

EVALUACIÓN DE RIESGOS A LA SALUD POR EXPOSICIÓN A METALES PESADOS EN CERCANÍAS DE SITIOS POTENCIALMENTE PELIGROSOS CON ACTIVIDAD AGRÍCOLA

EVALUATION OF HEALTH RISKS BY EXPOSURE TO HEAVY METALS NEAR TO HAZARDOUS SITES WITH AGRICULTURAL ACTIVITY

Dámarys García Céspedes¹
Susana Olivares Rieumont²
Jorge Luis Santana Romero²
Lázaro Lima Cazorla²
Lourdes Ruiz Gutiérrez³
Pablo Arnaldo Calderón Peñalver⁴
Ibis Ávila Roque⁵

RESUMEN

La presencia de ciertos elementos químicos en el medio ambiente, como los metales pesados (cadmio, plomo, cobre, mercurio, etc.), son consecuencia de su presencia espontánea en la naturaleza o de la actividad humana que incide directamente en los posibles riesgos químicos que su presencia puede generar para la salud humana. En los alimentos de origen vegetal, estos contaminantes pueden ser incorporados mediante técnicas de tratamientos de los cultivos o de tipo medioambiental, que inciden sobre la seguridad de los mismos. El objetivo de este trabajo consiste en evaluar los riesgos a la salud en productores agrícolas y sus familiares por exposición a metales pesados, ubicados en unidades agrícolas en las cercanías del vertedero provincial de la calle 100 en la ciudad de La Habana. Los valores de concentración de metales tóxicos (Cd, Cu, Zn y Pb) obtenidos en las muestras ambientales (suelos y hortalizas), se emplearon para realizar la evaluación del riesgo para la salud humana por concepto de ingestión de metales pesados en los trabajadores agrícolas y sus familiares. Además, se realizó la evaluación por concepto de ingestión de metales pesados presentes en los aditivos agrícolas que aplicaban los trabajadores del área para fomentar la producción de hortalizas. De forma general, se determinó la no existencia de riesgo a la salud por concepto de ingestión de metales pesados para los niños y trabajadores agrícolas del área en estudio.

Palabras clave: evaluación de riesgos a la salud, metales pesados, sitios potencialmente peligrosos

ABSTRACT

The presence of toxic substances in the environment such as heavy metals (cadmium, lead, copper, mercury, etc) can be a consequence of the natural occurrence or due to the human activity. Anthropogenic impact affects the potential hazards of this kind of substances that can affect human health. In foods with plant origin, such contaminants can be incorporated by means of agricultural treatments, and may affect their safety. The aim of this study is to assess the health risks in farmers and their families from exposure to heavy metals in agricultural units located near the provincial landfill "Calle 100" in Havana City. The concentration values of toxic metals (Cd, Cu, Zn and Pb), obtained for environmental samples (soils and vegetables) were used for the assessment of risk to human health by means of heavy metals ingestion. The evaluation was also done taking into account heavy metals ingestion from agricultural additives applied by workers in the area to encourage the production of vegetables. In general, it was determined the non-existence of health risks on account of heavy metal intake for children and agricultural workers in the study area.

Key words: assessment of health risks, heavy metals, hazardous sites

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los riesgos a la salud por problemas ambientales son cada vez mayores y con una característica distintiva, pues no son simplemente un resultado de exposiciones localizadas de formas tradicionales, sino que constituyen el

¹ *Máster en Ciencia y Tecnologías de los Procesos Biotecnológicos, Investigadora Agregado, Profesora Asistente. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba*

² *Doctores en Ciencias Químicas, Investigadores Auxiliares, Profesores Auxiliares. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba*

³ *Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba*

⁴ *Médico especialista de I grado en Medicina Interna, Profesor Asistente. Hospital clínico quirúrgico Salvador Allende, La Habana, Cuba*

⁵ *Médico especialista de I grado en Medicina General Integral, Máster en Salud Ambiental, Investigadora Agregado, Profesora Auxiliar, Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores, La Habana, Cuba*

Correspondencia:

DrC Damarys García Céspedes
Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas,
La Habana, Cuba
E-mail: dgarcia@instec.cu

resultado de presiones más amplias sobre los ecosistemas ¹.

Las consecuencias de la despreocupada forma de desarrollo de la industria química se están comenzando a evidenciar, indicando que las sustancias químicas están alcanzando todos los lugares del planeta y que los seres vivos las están acumulando en sus organismos. Por otro lado, los efectos de esta contaminación ambiental y bioacumulación parecen estar poniendo en grave peligro la salud a nivel global. Muchos de los cientos de sustancias químicas que contaminan nuestro cuerpo son tóxicas también para otros seres vivos ².

El elevado número de compuestos químicos, la variedad de sus posibles efectos adversos y diversas incertidumbres sobre su magnitud clínica y poblacional han generado una preocupación razonable en científicos, médicos y ambientalistas, entre otros profesionales, así como en una parte no desdeñable del resto de la sociedad. ^{3,4}

El desarrollo industrial y el aumento demográfico, así como el incremento de actividades agrícolas, sumados a la propia infraestructura urbanística que servicia a la población, pueden causar contaminación química en las áreas urbanas, potenciando la aparición de sitios potencialmente peligrosos. Las principales causas de sitios contaminados, están generalmente asociadas a prácticas inadecuadas en el manejo y disposición final de sustancias químicas o residuos que las contienen, como resultado de actividades industriales, comerciales o agropecuarias, actuales o pasadas. Los vertederos de residuos sólidos urbanos constituyen sitios potencialmente contaminados ⁵.

Particular importancia tiene en este contexto el desarrollo de diversos subprogramas de la agricultura urbana, que se desarrolla en estos sitios.

Específicamente en nuestro país, estudios en la ciudad de La Habana reportan la presencia de metales pesados en suelos y aguas, vinculados con la actividad pesquera, industrial y agrícola. ^{6,8} Especial preocupación se manifiesta en aquellas áreas agrícolas dedicadas al cultivo de hortalizas, en lugares con una alta densidad poblacional y que son receptores de

contaminantes, como la cuenca del río Almendares ⁹.

Los riesgos químicos son de gran trascendencia sanitaria, pero en muchos casos es difícil relacionar los efectos con un alimento particular. Esto es así porque a través de las cadenas alimentarias un tóxico puede afectar a diversos alimentos, y además, en muchos casos las consecuencias sobre la salud no son inmediatas. En la actualidad existe una gran preocupación por contenidos químicos presentes en los alimentos como son las dioxinas, las micotoxinas (aflatoxinas y ocratoxinas) y los metales pesados ¹⁰.

Por lo señalado anteriormente y dado que la actividad agrícola urbana se encuentra difundida por todo el país y la necesidad de producir alimentos en diferentes condiciones, se propone como objetivo de este trabajo evaluar los riesgos a la salud a los productores agrícolas y sus familiares por ingestión de metales pesados, ubicados en unidades agrícolas en las cercanías del vertedero provincial de la calle 100 en la ciudad de la Habana.

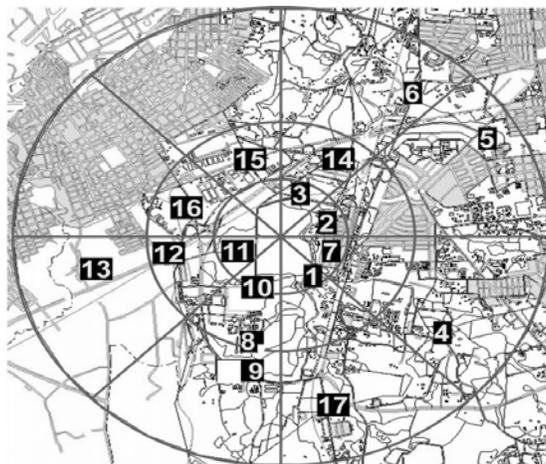
MATERIAL Y MÉTODO

Zona de estudio

La zona de estudio seleccionada incluyó a las modalidades de producción agrícola dedicadas a la producción de hortalizas, ubicadas dentro del área de una circunferencia de 2 km radio aproximadamente a partir del perímetro del vertedero provincial de la calle 100, el mayor aterradero de residuos sólidos urbanos de la ciudad de la Habana como representativo de un sitio potencialmente peligroso.

El área circular se dividió en forma radial en 24 zonas, y se ubicaron 17 estaciones de muestreo o unidades agrícolas de las 24 zonas anteriormente mencionadas, a fin de tener un adecuado nivel de representatividad al ejecutar las mediciones a realizar (figura).

Figura
Macrolocalización del área en estudio



Análisis de las muestras ambientales

El análisis químico para la determinación de los contenidos de los metales pesados cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb), y zinc (Zn) en las muestras de suelos, agua y hortalizas, fue ejecutado entre los meses de enero y marzo de 2007 por el Laboratorio de Análisis Ambiental ¹¹.

Metodología empleada para la evaluación de riesgos a la salud

Para realizar la evaluación de riesgo a la salud humana se tomaron como referencia la metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados propuesta por Díaz-Barriga ¹² y la Metodología de evaluación de riesgos para la salud por exposición a desechos peligrosos propuesta por García et al ¹³. El procedimiento para realizar la evaluación de riesgo se ejecutó por medio de 6 etapas fundamentales, teniendo en cuenta los antecedentes desarrollados por los autores antes mencionados. Considerando que los niños constituyen o forman parte de la población más vulnerable, fueron seleccionados para los fines de este trabajo conjuntamente con los trabajadores agrícolas por encontrarse vinculados directamente con la actividad productiva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar el área de estudio, se constató como evidente la

$$EMG = \frac{\text{MRL o RfD (mg/kg/día)} \cdot \text{PC (kg)}}{\text{TI (kg o L/día)}} \quad (\text{ecuación 1})$$

donde:

| | |
|-------------|--|
| MRL y/o RfD | Dosis de seguridad a la cual el contaminante no causa daño alguno. |
| MRL | Dosis de riesgo mínimo, definido por ATSDR |
| RfD | Dosis de referencia para diferentes sustancias químicas, definido por EPA. |

El peso corporal (PC) de referencia empleado fue de 25 kg para los niños, así como 70 kg para los adultos. Para la tasa de ingestión (TI) de suelo y agua, se tomaron los valores reportados para niños y adultos ¹³.

Se tomó como referencia para el cálculo de la EMEG la dosis de referencia (RfD) reportada en la bibliografía para cada uno de los metales pesados en estudio (tabla 1).

Tabla 1
Dosis de referencia (RfD) para los metales pesados ¹⁴

| Metal pesado | RfD (mg/kg/día) |
|--------------|--------------------|
| Cd | 10 ⁻⁴ |
| Cu | 10 ⁻² |
| Pb | - |
| Zn | 3.10 ⁻¹ |

preocupación de la comunidad por la presencia de contaminación ambiental. Las principales preocupaciones están dadas fundamentalmente por el deterioro de las condiciones ambientales del área (presencia de humos, aerosoles, material particulado, malos olores, presencia de vectores y la incorporación de los lixiviados del vertedero provincial de la calle 100 al río Almendares). Desde el punto de vista epidemiológico, no se evidencia ninguna enfermedad o padecimiento que sea característico de la población en estudio.

A partir de los resultados obtenidos en las evaluaciones de las concentraciones de metales pesados en las muestras ambientales (agua, suelo y hortalizas), se procedió a realizar las determinaciones correspondientes que constituyen la base para realizar la evaluación de los riesgos a la salud por ingestión de metales pesados.

Para la determinación de los contaminantes críticos o de interés, se compararon las concentraciones máximas y promedio con los valores de referencia indicados por la Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades ^{14,15}, denominadas Guía de Evaluación para Medios Ambientales (EMEG, por su sigla en inglés). La EMEG sirve para definir los contaminantes críticos del sitio. El cálculo de la EMEG se obtuvo multiplicando la dosis de riesgo mínimo recomendado por la ATSDR (MRL) o la dosis de referencia de la EPA (RfD) por el peso corporal y dividiendo el producto por la tasa de ingestión diaria de agua, suelo o aditivo analizado. La expresión para el cálculo es la siguiente:

Al no existir dosis de referencia para plomo (Pb), no puede calcularse su EMEG. Por consiguiente, para definir su probabilidad de riesgo, en este trabajo se empleó el valor de 250 mg/kg para niños, que es valor guía calculado para suelo de zonas recreativas de infantes ¹².

En la tabla 2 se observan los resultados obtenidos para el valor de EMEG para las categorías de población en estudios [niños y adultos (trabajadores agrícolas)].

En la tabla 3 se reportan los valores obtenidos para el cociente de la concentración de contaminantes de interés sobre la EMEG para niños y adultos (trabajadores agrícolas) en el suelo, con el objetivo de determinar los sitios críticos (estaciones de muestreo).

Tabla 2
Valores de EMEG obtenidos para las diferentes categorías de población evaluadas

| Metal | Medio | EMEG | |
|-------|--------|------------|-----------|
| | | Niños | Adultos |
| Cd | Agua | 2,5 µg/L | 1,25 µg/L |
| | Suelos | 7,14 mg/kg | 140 mg/kg |
| Cu | Agua | 0,25 mg/L | 0,35 mg/L |
| | Suelos | 0,7 g/kg | 140 g/kg |
| Zn | Agua | 7,5 mg/L | 10 mg/L |
| | Suelos | 21,43 g/kg | 420 g/kg |

Tabla 3
Reporte de estaciones de muestreo críticas a partir de la contaminación por metales pesados en las estaciones de muestreo en estudio para niños (N) y adultos (A) en el suelo

| Estación de muestreo | Concentración metales pesados suelos/EMEG | | | | | | | |
|----------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--|
| | Cd | | Cu | | Pb | | Zn | |
| | N | A | N | A | N | N | A | |
| 1 | 0,290 | 0,014 | 0,095 | 0,004 | 0,267 | 0,013 | 0,00070 | |
| 2 | 0,124 | 0,006 | 0,071 | 0,003 | 0,114 | 0,004 | 0,00020 | |
| 3 | 0,109 | 0,005 | 0,064 | 0,003 | 0,091 | 0,002 | 0,00013 | |
| 4 | 0,033 | 0,001 | 0,076 | 0,003 | 0,072 | 0,003 | 0,00015 | |
| 5 | 0,167 | 0,008 | 0,070 | 0,003 | 0,149 | 0,004 | 0,00024 | |
| 6 | 0,219 | 0,011 | 0,061 | 0,003 | 0,796 | 0,006 | 0,00031 | |
| 7 | 0,126 | 0,006 | 0,087 | 0,004 | 0,144 | 0,010 | 0,00052 | |
| 8 | 0,057 | 0,002 | 0,101 | 0,005 | 0,434 | 0,008 | 0,00043 | |
| 9 | 0,042 | 0,002 | 0,076 | 0,003 | 0,311 | 0,004 | 0,00024 | |
| 10 | 0,049 | 0,002 | 0,080 | 0,004 | 0,230 | 0,005 | 0,00027 | |
| 11 | 0,092 | 0,004 | 0,113 | 0,005 | 0,970 | 0,010 | 0,00052 | |
| 12 | 0,221 | 0,011 | 0,059 | 0,003 | 0,195 | 0,005 | 0,00026 | |
| 13 | 0,086 | 0,004 | 0,061 | 0,003 | 0,102 | 0,002 | 0,00010 | |
| 14 | 0,080 | 0,004 | 0,053 | 0,002 | 0,093 | 0,003 | 0,00016 | |
| 15 | 0,093 | 0,004 | 0,099 | 0,005 | 0,875 | 0,009 | 0,00050 | |
| 16 | 0,116 | 0,005 | 0,065 | 0,003 | 0,335 | 0,005 | 0,00027 | |
| 17 | 0,070 | 0,003 | 0,072 | 0,003 | 0,138 | 0,002 | 0,00012 | |

En los resultados de la tabla se puede observar que no existe cociente igual o superior a 1. Este hecho indica que no existe, a partir de los valores guías ambientales, ninguna estación de muestreo que pueda ser considerada crítica porque los niveles de concentración de los metales pesados alcancen o superen los valores guías ambientales. Tampoco aparece ningún contaminante crítico dentro de los analizados.

El análisis preliminar de las rutas de exposición para los metales en estudio indicó como rutas de mayor interés al suelo y a las hortalizas; no se descarta tampoco el consumo de fitosanitarios y productos químicos por parte de los trabajadores agrícolas como posible ruta de interés a analizar.

Para determinar la estimación del riesgo a la salud,

primeramente se realiza la estimación de la dosis de exposición, que busca conocer aproximadamente la dosis de contaminante que está siendo absorbida por el individuo expuesto.

El cálculo de la estimación de la dosis de exposición por vía oral, se realizó mediante la ecuación siguiente:

$$D = \frac{C \cdot TI}{PC} \cdot FE \quad (\text{ecuación 2})$$

donde:

- D Dosis de exposición estimada (mg/kg/día)
- C Concentración del contaminante en el suelo
- TI Tasa de ingestión diaria de suelo
- PC Peso corporal
- FE Factor de exposición: estimación de biodisponibilidad,

tiempo de exposición y frecuencia de exposición

El factor de biodisponibilidad se tomó para la realización de los cálculos igual a 11 % (0,11), según recomendación de Díaz-Barriga ¹².

Se consideró para los cálculos que el tiempo de exposición fue de un año, y la frecuencia de exposición de

5 días a la semana (FE = 5 días/semana/7 días por semana) x (50 semanas/52 semanas por año) x 1 año/ 75 años x 0,11 = 0,01).

Como resultado de la estimación de la exposición a metales pesados (Cd, Cu, Pb y Zn) por ingesta de suelo para los niños, se obtuvieron los resultados que aparecen en la tabla 4.

Tabla 4
Resultado de las estimaciones de la exposición a metales pesados

| Metal pesado | Dosis de exposición suelo (mg/kg/día) | |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | Niños | Adultos |
| Cd | 2,8.10 ⁻⁷ | 1,5.10 ⁻¹⁰ |
| Cu | 11,4.10 ⁻⁶ | 5,8.10 ⁻⁷ |
| Pb | 3,06.10 ⁻⁵ | 1,56.10 ⁻⁴ |
| Zn | 4,1.10 ⁻⁵ | 2,1.10 ⁻⁶ |

Para el análisis de la ingesta de hortalizas como posible ruta de exposición a metales pesados como contaminantes, se tuvieron en cuenta diferentes escenarios relacionados con las especies y la cantidad de hortalizas a ingerir por la población analizada.

Atendiendo a los resultados de las entrevistas realizadas, se estimó realizar el análisis de ingesta según el patrón de consumo de hortalizas, el cual se realiza de forma combinada con varias especies. Estos datos se obtuvieron por medio de la técnica del plato adicional ¹⁶.

En la tabla 5 se presentan los cálculos de la contribución de los metales pesados analizados a la dosis de exposición por ingestión combinada de hortalizas. Para el cálculo de la estimación de la exposición se tomó la dosis de exposición correspondiente al mayor valor de concentración de metal pesado en las estaciones como escenario de posible mayor peligro. La contribución de cada elemento (Σ) se calculó como el producto de 0,2 kg (correspondiente al nivel de ingesta de 200 g diarios de hortaliza compuesta, consideración hecha para los adultos). Para niños la ingesta considerada fue de 0,04 kg. El por ciento de contribución de cada hortaliza estimado y la concentración máxima hallada para cada metal tóxico analizado (0,01 correspondiente de factor de exposición de estos metales por ingesta).

La dosis de exposición total de exposición por ingestión fue calculada como la sumatoria de las dosis calculadas para los medios suelos y hortalizas para los niños, como se aprecia en la tabla 6.

En tabla 7 se puede observar la sumatoria de los medios ambientales (suelos y hortalizas) para los adultos (trabajadores agrícolas), pero no constituye la dosis total de exposición para los mismos.

Los valores obtenidos corresponden a la mayor exposición posible, o sea, el escenario tomado resultó ser el correspondiente a aquellos suelos que estaban más

contaminados, y el cálculo para la ingesta de hortalizas se realizó con el mayor nivel de contaminación hallado experimentalmente.

Para el caso del plomo, se tomaron los valores de concentración en hortalizas igual al límite de detección del método analítico, como peor escenario para la contaminación con este elemento.

Una vez determinada la dosis total de exposición, se realiza la caracterización del riesgo, donde se analiza si los contaminantes en estudio poseen efecto cancerígeno o no para la salud humana.

En el caso de los contaminantes no cancerígenos, el riesgo se caracteriza teniendo en cuenta elementos como la severidad del efecto a la salud. En el caso específico de los metales pesados, se reportan como sustancias con efecto no cancerígeno cuando se analiza la ingestión como vía más probable de entrada al organismo. Para el cadmio se ha reportado afectación del tracto gastrointestinal, síndrome neurológico y afectación cardiovascular como síntomas de afectación toxicológica ¹⁵. Para el cobre, los problemas a la salud asociados a su ingestión están relacionados con náuseas, vómitos y diarreas ¹⁷.

Para este tipo de sustancias, se realiza el análisis de la relación dosis – respuesta, que comprende la estimación de los efectos adversos para la salud más probables a partir de los valores LOAEL o NOAEL reportados en la bibliografía. Se conoce como LOAEL al nivel más bajo de dosis a partir de la cual se observan efectos adversos para la salud en una población, y NOAEL como los máximos valores de dosis a las cuales no aparecen los síntomas adversos para la salud.

El valor de referencia de NOAEL_{gastrointestinal} para el Cu es de 0,011 mg/kg/día. Los valores de referencia de NOAEL_{neurológico} y NOAEL_{cardiovascular} para el Cd son de 0,2 y 0,53 mg/kg/día, respectivamente. El valor de referencia de NOAEL_{hematológico} para el Zn se consideró igual

a 0,3 mg/kg/día^{15,17}. No existen valores NOAEL de referencia para el plomo.

Los valores de dosis de exposición para un año de consumo continuado de suelo y de hortalizas para los niños, así como los valores de las dosis NOAEL para los metales pesados en estudio y la relación NOAEL/dosis, se muestran en la tabla 8.

Se puede observar que los valores de NOAEL superaron ampliamente a los valores de dosis de exposición determinados para la población infantil expuesta (peor

de los escenarios), por lo que se puede afirmar que no es probable que aparezcan efectos adversos a la salud por concepto de ingestión con los niveles de contaminantes presentes en las rutas de exposición analizadas (suelo y hortalizas) en las estaciones de muestreo. La relación NOAEL/dosis indica cuántas veces pudiera elevarse la dosis de exposición al contaminante sin que aparezcan efectos adversos a la salud, atribuibles a su ingestión en este caso.

Tabla 5
Cálculos de dosis máxima de exposición por ingestión combinada de hortalizas

| N° | Hortalizas | Ingesta promedio (%) | Concentración máxima encontrada para cada metal tóxico en de hortalizas (mg/kg) | | Contribución de cada metal a la dosis de exposición máxima por ingesta de hortalizas (mg/kg/día) | |
|----|------------|----------------------|---|------|--|---|
| | | | Cd | Cu | Cd | Cu |
| 1 | Tomate | 32 | 0,03 | 0,78 | 0,0000192 | 0,000499 |
| 2 | Col | 18 | 0,025 | 0,21 | 0,0000090 | 0,000075 |
| 3 | Lechuga | 15 | 0,06 | 1,87 | 0,0000180 | 0,000561 |
| 4 | Zanahoria | 12 | 0,05 | 0,95 | 0,0000120 | 0,000228 |
| 5 | Habichuela | 11 | 0,03 | 1,36 | 0,0000060 | 0,000299 |
| 6 | Pepino | 9 | 0,025 | 0,42 | 0,0000450 | 0,000756 |
| 7 | Remolacha | 7 | 0,025 | 1,49 | 0,0000350 | 0,002086 |
| 8 | Cebolla | 3 | 0,025 | 0,57 | 0,0000150 | 0,000342 |
| 9 | Acelga | 2 | 0,048 | 0,75 | 0,0000190 | 0,000300 |
| | | | | | $\Sigma a = 0,0003510$ | $\Sigma a = 0,005146$ |
| | | | | | $\Sigma a = 3,51 \cdot 10^{-4} \text{ mg/día}$ | $\Sigma a = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ mg/día}$ |
| | | | | | $\Sigma n = 0,0000702$ | $\Sigma n = 0,0010292$ |
| | | | | | $\Sigma n = 7,02 \cdot 10^{-4} \text{ mg/día}$ | $\Sigma n = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ mg/día}$ |
| | | | | | $\Sigma a/PC = 5 \cdot 10^{-6} \text{ mg/kg/día}$ | $\Sigma a/PC = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ mg/kg/día}$ |
| | | | | | $\Sigma n/PC = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ mg/kg/día}$ | $\Sigma n/PC = 4,1 \cdot 10^{-5} \text{ mg/kg/día}$ |
| | | | Pb | Zn | Pb | Zn |
| 1 | Tomate | 32 | 0,1 | 0,94 | 0,000064 | 0,000601 |
| 2 | Col | 18 | 0,1 | 0,90 | 0,000036 | 0,000324 |
| 3 | Lechuga | 15 | 0,15 | 6,59 | 0,000045 | 0,001977 |
| 4 | Zanahoria | 12 | 0,1 | 5,15 | 0,000024 | 0,001236 |
| 5 | Habichuela | 11 | 0,1 | 8,67 | 0,000022 | 0,001907 |
| 6 | Pepino | 9 | 0,1 | 0,90 | 0,000018 | 0,000162 |
| 7 | Remolacha | 7 | 0,1 | 5,60 | 0,000014 | 0,000784 |
| 8 | Cebolla | 3 | 0,1 | 3,79 | 0,000006 | 0,000227 |
| 9 | Acelga | 2 | 0,1 | 8,61 | 0,000004 | 0,000344 |
| | | | | | $\Sigma a = 0,000233$ | $\Sigma a = 0,007562$ |
| | | | | | $\Sigma a = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ mg/día}$ | $\Sigma a = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ mg/día}$ |
| | | | | | $\Sigma n = 0,0000466$ | $\Sigma n = 0,001512$ |
| | | | | | $\Sigma n = 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ mg/día}$ | $\Sigma n = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ mg/día}$ |
| | | | | | $\Sigma a/PC = 3,3 \cdot 10^{-12} \text{ mg/kg/día}$ | $\Sigma a/PC = 1 \cdot 10^{-10} \text{ mg/kg/día}$ |
| | | | | | $\Sigma n/PC = 1,8 \cdot 10^{-12} \text{ mg/kg/día}$ | $\Sigma n/PC = 6 \cdot 10^{-11} \text{ mg/kg/día}$ |

Tabla 6
Dosis de exposición por ingestión de suelos y hortalizas para niños en el área de estudio

| Medios | Dosis de exposición (mg/kg/día) | | | |
|--------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Cd | Cu | Pb | Zn |
| Suelo | $2,8 \cdot 10^{-7}$ | $11,4 \cdot 10^{-6}$ | $3,06 \cdot 10^{-5}$ | $4,1 \cdot 10^{-5}$ |
| Hortalizas | $2,8 \cdot 10^{-6}$ | $4,1 \cdot 10^{-5}$ | $1,8 \cdot 10^{-12}$ | $6,0 \cdot 10^{-11}$ |
| Suelo y hortalizas | $30,8 \cdot 10^{-7}$ | $52,4 \cdot 10^{-6}$ | $3,06 \cdot 10^{-5}$ | $4,1 \cdot 10^{-5}$ |

Tabla 7
Sumatoria de la dosis de exposición por ingestión se suelo y hortalizas para los trabajadores agrícolas en el área de estudio

| Medios | Dosis de exposición (mg/kg/día) | | | |
|--------------------|---------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | Cd | Cu | Pb | Zn |
| Suelo | $0,015 \cdot 10^{-8}$ | $5,8 \cdot 10^{-7}$ | $1,5 \cdot 10^{-4}$ | $2,1 \cdot 10^{-6}$ |
| Hortalizas | $5,0 \cdot 10^{-6}$ | $7,3 \cdot 10^{-5}$ | $3,3 \cdot 10^{-12}$ | $1,0 \cdot 10^{-10}$ |
| Suelo y hortalizas | $5,02 \cdot 10^{-6}$ | $7,4 \cdot 10^{-5}$ | $1,5 \cdot 10^{-4}$ | $2,1 \cdot 10^{-6}$ |

Tabla 8
Valores de la dosis de exposición para niños en un año de consumo de suelo y hortalizas, dosis NOAEL para los metales pesados en estudio y relación NOAEL/dosis

| | Metal | | | |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | Cd | Cu | Pb | Zn |
| Dosis total de exposición estimada para niños (mg/kg/día) | $30,8 \cdot 10^{-7}$ | $52,4 \cdot 10^{-6}$ | $3,06 \cdot 10^{-5}$ | $4,1 \cdot 10^{-5}$ |
| NOAEL (mg/kg/día) | 0,2 | 0,011 | — | 0,3 |
| NOAEL/dosis | 6667 | 211 | — | 7317 |

Se plantea como recomendación que la relación dosis calculada/MRL o RfD se considere como índice del peligro individual. En el caso que se analiza, estos valores resultaron ser de $30,8 \cdot 10^{-3}$ mg/kg/día para el cadmio, $52,4 \cdot 10^{-4}$ para el cobre y para el cinc $13,7 \cdot 10^{-4}$, útiles para el muestreo diario de la posible ingesta de metales pesados. Estos valores están lejos de ser alcanzados por los niveles de ingesta actuales.

Si se analizan escenarios futuros de riesgo teniendo en cuenta los valores obtenidos, es posible tener una proyección aproximada de probables comportamientos del riesgo para la salud por concepto de ingesta de hortalizas cosechadas en áreas contaminadas con metales pesados.

Si se considera constante el nivel de inclusión de los metales pesados en el suelo y las hortalizas en un período futuro de 10 años, el valor de la dosis de exposición sería correspondientemente diez veces mayor por concepto de aumento del factor de exposición (FE), lo cual no alcanzaría tampoco valores críticos de riesgo a la salud.

Estimación del riesgo a la salud de trabajadores

agrícolas por ingestión de metales pesados por medio de la manipulación de aditivos agrícolas

Otro escenario a considerar lo constituyó el aporte a la ingestión de metales pesados que se realizan por medio de la manipulación de los trabajadores de aditivos agrícolas en la zona objeto de estudio. Entre los aditivos agrícolas que contienen metales pesados más usados en el área de estudio, se pueden citar los fertilizantes minerales, los productos fitosanitarios y los lodos de depuradora.

Autores como Kabata-Pendias y Pendias, y Colomer y Sánchez, reportan diferentes concentraciones de metales pesados que se incorporan a los suelos agrícolas a través de las fuentes antes mencionadas^{18,19}. Al analizar los valores de concentración reportados en la bibliografía internacional para aditivos agrícolas, se puede afirmar que los metales pesados se encuentran en altas concentraciones.

Los valores del contenido de metales pesados reportados en la bibliografía para los fertilizantes minerales y

aditivos fitosanitarios ¹⁷, fueron utilizados para realizar la evaluación de riesgo para la salud de los trabajadores agrícolas por concepto de ingesta de estos aditivos.

Se consideró como escenario de exposición a los aditivos agrícolas (fertilizantes minerales y fitosanitarios) que contienen metales pesados y son ingeridos por los trabajadores agrícolas. El cálculo se realizó según la ecuación 2.

Se consideró para la determinación del factor de exposición que estos productos se aplicaron durante 20 días al año, y se tomó el valor de tasa de ingestión (TI) igual a 50 mg, igual a la reportada para la tasa de ingestión de suelo.

Los resultados de dosis de exposición obtenidos por la aplicación de fertilizantes minerales y fitosanitarios para los trabajadores agrícolas se muestran en la tabla 9.

Tabla 9
Valores obtenidos para la dosis de exposición por aplicación de fertilizantes minerales y fitosanitarios para los trabajadores agrícolas

| Metal | Dosis de exposición por ingesta de (mg/kg/día) | | |
|-----------|--|----------------------|-----------------------|
| | Fertilizantes minerales | Fitosanitarios | Aditivos agrícolas |
| Cd | 6,07.10 ⁻⁸ | 1,3.10 ⁻⁸ | 6,7.10 ⁻⁸ |
| Cu | 1,07.10 ⁻⁷ | 3,6.10 ⁻⁷ | 4,67.10 ⁻⁷ |
| Pb | 1,7.10 ⁻⁷ | 4,3.10 ⁻⁷ | 6,0.10 ⁻⁷ |
| Zn | 3,0.10 ⁻⁷ | 1,8.10 ⁻⁷ | 4,8.10 ⁻⁷ |

Los valores obtenidos corresponden a la mayor exposición posible para ambos aditivos.

En la tabla 10 se muestran los valores de la dosis total de exposición por ingesta de los medios (suelo, hortalizas y de aditivos agrícolas) con las dosis NOAEL para los metales pesados en estudio.

Se puede observar que los valores de NOAEL son

superiores a los valores de dosis total de exposición determinados para los trabajadores agrícolas (adultos), por lo que se puede afirmar que no es probable que aparezcan efectos adversos a la salud por concepto de ingestión de contaminantes presentes en las rutas de exposición analizadas (suelo, hortalizas y aditivos agrícolas) en las estaciones de muestreo.

Tabla 10
Comparación de los valores de la dosis total de exposición por ingesta de los medios (suelo, hortalizas y de aditivos agrícolas) con las dosis NOAEL para los metales pesados en estudio

| | Metal | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| | Cd | Cu | Pb | Zn ¹⁷ |
| Dosis de exposición por ingestión de suelo y hortalizas (mg/kg/día) | 5,02.10 ⁻⁶ | 7,4.10 ⁻⁵ | 1,5.10 ⁻⁴ | 2,1.10 ⁻⁶ |
| Dosis de exposición por aditivos agrícolas (mg/kg/día) | 6,7.10 ⁻⁸ | 4,67.10 ⁻⁷ | 6,0.10 ⁻⁷ | 4,8.10 ⁻⁷ |
| Dosis total de exposición (mg/kg/día) | 5,08.10 ⁻⁶ | 7,44.10 ⁻⁵ | 1,5.10 ⁻⁴ | 2,5.10 ⁻⁶ |
| NOAEL (mg/kg/día) | 2,0.10 ⁻³ | 1,1.10 ⁻² | 2,5.10 ² * | 3,0.10 ⁻¹ |
| Relación dosis/ NOAEL | 3,0.10 ⁻³ | 7,0.10 ⁻³ | 6,0.10 ⁻⁷ | 8,6.10 ⁻⁶ |

* Para el plomo no se establece valor de NOAEL o LOAEL. Se emplea el valor guía de referencia en suelo ¹².

La relación dosis total/NOAEL indica que para los metales pesados estudiados (Cd, Cu y Zn), el riesgo a la salud por ingestión de suelo y hortalizas, así como por la ingestión involuntaria de los aditivos agrícolas producto de la manipulación, no constituye una actividad de riesgo por las cantidades que pueden ser incorporadas potencialmente por los trabajadores.

El análisis de los contenidos de metales pesados en los lodos de depuradora que se aplican en el área de estudio, arrojó resultados que los hace óptimos desde el

punto de vista agrícola ²⁰. Coincidimos con Cueli cuando plantea que los lodos secos que se obtienen durante el proceso de tratamiento de las aguas residuales en las PTARs María del Carmen y Quibú en la ciudad de La Habana, pueden constituir una alternativa para el desarrollo local de la agricultura urbana en esta ciudad; los valores obtenidos para los metales pesados en esos lodos fortalece el criterio de su uso en la agricultura y no existe riesgo de contaminación por concepto de incorporación de metales pesados al medio y a la salud.

A manera de conclusiones, puede plantearse lo siguiente:

1. Ninguna estación de muestreo estudiada es considerada crítica, porque los niveles de concentración de los metales pesados no alcanzan los valores obtenidos para las guías ambientales.
2. Se procede a realizar la evaluación de riesgo debido a las preocupaciones existentes en la comunidad dadas por el deterioro visible de las condiciones ambientales del área en estudio.
3. No existen riesgos para la salud de los niños por concepto de ingestión de los metales pesados presentes en el suelo y las hortalizas en el área de estudio.
4. Los valores alcanzados para la dosis total de exposición para los adultos (trabajadores agrícolas), no ofrecen efectos adversos a la salud por concepto de ingestión de los metales pesados presentes en las rutas de exposición analizadas (suelo, hortalizas y aditivos agrícolas) en las estaciones de muestreo en estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Garea B, Fernández L. Medio ambiente, salud humana y seguridad alimentaria: principales problemas e interrelaciones. Convención de Medio Ambiente. La Habana: Palacio de Convenciones; 2009. ISBN: 978-959-282-079-1.
2. Río S. Colaboración especial. Contaminación química en la infancia: Bioacumulación y efectos potenciales. Revista Española de Salud Pública. 2005;79(2).
3. Porta M, Ballester F, Ribas-Fitó N, Puigdomènech E, Selva J, Llop S. Concentraciones de compuestos tóxicos persistentes en la población general española. Criterios para un diagnóstico de la situación actual. Gac Sanit. 2006;20:233-8.
4. Weinhold B. Body of evidence. Environ Health Perspectives. 2003;111:394A-9^a.
5. Gristo P, Salvarrey A. Guía para la identificación y evaluación preliminar de sitios potencialmente contaminados. 2006. 2^a ed. Proyecto Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo. ISBN 9974-7703-7-8.
6. Domínguez F, Rodríguez J, Díaz C, Pomés R. Caracterización química y de fases de los sedimentos del río Martín Pérez. Revista Cubana de Química. 2000; 129-33.
7. Mora I. Análisis de las aguas del Río Almendares. Tesis de maestría en Química Analítica. La Habana: Facultad de Química, Universidad de La Habana; 2004.
8. Mora I, Villanueva M, Pomares M, Santiago J. Multivariate analysis of Almendares river waters. Memorias del V Congreso Internacional de Química e Ingeniería Química. La Habana; 2004.
9. Olivares S, de la Rosa D, Lima L, Graham DW, D'Alessandro K, Borroto J, Martínez F, Sánchez J. Assessment of heavy metal levels in Almendares river sediments. Water Research. 2005;39:3945-53.
10. Oromí J. Riesgos para la salud asociados a los alimentos. Medicina Integral. 2001;38(1). ISSN:0210-9433.
11. Olivares S, Lima L, de la Rosa D, Enríquez I, Saborit I, García D, Rodríguez MA, Romero P. Niveles de cadmio, plomo, cobre y zinc en vegetales cultivados en la cercanía del aterradoro de Calle 100, Ciudad de La Habana. Informe final. PRCT 'Medio ambiente y desarrollo sostenible cubano'. La Habana: CITMA; 2009.
12. Díaz-Barriga F. Metodología de identificación y evaluación de riesgo para la salud en sitios contaminados. OPS/CEPIS/PUB/99.34. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Mundial de la Salud; 1999. 96 p.
13. García M, Molina E, Terry C, Borroto R, Fernández N. Aspectos metodológicos de la evaluación de riesgos para la salud por exposición a desechos peligrosos. Rev Cubana Hig Epidemiol. 1995;34(2): 114-8.
14. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Evaluación de riesgos en salud por la exposición a residuos Peligrosos (Manual). Atlanta: ATSDR; 1992.
15. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for cadmium. ATSDR, Department of Health and Human Services. TP-99-07; 1992.
16. Santana J. Comunicación personal; 2009.
17. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for zinc. ATSDR, Department of Health and Human Services. TP-05-08; 2005.
18. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 1991.150 p.
19. Colomer J, Sánchez J. Agricultura y procesos de degradación del suelo. In: Agricultura y desertificación, Martín de Santa Olalla F, ed. Madrid: Mundi Prensa S.A.; 2001. p. 109-31.
20. Cueli A. Evaluación de la operación de la PTAR María del Carmen y Quibú con vista a la utilización de los lodos albañales con fines agrícolas. Tesis presentada en opción al título de Ingeniería Hidráulica. La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría; 2009.

Recibido: 16 de febrero de 2011 **Aprobado:** 10 de julio de 2011