




Rangos permisibles de Cadmio y Plomo en abonos orgánicos utilizados en la producción de alimentos


Mirelys Rodríguez-Alfaro^{1*} 

Olegario Muñoz-Ugarte² 

Clístenes W. Araújo-do Nascimento³ 

Alfredo Montero-Álvarez⁴ 

Bernardo Calero-Martín¹ 

Francisco Martínez-Rodríguez² 

¹Departamento de Suelos y Fertilizantes. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba

²Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba

³Universidad Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil

⁴Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), La Habana, Cuba

*Autor para correspondencia: mirelysr79@gmail.com

RESUMEN

En Cuba, con el fin de encontrar alternativas nacionales para el mantenimiento de la producción agrícola, se potencia la producción y el uso de los abonos orgánicos de diversos orígenes. Sin embargo, es importante mantener un seguimiento sistemático de sus contenidos en metales pesados (MP), pues pueden contaminar los alimentos producidos con ellos; así como disponer de valores permisibles de MP en abonos orgánicos, con los que no se cuenta actualmente en el país. Los objetivos del trabajo fueron evaluar el contenido de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en abonos orgánicos que se utilizan para la producción de hortalizas y determinar los rangos de valores permisibles de estos metales en los abonos orgánicos. La extracción de los MP en las muestras de suelos, abonos orgánicos, sustratos y hortalizas estudiadas se realizó con 9 mL de HNO₃ y 3 mL de HCl utilizando un horno microondas, según la metodología USEPA 3051A y la determinación por Espectrometría de Emisión Óptica. Se establecieron los rangos 140-150 mg kg⁻¹ para el Pb y 2-3 mg kg⁻¹ para el Cd como valores permisibles de estos metales en los abonos orgánicos que se utilizan en la producción de alimentos. Los abonos orgánicos que presenten contenidos elevados de Cd y Pb no pueden utilizarse para preparar sustratos destinados a la producción de alimentos, especialmente hortalizas, porque constituyen riesgos de contaminación para la salud humana.

Palabras clave: metales pesados, compost, contaminación

Recibido: 15/09/2020

Aceptado: 05/07/2021

INTRODUCCIÓN

La producción en organopónicos de la Agricultura Urbana resulta una alternativa a un problema de alta sensibilidad para la población en países subdesarrollados, pues posibilita el abasto de hortalizas frescas, especialmente de hojas y plantas condimentarias durante todo el año ^(1,2). En Cuba, el empleo de abonos orgánicos (AO) de diversos orígenes se considera una alternativa eficaz como nueva forma para la producción de alimentos con bajos insumos ^(3,4). Sin embargo, se conoce que estos materiales orgánicos podrían ser fuente contaminante de metales pesados (MP), por lo que es importante su monitoreo sistemático en cuanto a los contenidos de estos contaminantes metálicos, fundamentalmente cadmio (Cd) y plomo (Pb). Los efectos que provoca la adición de MP en los suelos y su influencia en el desarrollo de las plantas y animales, merecen la atención del hombre porque ponen en peligro la supervivencia en el planeta ^(5,6).

En la actualidad, se incrementa el interés por conocer los contenidos de MP en AO como *compost* de estiércol de diferentes orígenes, cachaza (residuo de la industria azucarera), humus de lombriz, gallinaza, guano de murciélago, residuos de cosecha, lodos residuales, biosólidos y *compost* obtenidos de variadas fuentes; así como sus riesgos a los ecosistemas y a la salud del hombre; lo cual brinda una medida del peligro potencial para su uso y manejo en la producción de alimentos ⁽⁷⁾. En este sentido, el uso de abonos orgánicos, para la producción de hortalizas en la agricultura exige de la elaboración de normas acerca de la generación, colecta, transporte, tratamiento y uso de los mismos. Son pocas las regulaciones al respecto en Cuba y no existe ninguna sobre los valores permisibles de MP en los AO. La elaboración de una legislación al respecto requiere de un largo proceso de investigación y de fundamentación legal que debe cumplirse. Se requiere determinar no solamente los valores permisibles en estos materiales, sino también, las máximas cargas admisibles de los mismos, tanto anual como acumulada ⁽⁸⁾. No obstante, la alta demanda de AO para la producción de alimentos en el país, principalmente por el Programa Nacional de la Agricultura Urbana, Suburbana y Familiar, la alta toxicidad de estos MP ⁽⁷⁾ y que los valores permisibles de los MP en abonos orgánicos aún no están definidos en Cuba, justifican el objetivo del trabajo de establecer los rangos para el Cd y Pb en los abonos orgánicos que se utilizan en la producción de alimentos, particularmente en los organopónicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó a partir del año 2013 hasta el 2018, en el Instituto de Suelos del Ministerio de la Agricultura, con apoyo de la Unidad de Ciencia y Técnica de Base del Instituto de Suelos en Guantánamo, el Laboratorio de Análisis Químico del Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN) del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente y de la Universidad Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Brasil.

Descripción de las variantes y muestreo

Para el estudio se conformaron canteros de 3 m de largo por 1 m de ancho para cada caso, en el Instituto de Suelos y en la Unidad de Ciencia y Técnica de Base del Instituto de Suelos en Guantánamo. La descripción de las variantes se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición del sustrato y cultivos utilizados para la determinación de los valores permisibles de Cd y Pb en abonos orgánicos

Variante	Composición del sustrato	Cultivos	
		Hortalizas de hoja	Hortalizas de frutos
I	50 % Ferralítico rojo típico (SFRT) + 50 % abono orgánico (humus de lombriz)	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> , L. var. BH-15)	Pimiento (<i>Capsicum annuum</i> , L. var. LPD-2)
II	50 % SFRT + 50 % abono orgánico (compost de estiércol vacuno)	Acelga (<i>Beta vulgaris</i> , L. var. White Ribbed)	Rabano (<i>Raphanus sativus</i> , var. Tropical PS-9)
III	50 % SFRT + 50 % abono orgánico (compost de residuos de cosecha)		
IV	50 % SFRT + 50 % abono orgánico (compost de RSU de basura doméstica*).		
V	50 % Pardo Sialítico mullido (SPSM) + 50 % abono orgánico (compost de residuo de cosecha)		
VI	50 % SPSM + 50 % abono orgánico (compost de estiércol vacuno y residuos vegetales)		
VII	50 % SPSM + 50 % abono orgánico (compost de estiércol vacuno)		
VIII	50 % SPSM + 50 % abonos orgánicos (compost de RSU de basura doméstica**)		
IX	50 % Pardo Sialítico cálcico (SPSC) + 50 % abono orgánico (compost de RSU de residuos de cosecha como restos de cultivos de tubérculos, hortaliza y plátano, hojas de árboles frutales y forestales ***)		
X	50 % SPSC + 50 % abonos orgánicos (compost de Estiércol vacuno)		
XI	50 % SPSC + 50 % abonos orgánicos (compost de RSU de basura doméstica**)		
XII	50 % SPSC + 50 % abonos orgánicos (compost de RSU de basura doméstica*)		

SFRT: suelo Ferralítico rojo típico, SPSM: suelo Pardo Sialítico mullido y SPSC: suelo Pardo Sialítico cálcico. RSU: Residuos sólidos urbanos. (*) RSU del CEPRU "Sur Isleta". (**) RSU del CEPRU "Los Cocos". (***) RSU del CEPRU "Vilonio"

Los suelos que se utilizaron para preparar las variantes se clasificaron según la Clasificación de los Suelos de Cuba ⁽⁹⁾ y fueron tomados en zonas de bosques pequeños o secundarios, con un historial de no haber sido fertilizadas, ni utilizadas para la agricultura y la ganadería; así como encontrarse alejadas de fuentes de contaminación por MP en un período de 50 años o más, con lo cual se garantizó una mínima alteración por acción antrópica. Los *compost* de residuos sólidos urbanos (RSU) proveniente de basura doméstica utilizados como abonos orgánicos en las variantes IV, VIII, IX, XI y XII se obtuvieron a partir de los RSU procedentes de los Centros de Procesamiento de Residuos Sólidos Urbanos (CEPRU) "Sur Isleta" y "Los Cocos", que procesan la basura doméstica clasificada antes de

conformar los burros para la producción de *compost* y del CEPRU “Vilonio” que solo procesa residuos de cosecha, en la provincia de Guantánamo. El *compost* de Estiércol Vacuno correspondiente a la variante XI provino del organopónico “Las Margaritas”, ubicado en el municipio Marianao del La Habana y los restantes abonos orgánicos del Centro de Producción de Abonos Orgánicos del Cotorro, en La Habana.

En cada sustrato preparado se sembraron los cultivos que se refieren en la Tabla 1, en forma de sucesión en el siguiente orden (lechuga-acelga y pimiento-rábano). Los suelos y los abonos orgánicos se muestrearon al preparar el sustrato, de forma aleatoria. Las muestras de sustratos se tomaron a una profundidad de 0-20 cm al inicio de la siembra y las hortalizas en el momento de la cosecha. Tanto el muestreo de los sustratos como de las plantas, se realizó en forma de zigzag a lo largo de cada cantero, de acuerdo con la norma ⁽¹⁰⁾. En todos los casos se tomaron tres muestras compuestas de entre 15 y 20 muestras simples cada una. Los suelos, sustratos y los abonos orgánicos muestreados se secaron al aire y se pasaron por un tamiz de 2 mm de acuerdo a la norma cubana ⁽¹¹⁾. Las muestras de plantas se lavaron, secaron en una estufa a 45 °C hasta peso constante y fueron molidas a tamaño de 74 µm.

Extracción y determinación de los contenidos de MP en suelos, sustratos, abonos orgánicos y plantas

La extracción de los contenidos seudototales de Cd y Pb en las muestras de suelos, sustratos, abonos orgánicos y planta se realizó mediante el procedimiento descrito en la Norma USEPA 3051A ⁽¹²⁾. Se pesaron 0,50 g de cada muestra y se le añadieron 12 mL de *aqua regia* invertida, mezcla de ácidos nítrico (HNO₃) y clorhídrico (HCl) puros para análisis (*Merck PA*), en relación 3:1. Se utilizó un horno microondas para la digestión (*Mars Xpress Microwave*), donde se fijaron, para las muestras de suelos, sustratos y abonos orgánicos, 10 minutos para alcanzar el máximo de 175 °C de temperatura, 10 minutos de mantenimiento y 15 minutos para el proceso de enfriamiento; mientras que para las plantas fueron 15 minutos para alcanzar el máximo de 180 °C, 10 de mantenimiento y 15 para el enfriamiento. Para la determinación de los contenidos de Cd y Pb se utilizó un Espectrómetro de Emisión Óptica (*ICP-OES/Optima 7000, Perkin Elmer*).

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico IBM-SPSS 20 con parámetros sencillos de la estadística descriptiva, la media de la población y la desviación estándar como medida de la dispersión. Se utilizó como referencia comparativa para las hortalizas de hojas y de frutos carnosos y de raíces, los valores permisibles para cada elemento, en masa fresca, de acuerdo al *Codex* alimentario ⁽¹³⁾. Para los suelos fueron utilizados los límites permisibles que se describen ⁽¹⁴⁾ y para los sustratos y AO los que aparecen en Normativa ⁽¹⁵⁾.

Determinación de los valores permisibles de Cd y Pb en abonos orgánicos

Con el fin de determinar los rangos permisibles de Cd y Pb en los AO utilizados para la producción de hortalizas, se utilizó una adaptación de la metodología para la obtención de valores críticos de microelementos en suelos, descrita por Trierweiler y Lindsay en 1969 ⁽¹⁶⁾. La adaptación de ésta metodología consistió en separar estadística y gráficamente los AO que contaminaron a las hortalizas utilizadas como plantas indicadoras de la

contaminación por Cd y Pb, de los AO que no contaminaron. Se estableció una relación entre dos pares de variables cuantitativas utilizando la estadística descriptiva mediante el paquete estadístico IBM-SPSS 20. Una variable fue el contenido de Cd y Pb en los abonos orgánicos, el cual se relacionó con el contenido de dichos metales en las hortalizas de hoja (lechuga y acelga) y posteriormente con el contenido en las hortalizas de frutos carnosos y de raíces (pimiento y rábano), siempre utilizando los valores permisibles del *Codex* alimentario ⁽¹³⁾.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenidos de MP en abonos orgánicos, suelos y sustratos

La Tabla 2 muestra el contenido de Cd y Pb en los abonos orgánicos que se utilizaron en cada variante y su comparación con los límites máximos permisibles correspondientes a la norma ⁽¹⁵⁾. Los valores de Cd y Pb en los abonos orgánicos, con la excepción de los compost obtenidos a partir de los RSU de basura doméstica, se encuentran por debajo de los límites permisibles, lo cual afirman que estos abonos orgánicos, desde el punto de vista de sus contenidos en MP, pueden ser utilizados en la producción de hortalizas en los organopónicos, sin causar daños a la salud humana.

Tabla 2. Contenidos de Cd y Pb en suelos y abonos orgánicos que se utilizaron para preparar las variantes y su comparación con los LMP correspondientes

Variante	Abono orgánico, suelos	MP ($X \pm s$) (mg kg ⁻¹)	
		Cd	Pb
I	Humus de lombriz	1,42 ± 0,01	88,63 ± 2,23
II	Compost de estiércol vacuno	1,89 ± 0,06	98,24 ± 6,08
III	Compost de residuos de cosecha	1,94 ± 0,10	100,10 ± 1,03
IV	Compost de RSU de basura doméstica (*)	7,80 ± 0,28	465,83 ± 9,01
V	Compost de residuos de cosecha	1,96 ± 0,07	137,60 ± 2,10
VI	Compost de estiércol vacuno y residuos vegetales	1,92 ± 0,01	134,93 ± 5,09
VII	Compost de estiércol vacuno	3,02 ± 0,05	150,24 ± 4,30
VIII	Compost de RSU de basura doméstica (**)	6,15 ± 0,13	460,80 ± 9,33
IX	Compost de RSU de residuos de cosecha (***)	1,91 ± 0,09	139,10 ± 2,96
X	Compost de estiércol vacuno	3,04 ± 0,23	151,51 ± 5,03
XI	Compost de RSU de basura doméstica (*)	3,63 ± 0,35	151,74 ± 1,06
XII	Compost de RSU de basura doméstica (**)	4,60 ± 0,29	437,52 ± 8,01
SFRT		<1,00	24,35 ± 3,02
SPSC		<1,00	36,95 ± 2,95
SPSM		<1,00	46,09 ± 3,05
LMP ^a		3	180
LMP ^b		3	150

RSU: Residuos sólidos urbanos. (*) RSU del CEPRU "Sur Isleta". (**) RSU del CEPRU "Los Cocos". (***) RSU del CEPRU "Vilonio". SFRT: suelo Ferralítico rojo típico; SPSC: suelo Pardo Sialítico cálcico; SPSM: suelo Pardo Sialítico Mullido ⁽⁸⁾. LMP^a: límite máximo permisible para sustratos ⁽¹⁵⁾.

LMP^b: límite permisible para suelo ⁽¹⁴⁾

Para el caso de los compost de RSU procedentes de la basura doméstica, los contenidos de Cd y Pb se encuentran por encima de los límites establecidos, por contener productos que son fuentes de MP;

por tal razón estos materiales orgánicos no deben usarse para la producción de alimentos. Siendo posible su uso, en dependencia de su contenido en MP, en viveros, forestales y plantas ornamentales. Resultados similares fueron encontrados en otras investigaciones ⁽¹⁷⁾, en las que se refiere que contenidos de Pb en el humus de lombriz obtenido a partir de los RSU, son mayores que en el que se obtiene a partir de la cachaza y el estiércol vacuno, fenómeno que relacionó con materiales presentes en los RSU que son fuentes contaminantes de MP. Los contenidos de Cd y Pb en los suelos SFRT, SPSM y SPSC utilizados para preparar las variantes se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles, por lo que no están contaminados.

En la Tabla 3 se observan las variantes estudiadas, así como los correspondientes límites permisibles. Las variantes donde el abono orgánico utilizado se encuentra contaminado ver (Tabla 2), el sustrato también presenta contenidos superiores a los límites máximos permisibles establecidos para sustratos ⁽¹⁵⁾.

Tabla 3. Contenidos de Cd y Pb en los sustratos preparados para cada variante

Variante	Composición del sustrato	MP (X ± s) (mg kg ⁻¹)	
		Cd	Pb
I	50 % SFRT + 50 % abono orgánico (humus de lombriz)	<1,00	66,46 ± 6,85
II	50 % SFRT + 50 % abono orgánico (compost de estiércol vacuno)	<1,00	98,06 ± 8,37
III	50 % SFRT + 50 % abono orgánico (compost de residuos de cosecha)	<1,00	65,36 ± 6,12
IV	50 % SFRT + 50 % abono orgánico (compost de RSU de basura doméstica*).	9,61 ± 0,63	1 501,50 ± 10,60
V	50 % SPSM + 50 % abono orgánico (compost de residuo de cosecha)	<1,00	132,16 ± 8,07
VI	50 % SPSM + 50 % abono orgánico (compost de estiércol vacuno y residuos vegetales)	<1,00	76,56 ± 7,78
VII	50 % SPSM + 50 % abono orgánico (compost de estiércol vacuno)	2,60 ± 0,10	251,72 ± 28,00
VIII	50 % SPSM + 50 % abonos orgánicos (compost de RSU de basura doméstica**)	9,15 ± 0,59	352,00 ± 5,02
IX	50 % SPSC + 50 % abono orgánico (compost de RSU de residuos de cosecha***)	1,95 ± 0,93	145,00 ± 9,62
X	50 % SPSC + 50 % abonos orgánicos (compost de Estiércol vacuno)	5,48 ± 0,95	399,60 ± 10,69
XI	50 % SPSC + 50 % abonos orgánicos (compost de RSU de basura doméstica**)	5,86 ± 0,32	305,90 ± 8,61
XII	50 % SPSC + 50 % abonos orgánicos (compost de RSU de basura doméstica*)	5,61 ± 0,63	1 301,5 ± 21,07
<i>LMP*</i>		8	300

LMP*: límite permisible para sustratos ⁽¹⁵⁾. SFRT: suelo Ferralítico rojo típico, SPSM: suelo Pardo Sialítico mullido y SPSC: suelo Pardo Sialítico cálcico. RSU: Residuos sólidos urbanos. (*) RSU del CEPRU “Sur Isleta”. (**) RSU del CEPRU “Los Cocos”. (***) RSU del CEPRU “Vilonio”

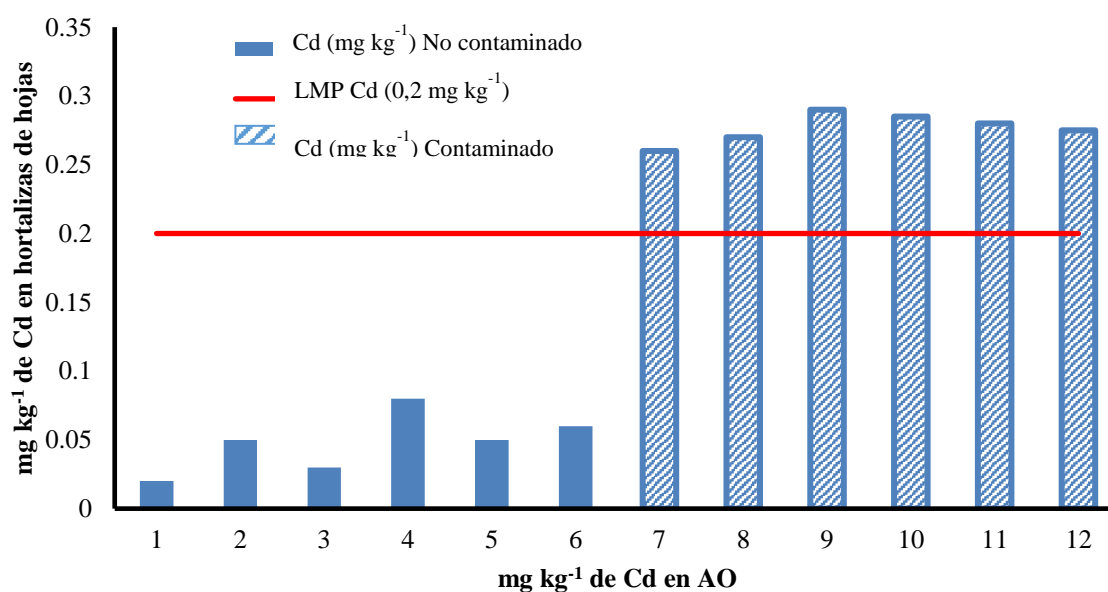
De lo anterior se deriva que la contaminación de los sustratos es debido a los abonos orgánicos, ya que los suelos están por debajo de los LMP. La concentración de los MP en los sustratos resultó variable debido a la heterogeneidad de los materiales. La variabilidad es un elemento importante a considerar porque los valores reales, en algunos puntos, pudieran ser superiores a los obtenidos ⁽¹⁸⁾.

El resultado permite afirmar que estos sustratos contaminados no pueden utilizarse en la producción de alimentos porque pueden traslocarse los MP a las hortalizas producidas con ellos y afectar directamente a los organismos vivos. Los MP, especialmente Cd y Pb, afectan diversos órganos y

tejidos produciendo insuficiencia renal crónica, incremento en colesterol, afectaciones en los huesos, los testículos, la placenta, el hígado, los pulmones, el corazón y el sistema nervioso central y periférico; incluso pueden llegar a provocar cáncer y finalmente la muerte ⁽¹⁹⁻²¹⁾.

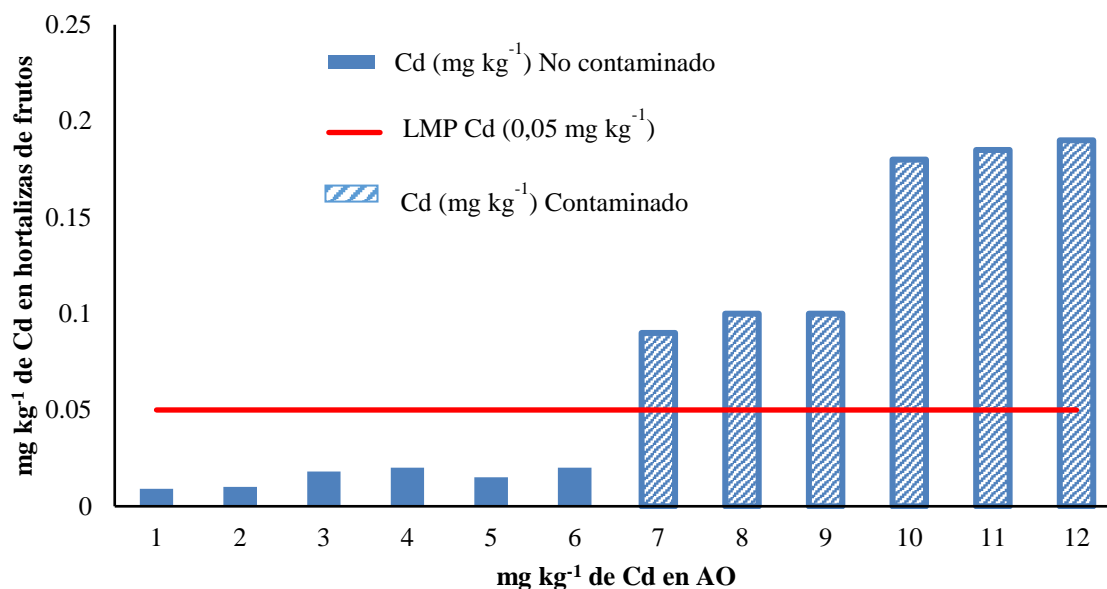
Valores permisibles de Cd y Pb en abonos orgánicos.

Las Figuras 1 y 2 muestran la relación entre los contenidos de Cd en los AO y su contenido en las hortalizas de hojas y de fruto carnosos y de raíces cultivadas con la aplicación de ellos. Cuando la concentración de Cd en el abono orgánico es igual o superior a 3 mg kg^{-1} , su contenido tanto en la hortaliza de hoja como de fruto carnoso o de raíces, cultivada con el uso de ese abono orgánico, sobrepasa el límite máximo establecido por el *Codex Alimentario* utilizados como criterio de evaluación ⁽¹³⁾, lo cual la hace no apta para el consumo humano; por el contrario, cuando el contenido de Cd en el abono orgánico es inferior a 2 mg kg^{-1} no constituye riesgo de contaminación a las hortalizas. Por tal motivo, se puede considerar $2-3 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd en los abonos orgánicos como rango permisible del metal en estos productos, lo cual indica que sólo los AO que presenten concentraciones de Cd por debajo del menor valor del rango, pueden utilizarse en la producción de hortalizas.



LMP Cd: valor límite para las hortalizas de hojas ⁽¹³⁾

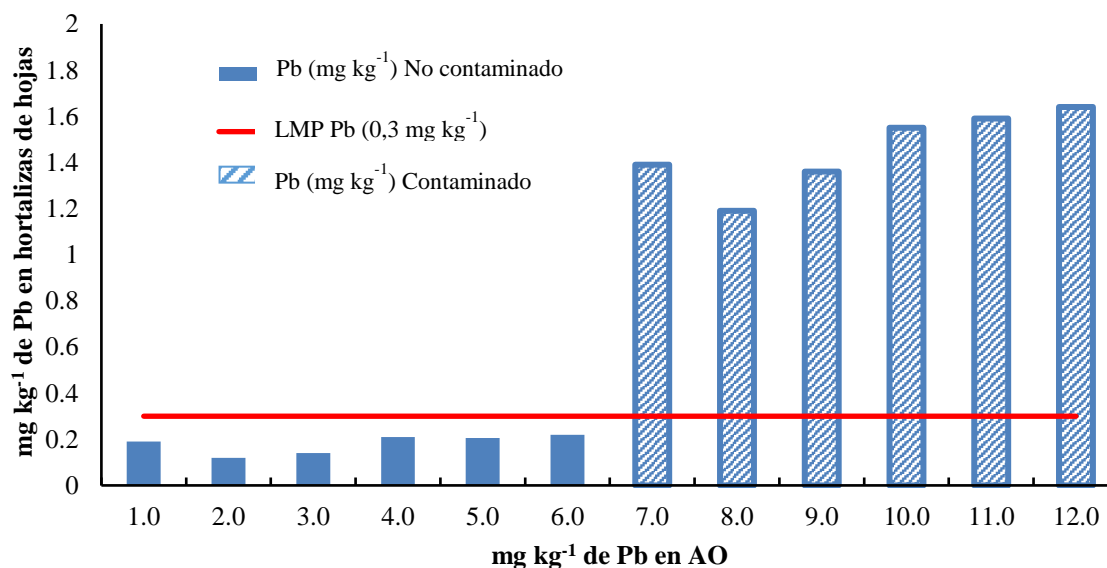
Figura 1. Relación entre los contenidos de Cd en las hortalizas de hojas con el contenido en los AO



LMP Cd: valor límite para hortalizas de frutos carnosos y de raíces ⁽¹³⁾

Figura 2. Relación entre los contenidos de Cd en las hortalizas de frutos carnosos y de raíces con el contenido en los AO

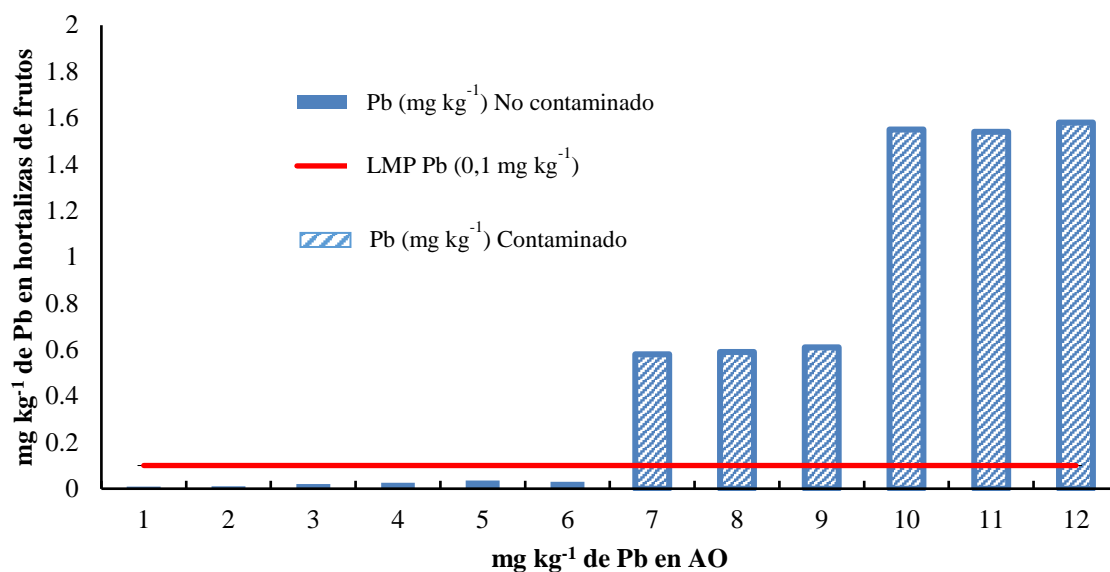
Para el caso del Pb (Figura 3), concentraciones iguales o superiores a 150 mg kg⁻¹ en el abono orgánico contaminan las hortalizas de hojas, de acuerdo con los límites máximos permisibles de MP en las hortalizas frescas. Sin embargo, cuando el valor de Pb en el abono orgánico es inferior a 140 mg kg⁻¹, no ocurre contaminación de los cultivos. De tal forma, se puede plantear que 140-150 mg kg⁻¹ de Pb en los AO es el rango permisible de Pb en estos productos orgánicos, lo cual indica que sólo los AO que presenten contenidos de Pb en los AO por debajo del menor valor del rango, pueden utilizarse en la producción de hortalizas de hojas.



LMP Pb: valor límite para hortalizas de hojas ⁽¹³⁾

Figura 3. Relación entre los contenidos de Pb en las hortalizas de hojas con su contenido en los AO

Cuando se analiza el contenido de Pb en las hortalizas de fruto con relación al contenido de Pb en el abono orgánico utilizado para su producción (Figura 4), se observa un comportamiento similar al encontrado en las hortalizas de hojas, es decir, los AO con valores inferiores a 140 mg kg^{-1} pueden utilizarse para producir hortalizas con bajo riesgo para la salud humana; mientras que, una concentración igual o superior a 150 mg kg^{-1} pueden contaminar las hortalizas que consume el hombre y provocar daños graves a su salud ⁽²²⁾.



LMP Pb: valor límite para hortalizas de frutos carnosos y de raíces ⁽¹³⁾

Figura 4. Relación entre los contenidos de Pb en las hortalizas de frutos carnosos y de raíces con su contenido en los AO

En correspondencia con lo anterior, se establecen los valores $2\text{-}3 \text{ mg kg}^{-1}$ para el Cd y $140\text{-}150 \text{ mg kg}^{-1}$ para el Pb como rangos de límites máximos permisibles de estos metales para los AO que se utilicen en la producción de alimentos, especialmente hortalizas. Esta propuesta coincide con lo referido en la regulación española RD 824/2005 para los *compost* de clase B y clase C, con la Etiqueta Ecológica Decisión 2001/688 y la resolución 2nd Draft B.T/2001 para *compost* de segunda categoría de la Comunidad Europea y con la Instrucción Normativa de Brasil para fertilizantes orgánicos ^(15,23). Resulta necesario profundizar en estos estudios de forma tal que se logre obtener una propuesta final de estos límites máximos permisibles de Cd y Pb.

CONCLUSIONES

- Los rangos permisibles $2\text{-}3 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd y $140\text{-}150 \text{ mg kg}^{-1}$ de Pb en los abonos orgánicos garantizan la producción de alimentos, especialmente hortalizas, libre de estos contaminantes.

- Los abonos orgánicos que presenten concentraciones de Cd y Pb superiores a los límites máximos permisibles, no pueden utilizarse para preparar sustratos destinados a la producción de alimentos porque constituyen riesgos de contaminación para plantas y animales, así como para la salud humana.

REFERENCIAS

1. Fernandez M, Williams J, Figueroa G, Graddy-Lovelace G, Machado M, Vazquez L, et al. New opportunities, new challenges: Harnessing Cuba's advances in agroecology and sustainable agriculture in the context of changing relations with the United States. *Elementa: Science of the Anthropocene* [Internet]. 2018;6. Available from: <https://online.ucpress.edu/elementa/article/doi/10.1525/elementa.337/112850/New-opportunities-new-challenges-Harnessing-Cuba-s>
2. Sánchez Bascónes M, Correa-Guimaraes A, Pérez-Espinosa A, Blanco Covián D, Cabaleiro Núñez F, García-Morales JL, et al. De Residuo a Recurso: El Camino hacia la Sostenibilidad. I Recursos Orgánicos 2. Residuos Ganaderos [Internet]. Mundi-Prensa; 2016. Available from: <https://digital.csic.es/handle/10261/196132>
3. Alfaro MR, Do Nascimento CWA, Ugarte OM, Álvarez AM, de Aguiar Accioly AM, Martín BC, et al. First national-wide survey of trace elements in Cuban urban agriculture. *Agronomy for sustainable development* [Internet]. 2017;37(4):1–7. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-017-0437-7>
4. Martínez F, García C, Gómez LA, Aguilar Y, Martínez-Viera R, Castellanos N, et al. Manejo sostenible de suelos en la agricultura cubana. *Agroecología* [Internet]. 2017;12(1):25–38. Available from: <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/330321>
5. Wei X, Zhou Y, Jiang Y, Tsang DC, Zhang C, Liu J, et al. Health risks of metal (loid) s in maize (*Zea mays* L.) in an artisanal zinc smelting zone and source fingerprinting by lead isotope. *Science of the Total Environment* [Internet]. 2020;742:140321. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720338432>
6. Hu Z, Li J, Wang H, Ye Z, Wang X, Li Y, et al. Soil contamination with heavy metals and its impact on food security in China. *Journal of Geoscience and Environment Protection* [Internet]. 2019;7(05):168. Available from: https://www.scirp.org/html/9-2170976_92760.htm?pagespeed=noscript
7. Dieleman H. Urban agriculture in Mexico City; balancing between ecological, economic, social and symbolic value. *Journal of Cleaner Production* [Internet]. 2017;163:S156–63. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616001311>

8. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants [Internet]. Routledge & CRC Press. 2010 [cited 13/11/2021]. Available from: <https://www.routledge.com/Trace-Elements-in-Soils-and-Plants/Kabata-Pendias/p/book/9781420093681>
9. Hernández-Jiménez A, Pérez-Jiménez JM, Bosch-Infante D, Speck NC. La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. Cultivos Tropicales [Internet]. 2019;40(1). Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362019000100015&script=sci_arttext&tlng=pt
10. Oficina Nacional de Normalización O. Norma Cubana NC 36: 2009. Calidad del Suelo. Método para la determinación de la erosión potencial hídrica. Ed. 2. 12 p. Oficina Nacional de Normalización; 2009.
11. Oficina Nacional de Normalización O. Norma Cubana NC ISO 11464: 1999. Calidad de Suelos. Pretratamiento de las muestras para los análisis fisicoquímicos [Internet]. Oficina Nacional de Normalización; 1999. Available from: <http://ftp.isdi.co.cu/Biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLECCION%20DIGITAL%20DE%20NORMAS%20CUBANAS/1999/NC-ISO%2011464.PDF>
12. United States Environmental Protection Agency U. Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils [Internet]. 2017. Available from: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3051a.pdf>
13. Codex Stan 193-1995. Norma General del CODEX para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos [Internet]. 2018 p. 48. Available from: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf
14. Conselho Nacional do Meio Ambiente C. Resolução no 420, de 28 de dezembro de 2009 [Internet]. Ministerio Do Meio Ambiente; 2009. Available from: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-ac.s.pdf>
15. IN SDA 27. Instrução Normativa SDA nº 27 de 05/06/2006 - Federal - LegisWeb [Internet]. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. [cited 19/10/2021]. Available from: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=76854>
16. Trierweiler JF, Lindsay WL. EDTA-ammonium carbonate soil test for zinc. Soil Science Society of America Journal [Internet]. 1969;33(1):49–54. Available from: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1969.03615995003300010017x>
17. García-Ramos C, Arozarena-Daza NJ, Martínez-Rodríguez F, Hernández-Guillén M, Pascual-Amaro JÁ, Santana-Gato D. Obtención de compost mediante la biotransformación de residuos de mercados agropecuarios. Cultivos Tropicales [Internet]. 2019;40(2). Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362019000200002&script=sci_arttext&tlng=pt

18. Da Silva FBV, do Nascimento CWA, Araújo PRM, da Silva FL, Lima LHV. Soil contamination by metals with high ecological risk in urban and rural areas. *International Journal of Environmental Science and Technology* [Internet]. 2017;14(3):553–62. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13762-016-1170-5>
19. Reyes Y, Vergara I, Torres O, Lagos MD, Jimenez EEG. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*: I2+ D [Internet]. 2016;16(2):66–77. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
20. Alloway BJ. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability [Internet]. Vol. 22. Springer Science & Business Media; 2012. Available from: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-94-007-4470-7>
21. Cai L-M, Wang Q-S, Luo J, Chen L-G, Zhu R-L, Wang S, et al. Heavy metal contamination and health risk assessment for children near a large Cu-smelter in central China. *Science of the Total Environment* [Internet]. 2019;650:725–33. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Limei-Cai-2/publication/327503351_Heavy_metal_contamination_and_health_risk_assessment_for_children_near_a_large_Cu-smelter_in_central_China/links/5fb5db8092851c933f3d5166/Heavy-metal-contamination-and-health-risk-assessment-for-children-near-a-large-Cu-smelter-in-central-China.pdf
22. Dala-Paula BM, Custódio FB, Knupp EA, Palmieri HE, Silva JBB, Glória MBA. Cadmium, copper and lead levels in different cultivars of lettuce and soil from urban agriculture. *Environmental pollution* [Internet]. 2018;242:383–9. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749118308753>
23. Rosal A, Pérez JP, Arcos MA, Dios M. La incidencia de metales pesados en compost de residuos sólidos urbanos y en su uso agronómico en España. *Información tecnológica* [Internet]. 2007;18(6):75–82. Available from: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642007000600010&script=sci_arttext&tlng=en