

Elementos traza en fertilizantes y abonos utilizados en agricultura orgánica y convencional*

Trace elements in fertilizers and manure used in organic and conventional agriculture

Juan Carlos Rodríguez Ortiz^{1§}, Jorge Alonso Alcalá Jáuregui¹, Alejandra Hernández Montoya¹, Humberto Rodríguez Fuentes², Francisco H. Ruiz Espinoza³, José Luis García Hernández⁴ y Paola Elizabeth Díaz Flores¹

¹Facultad de Agronomía y Veterinaria- Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera San Luis Potosí-Matehuala, km 14.5, Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P. México. (jorge.alcalá@uaslp.mx; alejandra.montoya@uaslp.mx; paola.diaz@uaslp.mx). ²Facultad de Agronomía- Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Marín-Zuázua, km 6.5, Marín, N. L. México. (hrodrigu10@yahoo.com). ³Facultad de Agronomía- Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera sur km 4.5, La Paz, B. C. S. México. (fruz@uabcs.mx). ⁴Facultad de Agronomía y Zootecnia- Universidad Juárez del Estado de Durango, 35110 Venecia, Gómez Palacio, Durango, México. (josel.garciahernandez@yahoo.com). [§]Autor para correspondencia: jcrodot@uaslp.mx.

Resumen

Los fertilizantes y abonos son las principales fuentes de nutrientes de los cultivos. La composición de elementos traza en ellos ha sido poco estudiada en México, así como su ingreso total a los suelos por esta vía. Arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb) fueron determinados por espectrofotometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) en nueve fuentes nutrimentales utilizadas en agroecosistemas orgánicos y convencionales; lombricomposta, composta, nitrato chileno, roca fosfórica, urea, nitrato de calcio, fosfato diamónico (DAP), superfosfato triple (SPT) y sulfato de potasio. Los resultados muestran que DAP, SPT, roca fosfórica y lombricomposta poseen las más altas concentraciones de As, Cd y Pb, mientras que Hg sólo fue detectado en SPT a bajas concentraciones. La urea, nitrato de calcio y sulfato de potasio obtuvieron las concentraciones más bajas. Sin embargo, la lombricomposta es el material que más elementos traza incorpora al suelo cuando se toma como fuente de 100 kg de N ha⁻¹, las cantidades estimadas fueron 17139, 2190 y 76176 mg ha⁻¹ de As, Cd y Pb, respectivamente. En caso de usarse como fuente de P₂O₅ ó K₂O, el ingreso al suelo de elementos traza será aún más alto.

Abstract

Fertilizers and manures are the major sources of crop nutrients. Their composition of trace elements and transfer into soil by these means has been poorly studied in Mexico. Arsenic (As), cadmium (Cd), mercury (Hg) and lead (Pb) were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) in nine nutrient sources used in organic and conventional agroecosystems; vermicompost, compost, Chilean nitrate, phosphate rock, urea, calcium nitrate, diammonium phosphate (DAP), triple superphosphate (TSP) and potassium sulphate. The results show that DAP, TSP, phosphate rock and vermicompost have the highest concentrations of As, Cd and Pb, while Hg was detected only at low concentrations in TSP. Urea, calcium nitrate and potassium sulphate obtained the lowest concentrations. However, vermicompost is the material incorporating most trace elements into the soil when taken as a source of 100 kg N ha⁻¹, the estimated quantities were 17 139, 2 190 and 76 176 mg ha⁻¹ of As, Cd and Pb, respectively. If used as a source of P₂O₅ or K₂O, there will be higher trace elements transfer into the soil.

Palabras clave: agricultura sustentable, contaminación de suelo, insumos agrícolas, metales pesados, unidad fertilizante.

Los nutrientes para los cultivos agrícolas representan un componente elemental en la producción mundial de alimentos. Estos pueden ser aportados por fertilizantes químicos sintéticos, fertilizantes naturales y abonos orgánicos, entre otras fuentes. Los primeros contribuyen con más de 40% de la producción mundial de alimentos y se espera que su uso aumente a medida que la población mundial se incrementa y la demanda exceda la capacidad de producción de las tierras agrícolas (Stewart *et al.*, 2005). En los Estados Unidos de América el consumo total de fertilizantes (NPK) en 2009 fue de 109.4 kg ha⁻¹ de tierra cultivable y en México fue de 54.5 kg ha⁻¹ (World Bank, 2013). Por su parte, los abonos orgánicos y fertilizantes naturales son los principales insumos que aportan nutrientes en la agricultura orgánica. Esta forma de producción se ha incrementado en los tiempos recientes, en el año 2000 se cultivaron en el mundo 15 millones de hectáreas, mientras que en el 2010 fueron 37 millones de hectáreas (Willer, 2012).

Tanto los fertilizantes como los abonos orgánicos contienen elementos traza (ET) en diferentes proporciones (Raven y Loeppert, 1997; Sabiha *et al.*, 2009; Oliveira, 2012; Rodríguez *et al.*, 2012). Entre los ET continuamente encontrados se tienen al arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg), que son considerados por la Organización Mundial de la Salud como los más perjudiciales para la salud humana junto con el flúor (WHO, 2010). No son esenciales para las plantas, y en ciertas dosis pueden afectar su crecimiento y desarrollo. Los resultados de estudios realizados en todo el mundo en cuanto a los elementos traza presentes en dichos materiales son muy variables debido a lo diverso de su origen y procesos que se siguen en su fabricación, por lo que es necesario estudiarlos de manera local y en base a las regulaciones oficiales, con la intención de avanzar hacia una agricultura sostenible.

Por lo anterior, se realizó el presente estudio con los objetivos de evaluar las concentraciones de As, Cd, Hg y Pb en nueve fuentes de nutrientes utilizados en los sistemas agrícolas orgánicos y convencionales, así como estimar las cantidades totales que ingresan al suelo de acuerdo con el nivel de nutriente aplicado.

Los cuatro ET fueron elegidos para este estudio debido a los siguientes factores de riesgo: coeficientes de transferencia alta de elementos traza del suelo a las plantas, elevada

Keywords: sustainable agriculture, soil contamination, agricultural inputs, heavy metals, fertilizer unit.

The nutrients for agricultural crops represent a basic component in global food production. These can be provided by synthetic chemical fertilizers, natural fertilizers and organic fertilizers, among other sources. The first contribute more than 40% of world food production and its use is expected to increase as the world population increases and the demand exceeds the capacity of agricultural land (Stewart *et al.*, 2005). In the United States overall fertilizers consumption (NPK) in 2009 was 109.4 kg ha⁻¹ of arable land and in Mexico was 54.5 kg ha⁻¹ (World Bank, 2013). Meanwhile, organic fertilizers and natural fertilizers are major inputs contributing nutrients in organic farming. This form of production has been increased in recent times, with 15 million hectares cultivated worldwide in 2000, and 37 million hectares in 2010 (Willer, 2012).

Both fertilizers and organic fertilizers contain trace elements (TE) in different proportions (Raven and Loeppert, 1997; Sabiha *et al.*, 2009; Oliveira, 2012; Rodríguez *et al.*, 2012). High incidence TE include arsenic (As), cadmium (Cd), lead (Pb) and mercury (Hg), considered by the World Health Organization as the most harmful to human health along with fluorine (WHO, 2010). They are not essential for plants, and in certain doses can affect their growth and development. Results from studies conducted around the world for the trace elements present in these materials are highly variable due to diversity of origin and processes used in their manufacture, so it is necessary to study them locally and based on official regulations, with the goal of moving towards sustainable agriculture.

Therefore, this study aimed to assess As, Cd, Hg and Pb concentrations in nine nutrient sources used in organic and conventional farming systems, and to estimate overall quantities entering the soil according to the applied nutrient level.

The four TE were chosen for this study based on: high soil-plant transfer coefficient, high persistence in the environment and ability to cause damage to human health (Kabata-Pendias, 2010). Nine sources of plant nutrients commonly used in Mexico were assessed, four used in organic agriculture: bovine vermicompost, bovine compost, Chilean nitrate (mostly used for certified

permanencia en el medio ambiente y ser capaces de causar daños a la salud humana (Kabata-Pendias, 2010). Se evaluaron nueve fuentes de nutrientes agrícolas comúnmente utilizados en México; cuatro de uso en agricultura orgánica: lombricomposta de bovino, composta de bovino, nitrato chileno (utilizado principalmente para la agricultura orgánica certificada en el estado de Baja California Sur) y roca fosfórica; otros cuatro son materiales inorgánicos utilizados en la agricultura convencional: urea, nitrato de calcio, fosfato diamónico (DAP) y superfosfato triple (SPT); y un fertilizante natural que se puede usar en ambos sistemas: sulfato de potasio.

Los materiales fueron adquiridos de empresas comerciales, con excepción de la lombricomposta, que fue elaborado con lombriz roja de california (*Eisenia foetida*) en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, con estiércol de bovino y hojarasca con relación 1:4 (v/v). Las composiciones de macronutrientes de los nueve materiales se presentan en el cuadro 1, estos valores fueron recabados de la información otorgada por las compañías comerciales. Para el humus de lombriz, se determinó N por el método de Kjeldahl, P y K por espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS, marca Thermo, Serie XII).

Las muestras se secaron a peso constante, se trituraron en un mortero de cuarzo, se colocaron 0,5 g de muestra y 10 mL de ácido nítrico (grados marca EDMTM alta pureza) usando el método del digestor de microondas (marca Marte y Tecnología X) y se aforó a 100 mL capacidad con agua desionizada (Raven y Loeppert, 1996). Se midieron las concentraciones de los elementos mediante un espectrofotómetro de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS, marca Thermo, Serie XII). La curva de calibración se realizó con estándares certificados marca High Purity Standards (HPS). Tulio (Tm) e indio (In) se utilizaron como un patrón interno con corrección de deriva instrumental, tanto a una concentración de 10 mg L⁻¹ en la solución final. Cada 10 muestras se verificó la precisión de las mediciones a través de un estándar control conocido, diferente al de la curva de calibración. La repetición se obtuvo como resultado de las desviaciones estándar relativas proporcionales para 5 repeticiones observadas de cada uno de los ET. En el caso de la roca fosfórica, se tomaron los datos reportados por la empresa comercializadora.

Para la estimación de la cantidad total de ET que ingresan al suelo debido a la aplicación por cada 100 kilogramos de unidades fertilizante (N, P₂O₅ ó K₂O) contenidos en los

organic agriculture in the state of Baja California Sur) and phosphate rock, other four are inorganic materials used in conventional agriculture: urea, calcium nitrate, diammonium phosphate (DAP) and triple superphosphate (TSP); and a natural fertilizer that can be used in both system: potassium sulphate.

The materials were purchased from commercial companies, with the exception of vermicompost, which was made with californian red worm (*Eisenia foetida*) in the College of Agriculture and Veterinary Medicine at the Autonomous University of San Luis Potosí, with bovine manure and leaf litter in a ratio 1:4 (v/v). The macronutrient compositions of the nine materials are presented in Table 1, these values were collected from the information provided by commercial companies. For humus, N was determined by the Kjeldahl method, P and K by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS, Brand Thermo Series XII).

Samples were dried to constant weight, were ground in a quartz mortar, 0.5 g of sample were placed, and 10 mL of nitric acid (high purity grade EDMTM trademark) using the microwave digester method (Mars and X Technology trademark) and gauged to 100 mL capacity with deionized water (Raven and Loeppert, 1996). The elements concentrations were measured using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS, Thermo brand, Series XII). The calibration curve was made with certified standards of High Purity Control Standards (HPS) trademark. Thulium (Tm) and indium (In) were used as internal standard to correct instrumental drift, both at a concentration of 10 mg L⁻¹ in the final solution. Every 10 samples the measurement accuracy was verified through a known standard control different from the one in the calibration curve. Repetition was obtained as a result of the proportional relative standard deviations observed for 5 repetitions of each of the TE. For phosphate rock, data reported by the trading company were taken.

In order to estimate the total amount of TE entering the soil due to the application per 100 kilograms of fertilizer units (N, P₂O₅ or K₂O) contained in fertilizers and manures, rule of three was used taking into account macronutrients concentrations in each material (Table 1) and the concentration of TE found (Table 2).

Table 2 shows trace elements concentrations in the nine studied materials. For As the concentration levels in descending order were: TSP > DAP > vermicompost >

fertilizantes y abonos, se usó regla de tres simple tomando en cuenta las concentraciones de macronutrientes de cada material (Cuadro 1) y la concentración de ET encontradas (Cuadro 2).

phosphate rock > compost > Chilean nitrate > urea= calcium nitrate= potassium sulphate. For Cd were: TSP > phosphate rock > DAP > vermicompost > compost

Cuadro 1. Contenidos de N, P₂O₅ y K₂O en fertilizantes y abonos en estudio (%).

Table 1. N, P₂O₅ and K₂O contents in fertilizers and manures under study (%).

	Lombri-composta	Composta	Nitrato chileno	Roca fosfórica	Urea	Nitrato de calcio	DAP	SPT	Sulfato de Potasio
N	2.1	3.9	16	nr	46	15.5	18	0	0
P ₂ O ₅	1.5	3.7	0	25	0	0	46	46	0
K ₂ O	1.6	2.9	0	nr	0	0	0	0	52

nr= no reportado.

Cuadro 2. Concentración de elementos traza en los nueve materiales en estudio.

Table 2. Trace elements concentration in the nine materials under study.

Fertilizante/abono	As	Cd	Hg	Pb
	(mg kg ⁻¹)			
Uso orgánico				
Lombricomposta	3.6 ± 0.90	0.46 ± 0.10	<0.01	16.00 ± 2.60
Composta	2.0 ± 0.30	0.21 ± 0.06	<0.01	5.90 ± 1.10
Nitrato chileno	0.28 ± 0.07	<0.01	<0.01	0.53 ± 0.08
Roca fosfórica	2.49 ± 0.53	4.48 ± 0.37	<0.08	6.26 ± 0.29
Uso convencional				
Urea	<0.01	<0.01	<0.01	0.4 ± 0.10
Nitrato de calcio	<0.01	<0.01	<0.01	0.6 ± 0.14
DAP	11.5 ± 1.80	3.7 ± 0.85	<0.01	0.86 ± 0.23
SPT	25.7 ± 2.35	8.7 ± 1.93	0.06 ± 0.01	3.90 ± 0.85
Doble uso				
Sulfato de potasio	<0.01	<0.01	<0.01	0.98 ± 0.33

El Cuadro 2 muestra la concentración de elementos traza en los nueve materiales estudiados. En el caso de As, los niveles de concentración en orden decreciente fueron: SPT > DAP > lombricomposta > roca fosfórica > composta > nitrato chileno > urea= nitrato de calcio= sulfato de potasio. En el caso de Cd, fueron: SPT > roca fosfórica > DAP > lombricomposta > composta > nitrato chileno= urea= nitrato de calcio= sulfato de potasio. En el caso de Hg, sólo en el SPT puede ser detectado por ICP-MS. Para Pb, el orden fue: lombricomposta > roca fosfórica > composta > SPT > sulfato de potasio > DAP > nitrato de calcio > nitrato chileno > urea.

Los resultados obtenidos son similares a los reportados por Raven y Loeppert (1997), en donde las fuentes de fosfato presentaron las mayores concentraciones de elementos traza, independientemente de su uso, mientras que las concentraciones más bajas se observaron en las fuentes de nitrógeno y sulfato de potasio. Los mismos autores mencionan que los materiales compostados pueden ser de importancia ecológica. Cabe mencionar que la norma

> Chilean nitrate= urea= calcium nitrate= potassium sulphate. For Hg, the TSP can only be detected by ICP-MS. For Pb, the order was: vermicompost > phosphate rock > compost > TSP > potassium sulphate > DAP > calcium nitrate > Chilean nitrate > urea.

Our results are similar to those reported by Loeppert and Raven (1997), where phosphate sources had the highest concentrations of trace elements, regardless of use, whereas the lowest concentrations were observed in nitrogen sources and potassium sulphate. The same authors mention that composted materials can be ecologically important. It is noteworthy that the Mexican standard NMX-FF-109-SCFI-2007, stating quality specifications for vermicompost produced or marketed in the country, does not include trace elements (DOF, 2007). Another reference considered for organic materials is the NOM-004-SEMARNAT-200, which establishes specifications and allowable limits for contaminants in biosolids use and disposal (DOF, 2003). In this study, no organic material

mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, que establece las especificaciones de calidad de lombricomposta producido o comercializado en el territorio nacional, no toma en cuenta los elementos traza (DOF, 2007). Otra referencia que podemos tomar en cuenta para los materiales orgánicos es la NOM-004-SEMARNAT-2002, que establece las especificaciones y límites permisibles de contaminantes en los biosólidos para uso y disposición final (DOF, 2003). En este estudio, ningún material orgánico rebasa los límites máximos para uso agrícola que indica esta norma, que son: 41, 39, 17 y 300 en As, Cd, Hg y Pb mg kg⁻¹ de materia seca respectivamente.

La lista de productos Organic Materials Review Institute (OMRI), que determina los productos que se usan en la agricultura orgánica de acuerdo con las normas establecidas por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (NOP-USDA), especifica en una nota de precaución que se pueden producir niveles de advertencia de elementos traza en ciertos materiales compostados y roca fosfórica, y aclara que su aplicación a la agricultura ecológica no debe contribuir a la contaminación de los cultivos, el suelo y el agua. Los niveles indicativos son de 10 mg kg⁻¹ de As y 90 mg kg⁻¹ de Pb en compostas y de 40 mg kg⁻¹ para la roca fosfórica; para Cd y Hg no se menciona ninguna especificación de precaución (OMRI, 2013). En este estudio, ningún material superó estos niveles de concentración.

Las cantidades de elementos traza que ingresan al suelo por cada 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ ó K₂O aplicados se presentan en la Cuadro 3. En el caso del nitrógeno, los materiales que proporcionan este elemento son: lombricomposta, composta, nitrato chileno, urea, nitrato de calcio y DAP. Resaltan los materiales orgánicos como fuente de elementos traza para el suelo, en este caso, lombricomposta y la composta, que junto con DAP, son las fuentes que más elementos traza ingresan al suelo. La composta de lombriz puede proporcionar 17 139 mg ha⁻¹ de As y DAP puede proporcionar 6 394 mg ha⁻¹ de As, aunque este último material tiene una concentración más elevada que los anteriores (Cuadro 2). La diferencia radica en que para proporcionar 100 unidades de nitrógeno es necesario aplicar 4 761 kg ha⁻¹ de lombricomposta, mientras que con DAP se requieren 555 kg ha⁻¹ (Cuadro 2).

Para Cd, los aportes de lombricomposta y DPA son similares, ambos materiales son las fuentes que más ET ingresan al suelo con 2 190 y 2 057 mg de Cd ha⁻¹, respectivamente. Para Hg, la composta es la única fuente detectable, aunque poco relevante con 231 mg ha⁻¹. En el caso del plomo, una vez más fue la lombricomposta quien presentó el valor

exceeds the maximum limits for agriculture stated in this rule, which are: 41, 39, 17 and 300 in As, Cd, Hg and Pb mg kg⁻¹ of dry matter, respectively.

The Organic Materials Review Institute (OMRI) product list, which determines the products used in organic agriculture according to the standards set by the Department of Agriculture of the United States (USDA-NOP), specified in a caution note that certain composted materials and phosphoric rock may contain trace elements warning levels, and clarifies that its application to organic farming should not contribute to crops, soil and water contamination. The indicative levels are 10 mg kg⁻¹ As and 90 mg kg⁻¹ Pb in compost and 40 mg kg⁻¹ for phosphate rock, for Cd and Hg no caution specification is mentioned (OMRI, 2013). In this study, no material exceeded these concentrations.

The amounts of trace elements entering the soil per 100 kg ha⁻¹ of applied N, P₂O₅ or K₂O are presented in Table 3. Materials providing nitrogen are: vermicompost, compost, Chilean nitrate, urea, calcium nitrate and DAP. Organic materials are a remarkable source of trace elements for the soil, in our study, vermicompost and compost, which together with DAP, are sources providing most trace elements to the soil. The worm compost can provide 17 139 mg ha⁻¹ of As and DAP can provide 6 394 mg ha⁻¹ of As, although the latter material has a higher concentration (Table 2). The difference is that to provide 100 units of nitrogen 4 761 kg ha⁻¹ of vermicompost should be applied, while DAP required 555 kg ha⁻¹ (Table 2).

For Cd, the contributions of vermicompost and DPA are similar both materials are the major TE sources with 2 190 and 2 057 mg ha⁻¹ of Cd, respectively. For Hg, compost is the only detectable source, although not very relevant with 231 mg ha⁻¹. For lead, once again vermicompost showed the highest value of 76 176 mg ha⁻¹ per 100 kg ha⁻¹ of applied N. Chilean nitrate, urea and calcium nitrate fertilizers represent the least significant sources of trace elements in soils. Low trace elements concentration and high nitrogen levels found in them explain this result.

Materials providing phosphorus are: vermicompost, compost, phosphate rock, DAP and TSP. Vermicompost is the major source of trace elements per 100 kg applied P₂O₅, providing 24 000 mg ha⁻¹ As, five times more than the average of compost, DAP and TSP. Phosphate rock provides 24 times less As than vermicompost. However, it should be

más elevado con 76 176 mg ha⁻¹ por cada 100 kg ha⁻¹ de N aplicado. Los fertilizantes nitrato chileno, urea y nitrato de calcio representan las fuentes menos significativas de elementos traza en los suelos. Las bajas concentraciones de elementos traza encontradas en ellos y los altos niveles de nitrógeno explican este resultado.

noted that each phosphate rock is different, concentrations in this material reported by Kabata-Pendias and Pendias (2010) range from 0.4 to 188 ppm As, 1-10 ppm Cd, 10-1000 ppm Hg and < 1-100 ppm Pb. For Cd, once again vermicompost was the most important source, providing 3 066 mg Cd ha⁻¹. Meanwhile, phosphate rock, DAP

Cuadro 3. Ingreso total de elementos traza al suelo (mg ha⁻¹) por cada 100 unidades de fertilizante aplicado en forma de fertilizantes o abonos.

Table 3. Overall trace elements transfer into soil (mg ha⁻¹) per 100 units of fertilizer applied as fertilizer or manure.

Fertilizante/abono	N (100 kg ha ⁻¹)				P ₂ O ₅ (100 kg ha ⁻¹)				K ₂ O (100 kg ha ⁻¹)			
	As	Cd	Hg	Pb	As	Cd	Hg	Pb	As	Cd	Hg	Pb
Uso orgánico	mg kg ⁻¹											
Lombricomposta	17139	2190	*	76176	24000	3066	*	106666	22500	1312	*	100000
Composta	5218	538	231	15127	5403	566	243	15940	6896	724	310	20343
Nitrato chileno	175	*	*	331	na	na	na	na	na	na	na	na
Roca fosfórica	na	na	na	na	996	1792	*	2504	na	na	na	na
Uso convencional												
Urea	*	*	*	87	na	na	na	na	na	na	na	na
Nitrato de calcio	*	*	*	387	na	na	na	na	na	na	na	na
DAP	6394	2057	*	478	4160	1338	*	311	na	na	na	na
SPT	na	na	na	na	5568	1885	13	845	na	na	na	na
Doble uso												
Sulfato de potasio	na	na	na	na	na	na	na	na	*	*	*	156

*no calculado por encontrar concentraciones inferiores del límite de detección del ICP-M. na= no aplica por no ser fuente del nutriente que se indica.

En el caso del fósforo, los materiales que proporcionan este elemento son: lombricomposta, composta, fosfato de roca, DAPy SPT. La lombricomposta es la fuente que aporta más ET en el suelo por cada 100 kg P₂O₅ aplicado, y puede proporcionar 24 000 mg ha⁻¹ de As, cinco veces más que el promedio de la composta, DAPy SPT. La roca fosfórica aporta 24 veces menos As que la lombricomposta. Sin embargo, es preciso señalar que cada roca fosfórica es diferente, los rangos de concentración de este material reportados por Kabata-Pendias y Pendias (2010) varían de 0.4 a 188 ppm de As, 1-10 ppm de Cd, 10-1 000 ppm de Hg y < 1 - 100 ppm de Pb. Para Cd, una vez más la lombricomposta fue la fuente más importante, proporcionando 3066 mg de Cd ha⁻¹. Mientras tanto, la roca fosfórica, DAP y SPT aportan menos de 2 000 mg de Cd ha⁻¹. La composta puede aportar 566 mg ha⁻¹, pero es el mayor proveedor de Hg con 243 mg ha⁻¹. Para Pb, la lombricomposta puede proporcionar 106 666 mg de Pb ha⁻¹, una cantidad mucho más alta que la de los otros materiales, debido a su elevada concentración de Pb y el bajo contenido en P₂O₅.

En el caso de las fuentes de potasio, los materiales que proporcionan este elemento son: lombricomposta, composta y sulfato de potasio. La lombricomposta

and TSP contribute less than 2 000 mg Cd ha⁻¹. Compost can provide 566 mg ha⁻¹, but is the major Hg provider with 243 mg ha⁻¹. Vermicompost can provide 106 666 mg ha⁻¹ of Pb, much higher than other materials because of its high Pb concentration and low P₂O₅ content.

Materials providing potassium are: vermicompost, compost and potassium sulphate. Vermicompost provides the highest amount of As, Cd and Pb; compost and inorganic fertilizers provide medium and lower amounts respectively.

We conclude that TSP and DAP fertilizers were the materials with the highest concentration of TE, and organic materials, compost and vermicompost are the major TE providers for the soil. Yet the estimated quantities do not represent, by themselves, a contamination risk for agricultural soils by a single application. However, it is recommended constant monitoring of TE in the soil-water-plant system over time due to the accumulation and agronomic practices that may alter their dynamics.

End of the English version



provee la cantidad más alta de As, Cd y Pb; la composta y fertilizantes inorgánicos aportan cantidades medias y bajas respectivamente.

Se concluye que los fertilizantes DAP y SPT fueron los materiales que poseen la mayor concentración de ET, y los materiales orgánicos, lombricomposta y composta, los que más ET pueden ingresar a los suelos. Aún así, las cantidades estimadas no representan, por si solos, un riesgo de contaminación de suelos agrícolas por una sola aplicación. Sin embargo, es recomendable el monitoreo constante de ET en el sistema suelo-agua-planta a través del tiempo debido a la acumulación y prácticas agronómicas que puedan alterar su dinámica.

Literatura citada

- Diario Oficial de la Federación (DO). 2003. NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
- Diario Oficial de la Federación (DO). 2007. NMX-FF- 109-SCFI-2007. Humus de lombriz (lombricomposta) - especificaciones y métodos de prueba.
- Kabata-Pendias, A. 2010. Trace elements in soils and plants. 4th ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Oliveira, Z. H. J.; Nelson, M. B.; do Amaral-Sobrinho; Zonta, E.; Marcus, V. L.; Gracioso, M.; Tolón, B. M. 2012. Inputs of heavy metals due to agrochemical use in tobacco fields in Brazil's Southern Region. *Environ Monit Assess. Springer Science+Business Media B. V.* Volume 185, Issue 3, 2423-2437 pp.
- OMRI. 2013. OMRI product list, web edition. http://www.omri.org/sites/default/files/opl_pdf/crops_category.pdf (consultado mayo, 2013).
- Raven, K. P. and Loeppert, R. H. 1996. Microwave digestion of fertilizers and soil amendments. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 27:18-20.
- Raven K. P. and Loeppert, R. H. 1997. Trace element composition of fertilizers and soil amendments. *J. Environ. Qual.* 26:551-557.
- Rodríguez, A. M. O.; Muñoz, U.; Bernardo, C. M.; Montero, Á. A.; Martínez, R. F.; Limeres, J. T.; Orphee, M. M. and Aguilar, A. A. 2012. Heavy metals content in organic manures, substrates and plants cultivated in organoponics. *Cultivos Tropicales.* 33(2):5-12.
- Sabiha-Javied, T.; Mehmood, M.; Chaudhry, M. Tufail, M. and Irfan, N. 2009. Heavy metal pollution from phosphate rock used for the production of fertilizer in Pakistan. *Microchemical Journal.* 91: 94-99.
- Stewart, W. M., D. W. Dibb, A.E. Johnston, and J.T. Smyth. 2005. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agron. J.* 97: 1-6.
- Willer, Helga. 2012. Organic Agriculture Worldwide: Current Statistics. BioFach Congress 2012, Nürnberg, Session «The World of Organic Agriculture» 15.2.2012.
- World Bank. 2013. Fertilizer consumption (kilograms per hectare of arable land). Available at: <http://data.worldbank.org/indicator/AG.CON.FERT.ZS>. (Accessed May 2013).
- World Health Organization. 2010. Ten chemicals of major public health concern. Preventing disease through healthy environments. Action is needed on chemicals of major public health concern. Available at www.who.int/ipcs/features/10chemicals_en.pdf. (Accessed April 2013).