al, 33,28% de Ca y Mg y 43,65% de Fe y Mn lo que concuerda con las características pedogenéticas de la zona al formarse suelos predominantemente Ferralíticos sobre una llanura cársica (Febles *et al.*, 2014).

La textura es franco arcillosa según la metodología de Bouyoucos (Martín y Hernández, 2003). El contenido de materia orgánica fue elevado para las condiciones tropicales, 7,17%, pero se consideran normales dada las condiciones reductoras imperantes y las cantidades de materia orgánica aportada por las empresas y la fertilización.

Al comparar los resultados mostrados en la Tabla 4 con los de Febles *et al.*, (2014) en suelos Ferralíticos Rojos Típicos (FRT) sin actividad antrópica de Alturas de Nazareno, se observa que las concentraciones son menores para Zn, Pb y Cr; mientras que para Cu y Cd son equivalentes. Los suelos presentados en el estudio de Febles *et al.* (2014) constituyen una muestra poco antropizada de los suelos Ferralíticos Rojos de la región que han descendido a la llanura principalmente por erosión hídrica.

De igual forma la comparación con los resultados de Rodríguez *et al.* (2015), refleja que el suelo de cultivo posee concentraciones inferiores a las de los suelos poco antropizados utilizados como referentes nacionales para los metales Cr y Pb mientras que son superiores en Co, Cu, Zn y Cd. Ambos estudios utilizados como comparación señalan que las cocentraciones evaluadas en suelos poco antropizados cubanos son superiores al promedio mundial y a otras normas internacionales debido principalmente a los procesos de formación geológica típicos de Cuba.

En los estudios de Swartiej (1999), se consideran algunos valores límite para suelos holandeses señalando los límites inferior (TVS) y superior (IVS) de la aparición de riesgo ecotoxicológico y para la salud humana. El suelo de cultivo no presenta riesgo de intervención para ninguno de los metales evaluados tomando la media como valor referencial, sin embargo en el caso del Cd los valores superiores encontrados se encuentran en el mismo rango de IVS, lo que constituye un factor de riesgo. Con estos resultados cabe esperar que no se bioacumulen altos contenidos de metales pesados en las plantas de arroz excepto el Cd en algunos casos.

Contenido de MP en plantas de arroz (*O. sativa*, L.)

Las plantas de arroz cultivadas en la finca “San Pedro” no presentaron signos de fitotoxicidad. Su crecimiento era adecuado para la variedad y su color verde intenso. El contenido de MP en granos se muestra en la Tabla 5.

Las concentraciones medias de todos los metales son inferiores a los LMP de la Federación de Rusia y a la NC 493:2006. Sin embargo para los metales As y Cd una de las áreas muestreadas mostró un promedio 4 y 1,5 veces superior a la norma

respectivamente, representando el 10% de las plantas muestreadas. Las concentraciones obtenidas concuerdan con los estudios de Cao *et al.* (2013) en China y Gorbunov *et al.* (2002) en Astrakhan, delta del río Volga en Rusia.

TABLA 4. Concentración de MP en suelos del Dique de arroz popular

Metal	Suelo FRT Subcuenca Mampostón Pseudototal (Ps) (HNO ₃ : HCl)	Suelo FRT Subcuenca Mampostón Intercambiable (In) (CaCl ₂)	Relación In/Ps (%)	Suelos poco antropizados Cuba ¹	Suelo FRT poco antropizados (Mayabeque, Cuba) ²	Suelos Holanda ³	
	mg·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹				TVS	IVS
Cr	84,90± 4,73	ND	ND	463,2	290	100	380
Co	56,03± 3,11	0,023±0,0034	0,04	31,4	ND	9	240
Cu	130,75± 2,80	0,038±0,01	0,02	83,7	129,5	36	190
Zn	126,34± 2,21	0,34±0,07	0,26	90,7	469,1	140	720
As	8,69± 3,32	0,19±0,01	2,21	10,8	ND	29	55
Se	13,01± 13,45	0,17±0,011	1,29	ND	ND	0,7	100
Cd	5,87± 9,12	0,7±0,06	11,9	1,2	11,3	0,8	12
Pb	26,38± 1,24	0,36±0,03	1,36	34,6	65,4	85	530

¹Rodríguez *et al.* (2015) ²Febles *et al.*, (2014) ³Swartjes (1999) TVS- riesgo ecológico no significativo (1% del límite máximo permisible) IVS- valor de intervención por riesgo ecotoxicológico y sobre la salud humana.

En cuanto a la distribución entre el suelo y la planta, solo en el caso del Zn el FBC>1 (Tabla 6) que según Gholam *et al.* (2015), es requisito indispensable para que pueda catalogarse una planta como acumuladora. La mayor parte del metal queda en las raíces y a la parte aérea solo es traslocado una fracción del mismo, siendo Se y Zn los únicos metales en este estudio donde la concentración en la parte aérea es superior a la parte radical.

En estudios realizados en suelos no contaminados de China por Liu *et al.* (2007), se obtienen resultados similares a los del presente estudio, aunque en el caso del Cd el FBC es más próximo a uno (1) mientras que en este caso es cinco (5) veces menor.

TABLA 5. Concentración de MP en granos de arroz (*O. sativa*, L.)

	Cr	Co	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
Ave	0,193	0,110	0,421	2,668	0,176	0,388	0,121	0,036
SD	0,244	0,191	0,036	1,693	0,292	0,437	0,219	0,031
Min	0,013	0,008	0,380	0,476	0,012	0,012	0,001	0,000
Max	0,589	0,576	0,484	4,544	0,880	1,022	0,651	0,081
NC 493:2006							0,4	0,2
FAO/OMS (2002)							0,3	0,2
LMP Rusia Gorbunov <i>et al.</i> (2002)	ND	ND	5	10	0,2	ND	0,03	0,5
Cao <i>et al.</i> , (2013)	0,324	ND	4,1	26,6		ND	0,057	0,143
Gorbunov <i>et al.</i> (2002)	0,16	ND	3,6	28	0,006	ND	0,006	1,58

ND- No determinado

TABLA 6. Factores de Bioconcentración (FBC) y Biotransferencia (FBT) en plantas de arroz

	Cr	Co	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
FBC	0,388	0,555	0,418	1,044	0,727	0,388	0,17	0,43
FBT	0,06	0,07	0,14	1,00	0,20	1,03	0,36	0,10

	Cr	Co	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb
FBC (Liu <i>et al.</i> , 2007)	0,06	ND	ND	ND	3,46	ND	0,97	0,36

CONCLUSIONES

- El presente estudio indica que las concentraciones de MP en las plantas no solo dependen de las concentraciones pseudototales en los suelos sino también de su disponibilidad y de la capacidad genética de las mismas de solubilizar los MP. Las condiciones de alcalinidad de la subcuenca

Mampostón son capaces de regular la disponibilidad de MP y hacer que el arroz popular pueda cultivarse de forma segura, aunque debe seguirse con atención la evolución del pH en la misma, pues un descenso del mismo cambiaría la disponibilidad y por tanto las concentraciones asequibles para la planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, A.; GUTIÉRREZ, J.E.; FACUNDO, J.R.; GONZÁLEZ, R.: “Análisis hidrogeoquímico de las aguas de la subcuenca Mampostón”, *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, ISSN: 1729-3790, 11: 1-9, 2010.
- CAO, F.; IMRUL, M., WEITE Z. & FEIBO, W.: “Genotypic and environmental variation of heavy metal concentrations in rice grains”, *Journal of Food, Agriculture and Environment* ISSN: 1459-0255, 11(1): 718– 724, 2013.
- CHEAM, V. & CHAU, A.: “Analytical reference materials. Part IV. Development and certification of the first Great Lakes sediments reference material for arsenic, selenium and mercury”, *Analyst*, ISSN: 1542-7544, 109: 775-779, 1984.
- CHENG, W.; ZHANG, G.; YAO, H.; WU, W. & XU, M.: “Genotypic and environmental variation in cadmium, chromium, arsenic, nickel, and lead concentrations in rice grains”, *Journal of Zhejiang University-Science B*, ISSN: 1673-1581, B7: 565–571, 2006.
- FAO/WHO: *Codex Alimentarius General Standards for Contaminants and Toxins in Food. Schedule I. Maximum and Guideline Levels for Contaminants and Toxins in Food*, Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Reference CX/FAC 02/16, Codex Committee, Rotterdam, The Netherlands, 2002.
- FEBLES, J. M.; AMARAL SOBRINHO, N.; PÉREZ, Y.; ZOFFOLI, J.H y LIMA, M.O.: “Relación entre los procesos de erosión-sedimentación-contaminación en suelos del Distrito Pecuário “Alturas de Nazareno”, Cuba”, *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, ISSN: 0034-7485, 48(2): 173, 2014.
- GHOLAM, R.; JAHED K. & ZAZOLI, M.: “Cadmium and Lead Contents in Rice (*Oryza sativa*) in the North of Iran”, *International Journal of Agriculture & Biology*, ISSN: 1560-8530, E-ISSN: 1814-9596, <http://www.ijab.org> 1560–8530/2005/07–6–1026–1029, 2005.
- GORBUNOV, A.; FRONTASIEVA, M.; KYSTANOV, A.; LYAPUNOV, S.; OKINA, O. & RAMADAN, A.: “Heavy and Toxic metals in staple foodstuff and agriproducts from contaminated soil” (Toxic and hazardous substance Control), *Journal of Environmental Science and Health*, ISSN: 1093-4529 (Admitido para publicación), 2002.
- LIU, W.; SHEN L.; LIU J. & WANG, W.: “Uptake of Toxic Heavy Metals by Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivated in the Agricultural Soil near Zhengzhou City, People’s Republic of China”, *S.-R. Li Bull Environ Contam Toxicol*, DOI 10.1007/s00128-007-9164-0, 79: 209–213, 2007.
- NC-493: 2006: *Contaminantes metálicos en alimentos–Regulaciones sanitarias. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba*, Vig. 2006.
- NRC-CNRC: 2009: *River water reference material for trace metals. National Research Council of Canada. Ottawa. Canada*, Vig. 2009.
- RODRÍGUEZ, M.; MONTERO, A.; MUÑIZ, O.; ARAÚJO DO NASCIMENTO, C.; DE AGUIAR, A.; MIRANDA, C.; AGRA, Y.: “Background concentrations and reference values for heavy metals in soils of Cuba”, *Environ Monit Assess*, DOI 10.1007/s10661-014-4198-3, 187: 4198, 2015.
- SWARTJES, F.A.: “Risk-Based Assessment of Soil and Groundwater Quality in the Netherlands: Standards and Remediation Urgency”, *Risk Analysis*, ISSN: 0272-4332, E-ISSN: 1539-6924, 19(6):1999.
- ZHAO, F., MCGRATH, S.: “Biofortification and phytoremediation”, *Current Opinion in Plant Biology*, ISSN: 1369-5266, 12: 373-380, 2009.

Recibido: 10 de marzo de 2015.

Aprobado: 13 de noviembre de 2015.

Publicado: 30 de diciembre de 2015.

María Aurora Mesa Pérez, Profesora Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Correo electrónico: mariaa@unah.edu.cu

Oscar Díaz Rizo, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Cuba. Correo electrónico: odrizzo@instec.cu

José Miguel Sánchez-Pérez, CNRS-France. Correo electrónico: jose-miguel.sanchez-perez@univ.tlse3.fr

David Baqué, CNRS-France. Correo electrónico: david.baque@univ.tlse3.fr

Marie Jose Tavella, CNRS-France. Correo electrónico: tavella@ecolab.fr