

NIVEL DE CONTAMINACIÓN CON METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS Y SUS EFECTOS EN HORTALIZAS EN EL VALLE HIGUERAS, HUÁNUCO

LEVEL OF HEAVY METAL CONTAMINATION IN AGRICULTURAL SOILS AND THEIR EFFECTS IN VEGETABLES IN THE VALLEY HIGUERAS, HUANUCO

FÉLIX RIVEROS VILLA

Universidad Nacional Hermilio Valdizán

e-mail: friverosv@yahoo.com

Recibido el 24 de julio 2014

Aceptado el 15 diciembre 2014

RESUMEN

En los cultivos hortícolas establecidos en la cuenca baja del valle Higuera, los agricultores desarrollan actividades de riego utilizando las aguas del río Higuera, a través de técnicas artesanales, que cubren aproximadamente 340 Has. Su uso ha generado una problemática de contaminación en las especies hortícolas causando deterioro en la calidad de los productos que en su mayoría consumen frescos. El presente estudio se desarrolló en plantaciones de lechuga (*Lactuca sativa*), apio (*Apium graveolens* L), repollo (*Brassica oleracea* L) y brócoli (*Brassica oleracea* itálica); en varias áreas de cultivo de la cuenca baja del río Higuera, analizando los niveles de metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As) y mercurio (Hg) en agua, suelo y en la parte comestible de las plantas. Se encontró que las concentraciones de Cd en el agua de riego estuvieron cercanas a los límites establecidos por las normas vigentes nacionales e internacionales, mientras que los niveles en el suelo de las dos plantaciones estuvieron dentro del rango normal. La lechuga y el apio a los 74 días después del trasplante con 0.40 y 0.30 mg/Kg de peso fresco, respectivamente; presentaron contaminación con Cd superando el límite de la norma de la Unión Europea. Se analizan las posibles razones agroecológicas, fisiológicas y de muestreo para este comportamiento. En las cuatro hortalizas estudiadas, la concentración de Pb superó la concentración máxima permisible en alimentos para lactantes y niños de corta edad establecidos por Unión Europea. En general la lechuga acumuló niveles más altos de metales pesados que las otras plantas.

Palabras clave: metales pesados, hortalizas, contaminación agrícola, concentración, cadmio, plomo, arsénico, mercurio.

ABSTRACT

In horticultural crops grown on the valley downstream Higuera, farmers developed irrigation activities using the water of the river through Higuera craftsmanship covering approximately 340 hectares. Its use has generated a problem a contamination in horticultural species causing deterioration in the quality of the products that are mostly consumed fresh. This study was conducted in plantations lettuce (*Lactuca sativa*), celery (*Apium graveolens* L), cabbage (*Brassica oleracea* L) and broccoli (*Brassica oleracea* italic); in several growing areas downstream of Higuera River, analyzing the levels of heavy metals such as lead (Pb), cadmium (Cd), arsenic (As) and mercury (Hg) in water, soil and edible part of the plants. It was found that the concentrations of Cd in irrigation water were close to the limits set by national and international regulations in force, while levels in the soil of the two plantations were within the normal range. Lettuce and celery at 74 days after transplantation, with 0.40 and 0.30 mg/Kg fresh weight, respectively, were contaminated with Cd surpassing the limit of the standard of the European Union. Potential agro-ecological, physiological and sampling reasons for this behavior are discussed. In the four vegetables studied, the concentration of Pb exceeded the maximum, allowable concentrations in foods for infants and young children established by the European Union. Generally the highest levels lettuce accumulated heavy metals than other plants.

Keywords: heavy metals, vegetables, agricultural pollution, concentration, cadmium, lead, arsenic, mercury.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Higuera tiene una de las estructuras económicas más diversificadas en la ciudad de Huánuco. Está estrechamente relacionada con la utilización de los recursos naturales por medio de actividades como agricultura, minería y transformación industrial. La cuenca del río Higuera se divide en tres tramos, el primero, la cuenca alta que se encuentra en la zona alta de la ciudad de Huánuco, la cuenca media y la cuenca baja que es la que recibe las aguas residuales de la misma ciudad y de algunas poblaciones hasta su desembocadura en el río Huallaga. La cuenca media del río Higuera es la principal fuente de agua para la producción agrícola en las poblaciones rurales de la ciudad de Huánuco, que comprende alrededor de 430 Has. de cultivos hortícolas. En la actualidad, en las áreas agrícolas de la parte baja del río Higuera, existen parcelas donde se cultivan diferentes tipos de hortalizas, las que en algunos casos están siendo regadas con el agua de los vallados (contiene aguas residuales domésticas y aguas de lluvias), que circundan las parcelas y/o de las quebradas y los ríos aledaños, especialmente, el Bogotá (contaminados por vertimientos industriales, aguas del alcantarillado sanitario y con basuras). Por otra parte, se observa que los propietarios y trabajadores de estos cultivos tienen origen campesino, y algunos son personas desplazadas por la violencia, por esta razón traen consigo sus costumbres, creencias y actitudes en especial la producción agrícola se realiza en una forma artesanal, sin contar con la protección y seguridad adecuada para la aplicación de productos químicos y sistemas de riego adecuados, como las hortalizas que son comercializadas en (expendios minoristas, plazas de mercado y supermercados) sin llevar un control de trazabilidad ni las condiciones de éstos, representando un posible riesgo para la salud pública, dentro de estos se tiene la presencia de metales pesados (procedentes de las aguas de riesgo).

En apariencia, la calidad de estos productos es aceptable en el mercado por su forma, peso y textura. Sin embargo, el problema radica en su parte interior, porque además del amplio número

de contaminantes provenientes de las aguas del río Higuera, reciben en sus tejidos concentraciones de metales pesados, que sobrepasan los niveles máximos permisibles de la normatividad en este sentido. Es así, como las hortalizas regadas con el agua del río Higuera albergan en sus tejidos residuos de metales pesados como cromo, plomo, mercurio, cadmio y arsénico. La acumulación de estos elementos en el organismo humano podría generar enfermedades del sistema nervioso, problemas respiratorios y cáncer. Cada vez que se consume una hortaliza de la cuenca del río Higuera, con todos los nutrientes que puede aportar, se reciben residuos de metales pesados que se alojan en los diferentes tejidos del organismo y pueden causar daños irreparables en la salud.

JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta la difícil situación que el mundo de hoy está padeciendo por culpa de fenómenos como el calentamiento global, la inestabilidad en la economía, los conflictos sociales (desplazamiento, desempleo, narcotráfico, violencia), la contaminación, la extinción de especies, los procesos de urbanización e industrialización; las comunidades se ven obligadas a sobrevivir en condiciones vulnerables ante los diferentes riesgos que el entorno les ofrece.

Por tal razón, acuden a lograr su sustento en los pequeños espacios "naturales" que la civilización les ha dejado. En el caso de la ciudad de Huánuco, estos espacios están ubicados en los cerros donde el terreno se torna agreste y por consiguiente de difícil manejo para cultivos. El otro sector está ubicado en la cuenca baja que circunda el río Higuera, incluso en municipios aledaños a la capital, que se ha convertido en la despensa de alimentos del oriente del país. Aunque la ciudad de Huánuco se ha expandido urbanísticamente en todas las direcciones, quedan algunas áreas rurales o periurbanas donde se cultivan de manera muy artesanal alimentos de consumo diario, especialmente de hortalizas y verduras que se caracterizan por ser especies que tienen un ciclo de vida corto. Pero específicamente es en la zona de influencia del río Higuera y sus

afluentes donde se enfoca este estudio, ya que se convierte en el sector de más alto riesgo de contaminación por metales pesados. En primera instancia, porque la corriente de agua ya trae esta clase de residuos desde los residuos agroquímicos a lo largo del recorrido se va alimentando de las erosiones naturales por precipitación pluvial. En el área urbana de la ciudad de Huánuco, las causas de contaminación en los cultivos se originan por diversos factores. En primer lugar, porque en los suelos no se practica la rotación de cultivos ni hay espacios de tiempo de descanso. En segundo lugar, los cultivos son regados con aguas domésticas, residuales e industriales sin ningún tratamiento previo provenientes de las pequeñas industrias y del parque automotor de la ciudad capital. En tercer lugar, como los suelos ya no son productivos, se hace necesario adicionar insumos agros tóxicos para lograr un crecimiento rápido de los alimentos. Como las técnicas de cultivo no son tecnificadas, los resultados tampoco son monitoreados y los productores debido a su condición económica y cultural, no alcanzan a comprender la magnitud de los efectos que conlleva consumir estas verduras, ya sea para comercializar o para consumo propio. Es por esta razón que la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, por medio de este estudio, ha puesto interés en el tema en su jurisdicción para que se empiecen a generar inquietudes y a formular propuestas que mejoren los procesos productivos, el consumo de alimentos sanos, seguros y balanceados, iniciando por determinar las clases de hortalizas que tengan presencia de trazas de elementos pesados en sus tejidos como son: acelga, lechuga, apio, brócoli, tomate, culantro entre otros, que son comercializadas en los mercados a través de los principales centros de distribución como centro de abastos, plaza de mercado y supermercados de cadena.

HIPÓTESIS

Los productos agrícolas de tallo corto a evaluar como verduras y hortalizas están contaminados por metales pesados que son tóxicos por encima de los límites máximos permisibles, como consecuencia del riego con aguas no tratadas del río Higuera, generando un impacto social negativo a la salud ambiental de los consumidores.

Objetivo general

Determinación de metales pesados en hortalizas regados con aguas del río Higuera en las áreas

de cultivo.

Objetivos Específicos

1. Determinar el nivel de concentración de metales pesados en las hortalizas elegidas, regadas con aguas del río Higuera.
2. Establecer los muestreos con base en los puntos donde se hayan identificado cultivos de hortalizas en la cuenca baja del río Higuera.
3. Realizar toma de muestras para análisis toxicológicos de metales pesados tales como cadmio, plomo, arsénico y mercurio.

METODOLOGÍA

Ubicación geográfica de la zona de investigación

El valle o microcuenca Higuera está ubicado en el distrito, provincia y departamento de Huánuco, localizado en la parte central del país. Comprende territorios andinos, ceja de selva, selva alta y selva baja. Por el norte limita con los departamentos de La Libertad, San Martín, Loreto y Ucayali; por el sur, con el departamento de Pasco y por el oeste, con los departamentos de Ancash y Lima. Según el Meridiano de Greenwich la ubicación exacta es la siguiente:

Parte Septentrional	:8° 44' 55"	latitud sur
Parte Meridional	:10° 20' 21"	latitud sur
Parte Oriental	:74° 39' 00"	longitud oeste
Parte Oeste	:77° 30' 00"	longitud oeste

La ciudad de Huánuco tiene una temperatura promedio anual es de 18o a 22o. Existen vientos con dirección norte-sur que se hacen persistentes por las tardes, mientras que la humedad relativa es baja y fluctúa entre 50% a 60 %.

Diseño de investigación en laboratorio

El análisis de laboratorio de las muestras de suelos y productos agrícolas se realizó de acuerdo a la Figura N° 1.

Técnicas de análisis de laboratorio

Se usaron manuales de procedimiento de análisis cuantitativo y cualitativo oficiales y certificados por la entidad competente como son las técnicas SMEWW-APHA-AWWA-WEF estandarizados y software estadísticos, según las normas vigentes para reportes de laboratorio. Se utilizaron los equipos del Laboratorio de Química General y

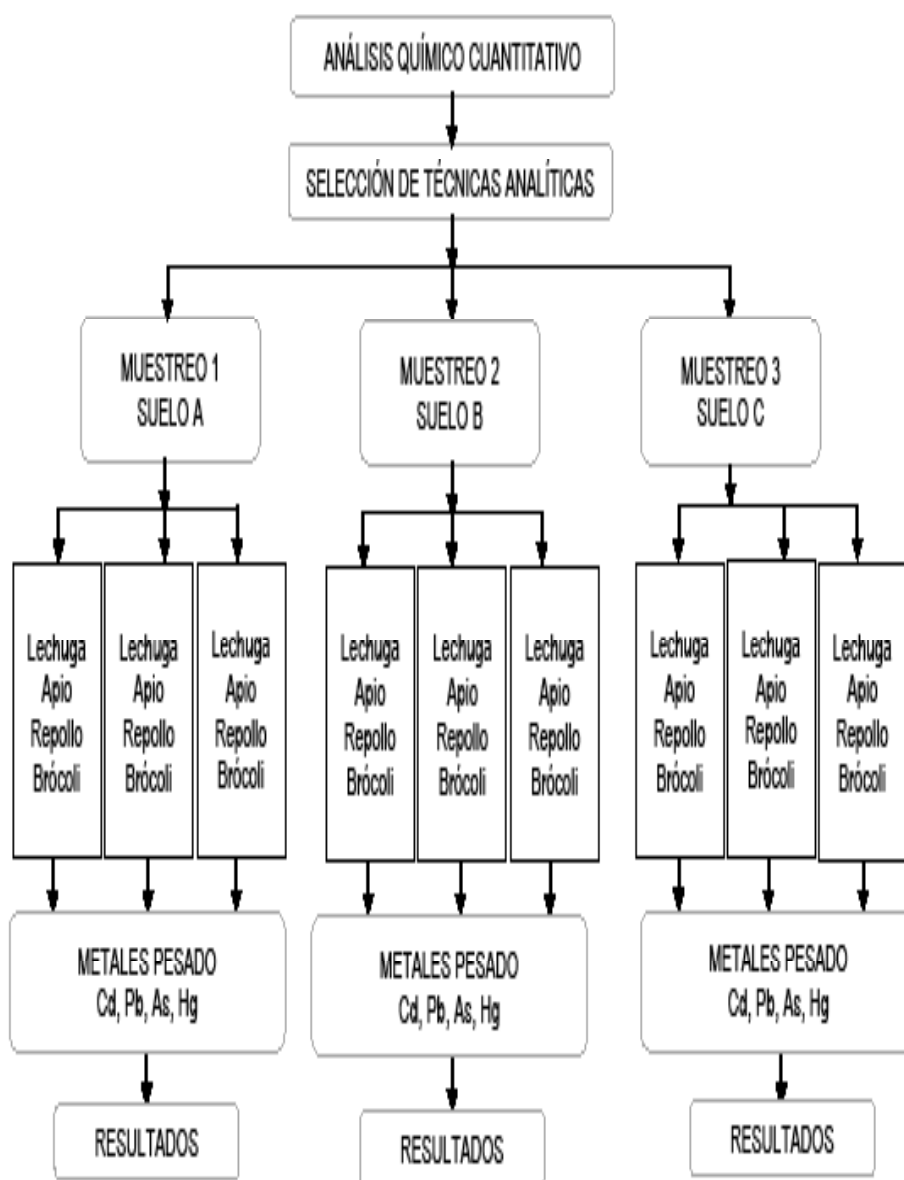
Microbiología de la UNHEVAL. Además, se solicitó a Environmental Laboratories Peru S.A.C. (Lima), según la cotización N° 00016069 para los análisis de metales en agua, suelo y hoja foliar.

Materiales y operaciones de muestreo

El material vegetal estuvo compuesto por la lechuga, repollo, brócoli y el apio, hortalizas que se cultivan en las áreas de cultivo de la cuenca baja del río Higuera. El clima en esta zona está caracterizado por una temperatura media anual de 20°C, una precipitación de 665 mm año y unas 6,5 h de brillo solar por día. En cada muestreo se tomaron muestras de suelo, colectado según

el modelo de muestreo planteado por Osorio & Ruíz (2005), entre 0 y 20 cm de profundidad, de las parcelas correspondientes a cada uno de los cultivos y sus repeticiones. De acuerdo con la topografía de los lotes, se realizó un método de muestreo en equis sobre las áreas de los lotes de cada cultivo (Gómez, 2006). Las muestras de agua, se colectaron directamente de las sequis de riego, 1 L por muestra, y fueron llevadas al Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán y a Environmental Laboratories Peru S.A.C. (Lima), para las determinaciones correspondientes.

FIGURA N°1 DISEÑO DE ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO DE METALES PESADOS EN SUELOS Y PRODUCTOS AGRÍCOLAS DEL VALLE HIGUERAS



RESULTADOS

Metales pesados en aguas de riego

No se presentaron diferencias en el nivel de los metales pesados en el agua según los días del muestreo (Cuadro N.º 1). Siendo los niveles para el uso agrícola en el Perú admisibles hasta 5 mg L⁻¹ para Pb; 0.01 mg L⁻¹ para Cd y 0,1 mg L⁻¹ para As (Ministerio de Agricultura, 1984), el Cd se encuentra en el límite permitido para el riego de los cultivos con el agua del valle. Al comparar este resultado (Cuadro N.º 1) con lo reportado por la CAR (2006) sobre los niveles de Pb y Cd en la cuenca media del río Higuera, estos resultados superaron los valores de 2006, cuando se determinaron niveles de 0.032 mg L⁻¹ Pb y 0.003 mg L⁻¹ Cd. El agua puede ser contaminada por metales pesados de manera natural o a través de diferentes procesos de captación, tratamiento, almacenamiento y distribución, afectando su calidad en el punto final de consumo. La situación actual del valle Higuera con el uso de estas aguas correspondería al tramo de contaminación creciente del río a lo largo del curso del río Higuera hasta desembocar al río Huallaga.

CUADRO N.º 1. Concentraciones de metales pesados en agua para riego. Río Higuera

Días de muestreo	Plomo mg/L	Cadmio mg/L	Arsénico mg/L	Mercurio mg/L
30	<0.045	<0.01	<0.003	<0.0003
68	<0.045	<0.01	<0.003	<0.0003
103	<0.045	<0.01	<0.003	<0.0003

Metales pesados en suelo

Los resultados muestran para Pb, Cd y As concentraciones cercanas a los rangos normales, determinados por Bowie y Thornton (1985). Estos autores establecieron valores de concentración de metales pesados, para Pb entre 10 y 150 mg kg⁻¹; para Cd entre 1 y 2 mg kg⁻¹ y para As entre 5 y 40 mg kg⁻¹, válidos para suelos considerados "normales". Por otro lado, las concentraciones encontradas no superan los máximos aceptables en suelos agrícolas de los países de la Unión Europea, reportados por García-Navarro (2005) con 300 mg kg⁻¹ suelo seco para Pb, 3 mg kg⁻¹ para Cd, 20-50 mg kg⁻¹ para As y 1.5 mg kg⁻¹ para Hg. Sin embargo, los resultados mostraron

incrementos considerables con respecto a los determinados por la CAR (2006) en diversos sectores de la cuenca del río Higuera. La acidez creciente del suelo puede aumentar la solubilidad del Pb, pero su movilización en el caso del suelo empleado en nuestro trabajo pudo deberse a que la materia orgánica del suelo favorece su acumulación, como lo mencionan Kabata y Pendias (2000). La concentración media de Hg para los suelos del mundo, raramente excede los 4 µg kg⁻¹ asociándose principalmente a suelos orgánicos Kabata-Pendias (2000). González y Mejía (1995) encontraron en seis zonas hortícolas diferentes en la cuenca Higuera, regadas con agua de río, niveles de Cd entre 0.95 y 2.00 mg kg⁻¹, en una profundidad entre 0 y 30 cm del suelo, que son muy similares al presente estudio, mientras entre 30 y 60 cm de profundidad las concentraciones de Cd fueron solamente entre 0.65 y 1.40 mg kg⁻¹, lo que muestra la mayor acumulación en la parte superficial del suelo y el peligro para las plantas que enraízan solamente en esta capa. Esta misma tendencia la encontraron González y Mejía (1995) para As con valores entre 6.8 y 12.5 mg g⁻¹ para la zona entre 0 y 30 cm del suelo y entre 5.8 y 9.0 mg kg⁻¹ As en 30 a 60 cm. Bergmann (1993) reporta para el As una concentración máxima 20 mg kg⁻¹ como tolerable en suelos agrícolas y que una buena aireación del suelo disminuye a adsorción de este elemento por la planta. Las condiciones de texturas francas de los suelos de la zona de estudio, posiblemente favorecieron la acumulación de estos metales hasta este grado. En forma general, los metales pesados que ingresan en pequeñas cantidades a los suelos se acumulan en lugares específicos de adsorción donde son retenidos fuertemente en los coloides orgánicos e inorgánicos del suelo (Soto, 2006). Los metales pesados cuando se acumulan en concentraciones excesivas son tóxicos para la mayoría de los organismos y frecuentemente se han reportado efectos tóxicos en los microorganismos del suelo (Giller et al., 1998), especialmente en suelos poco estructurados y con baja materia orgánica (Acevedo et al., 2005), como fue encontrada en la zona del estudio con 4.08% carbono orgánico. García-Navarro (2005) comenta que solo se puede hablar de contaminación por metales pesados cuando el contenido en los mismos excede considerablemente de los valores habituales

en el tipo de suelo que se está considerando, situación no observada en el presente trabajo. Los materiales constitutivos de los suelos como limos y arcillas fueron determinantes en la acumulación y disponibilidad de estos elementos (Soto, 2006).

CUADRO N.º 2. Concentración de metales pesados determinados en suelo cultivado con hortalizas en áreas de cultivo de valle Higuera.

Días de muestreo	Plomo mg/L	Cadmio mg/L	Arsénico mg/L	Mercurio mg/L
30	11.08 a	0.86 b	1.42 b	<0.03 (nd)
68	9.53 b	0.68 c	1.35 c	<0.03 (nd) ³
103	11.83 a	1.73 a	1.75 a	<0.03 (nd)

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); ddt, días después de trasplante; nd, niveles no detectables.

Metales pesados en tejido foliar

Los contenidos de metales pesados en el tejido foliar están ligados a los momentos fisiológicos en los que se llevaron a cabo los muestreos, ya que las plantas tienen diversas rutas metabólicas (Miranda et al., 2008). En esto como en otro estudio relacionado (Ni et al., 2002) no se encontraron síntomas de deficiencia nutricional o de toxicidad visibles en las especies investigadas.

La lechuga y el apio

El Cuadro N.º 3 muestra el comportamiento de los cuatro metales pesados en la parte comestible de las dos hortalizas, observando niveles mayores en la lechuga. El Pb presentó concentraciones altas en las hojas de lechuga a los 74 ddt con 0.20 mg kg⁻¹ (Cuadro N.º 3), que se acercan al valor máximo permitido de 0.30 mg kg⁻¹ para hortalizas de hoja, según la Unión Europea (2006). Se debe resaltar que los valores de Pb, para las dos hortalizas superan el límite para alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad de la Unión Europea (2008) que tienen un máximo de 0.02 mg kg⁻¹. Marschner (2002) afirma que la lechuga es una planta capaz de absorber grandes cantidades de Pb de suelos que se encuentren altamente contaminados. Sobre el efecto del Pb en los cultivos se han demostrado

que valores altos reducen drásticamente el crecimiento, máxime si hay deficiencia de fosfato (Bergmann, 1993), situación que no se evidenció en el presente estudio, donde los contenidos de Pb determinados variaron entre 4.2 y 6 mg L⁻¹, durante los tres muestreos realizados. Montenegro (2000) afirma que la concentración total del Cd en el suelo (fracciones móviles más inmóviles), al igual que la tasa de difusión del elemento móvil a través de la solución del suelo, incide en la cantidad absorbida por las plantas y de estas, es la fracción móvil la que constituye el verdadero riesgo de toxicidad para las plantas. Las concentraciones de Cd en la lechuga y el apio, con 0.40 y 0.43 mg kg⁻¹, a los 74 ddt, superan ampliamente lo establecido por la Unión Europea (2006) con 0.20 mg kg⁻¹.

CUADRO N.º 3. CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS, DETERMINADOS EN TEJIDO FOLIAR FRESCO DE LECHUGA

Nº	Días de muestreo	Plomo mg/L	Cadmio mg/L	Arsénico mg/L	Mercurio mg/L
Lechuga					
1	30 (ddt)	<0.06 (nd)	<0.02 (nd)	0.09	0.07 a
2	74 (ddt)	0.02	0.40 a	0.19 a	0.06 b
3	89 (ddt)	<0.06 (nd)	0.04 b	0.02 c	0.01 b
Apio					
1	30 (ddt)	<0.04 (nd)	0.009 b	0.02 a	<0.003 (nd)
2	74 (ddt)	<0.04 (nd)	0.430 a	0.02 a	<0.002 (nd)
3	89 (ddt)	<0.04 (nd)	0.008 b	0.02 a	0.020

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); ddt, días después de trasplante; nd, niveles no detectables.

Este comportamiento se puede relacionar con varios factores. De acuerdo con las condiciones agroecológicas, un suelo poco encharcado pudo ocasionar una mayor absorción de Cd (Acevedo et al., 2005); sumado a esto, la cercanía de los lotes de muestreo a las factorías que se ubican alrededor del sitio experimental, que favorecen la contaminación aérea, la cual puede influir la concentración en la planta (Bergmann, 1993) en esta fase del cultivo y, posiblemente, la dificultad para retirar la capa contaminante adherida a las hojas muestreadas. Los síntomas más generales de toxicidad por Cd son atrofia y clorosis, esta puede aparecer debido a una interacción directa o indirecta con el Fe, el Zn, el P y el Mn. Das et al. (1998) reportan que

aun cuando los efectos del Cd varían a nivel de especie, e incluso varietal, en general el Cd interfiere en la absorción y transporte de varios elementos (Ca, Mg, P y K) y del agua. González y Mejía (1995) regaron lechugas en bolsas de PE (2 L) con agua contaminada por Cd en 0.1 mg L⁻¹ (que corresponde a una concentración 10 veces mayor que en el estudio presente) lo que aumentó el nivel de Cd en el tejido foliar a 6.12 mg kg⁻¹ PS, concentración muy superior comparada con el límite internacional permitido. Por otro lado, Mc Laughlin et al. (1999) reportan que la acumulación del Cd en las hortalizas puede ser más alta en suelos salinos, que es el caso de los terrenos en la zona de influencia del río Higuera (Carranza et al., 2009), debido a que la formación de complejos entre el Cl y el Cd aumenta la movilidad y la absorción de este por las plantas. Para As y Hg la Unión Europea (2006) no establece niveles tóxicos en hortalizas, solamente para el Hg los ha fijado en 0.5-1.0 mg kg⁻¹ en diferentes tipos de pescado. La absorción de Hg por la lechuga fue menor que la de los otros metales pesados estudiados, debido, muy posiblemente, por la menor concentración en agua (Cuadro N.º 1) y suelo (Cuadro N.º 2) y la fuerte adsorción de los iones Hg en la sustancia orgánica del suelo (Bergmann, 1993). También, es de considerar que la absorción máxima de Hg⁺² ocurre en rangos de pH entre 4,0 y 5,0 (McLaughlin et al., 1999), que fue mayor en el presente estudio y, además, la absorción de Hg se disminuye significativamente con la presencia de Cl (Hogg et al., 1978), situación que está dada por la salinidad del agua y del suelo en la zona de influencia del río Higuera (Carranza et al., 2009).

Repollo y brócoli

En general, la acumulación de los metales Pb y Cd en el tejido comestible de repollo y brócoli (Cuadro N.º 4) fue menor que en el de la lechuga (Cuadro N.º 3), teniendo en cuenta que esta última es un bioacumulador de dichos metales (Mengel et al., 2001). También Bergmann (1993) clasifica la acumulación relativa del repollo para metales pesados como baja a mediana comparada con la lechuga que es alta. No obstante, para el caso del Hg el repollo pasó en la última medición (120 ddt) los niveles encontrados en lechuga. Para el Pb los valores detectados en el tejido foliar fueron <0.05 mg kg⁻¹ e inferiores a los niveles de detección

exacta del equipo (Cuadro N.º 4) y así por debajo de la norma de la Unión Europea (2007) para hortalizas del género Brassica con 0.3 mg kg⁻¹. Teniendo en cuenta que para la elaboración de alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad rigen normas más estrictas, este grupo de población no debería consumir repollo ni brócoli contaminados porque pasan los 0.02 mg kg⁻¹ de Pb en el alimento preparado (Unión Europea, 2008). El Cd en la parte comestible de repollo y brócoli no pasó los niveles máximos establecidos por la Unión Europea (2006) con 0.20 mg kg⁻¹ (Cuadro N.º 4). Verma et al. (2007) modelaron la toma de Cd por la planta de repollo y encontraron un nivel notablemente menor que en zanahoria (máxima absorción) y espinaca (mediana absorción), mientras la toma de Cd por el rábano fue mínimo. Los niveles de As en la localidad de Kotoch fueron mayores que los contenidos medios reportados por Kabata-Pendias (2000) para repollo con 0.02-0.05 mg kg⁻¹ peso seco, los cuales estuvieron entre 0.48 y 0.57 mg kg⁻¹ (PS) que correspondió a 0.04-0.06 mg kg⁻¹ en el (Cuadro N.º 4). Resultado que muestra las concentraciones altas de este metaloide en el repollo en la zona de estudio comparado con el nivel promedio internacional. El Hg encontrado en el tejido comestible de repollo y brócoli (Cuadro N.º 4) fue menor que en lechuga (Cuadro N.º 3), solamente el tercer muestreo en repollo (Cuadro N.º 4) superó a las demás mediciones de este metal, que se podría ver como un efecto de acumulación de Hg en la planta que también se pre-sentó en apio, pero no en brócoli y lechuga (Cuadro N.º 3). Como se mencionó para el caso de la lechuga, por un exceso de Cl- la absorción de Hg⁺ en las partículas minerales del suelo y la materia orgánica disminuye debido a la formación de complejos de Hg-Cl altamente estables que son poco adsorbidos (Acevedo et al., 2005).

CUADRO N.º 4. CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS, DETERMINADOS EN TEJIDO FOLIAR FRESCO DE REPOLLO Y BRÓCOLI.

Nº	Días de muestreo	Plomo mg/L	Cadmio mg/L	Arsénico mg/L	Mercurio mg/L
Repollo					
1	85 (ddt)	<0.05 (nd)	<0.010 (nd)	0.06 a	<0.003 (nd)
2	105 (ddt)	<0.04 (nd)	<0.008 (nd)	0.04 a	<0.002 (nd)
3	120 (ddt)	<0.04 (nd)	<0.008 (nd)	0.05 a	0.150
Brócoli					
1	85 (ddt)	<0.05 (nd)	<0.01 (nd)	0.05 a	<0.003 (nd)
2	105 (ddt)	<0.06 (nd)	<0.01 (nd)	0.05 a	<0.004 (nd)
3	120 (ddt)	<0.05 (nd)	<0.01 (nd)	0.05 a	0.004 (nd)

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); ddt, días después de trasplante; nd, niveles no detectables.

CONCLUSIONES

1. Se observó en el agua de riego, proveniente del río Higuera, que las concentraciones de metales pesados, especialmente el cadmio, están cercanas a los límites establecidos por las normas vigentes nacionales e internacionales. Los resultados mostraron incrementos considerables con respecto a los determinados anteriormente por la CAR en diversos sectores de la cuenca del río Higuera.
2. En el suelo de la plantación hortícola no se encontraron niveles tóxicos de metales pesados estudiados.
3. A los 74 ddt, se presentaron niveles tóxicos del cadmio en la lechuga y el apio que sobrepasan el nivel máximo permitido por la Unión Europea.
4. No se encontró contaminación excesiva por plomo, arsénico y mercurio en las hortalizas investigadas.
5. Sin embargo, las concentraciones de plomo superaron los niveles permitidos en las cuatro hortalizas, para ser usadas en alimentos populares.
6. Los suelos hortícolas urbanos y periurbanos deben ser cuidadosamente monitoreados considerando el riesgo de entrada de metales en la cadena alimentaria.

RECOMENDACIONES

1. Cumplimiento de la legislación ambiental con la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (ECAS) vigente para sistemas de riego agrícola.
2. Realizar permanentemente programas educativos en las áreas rurales de la ciudad de Huánuco sobre gestión ambiental para elevar el nivel de conciencia de los agricultores.
3. La Dirección General de Saneamiento Ambiental (DIGESA) debe controlar periódicamente la calidad de las hortalizas y verduras en los centros de abastos y mercados de la ciudad de Huánuco.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo, E.; M.A. Carrasco; O. León; E. Martínez; P. Sil-va; G. Castillo; I. Ahumada; G. Borie y S. González. 2005. Criterios de calidad de suelo agrícola. Gobierno de Chile, Ministerio de Agricultura (SAG), Santiago.
2. Bergmann, W. 1993. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag, Jena, Alemania.
3. Bowie, S.H.U. e I. Thornton (eds.). 1985. Environmental geochemistry and health. D. Reidel Publishing Company, Lancaster, PA.
4. CAR. 2006. Objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020. Acuerdo No. 43 del 17 de octubre de 2006. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Bogotá.
5. CAR. 1991. Programa de aforo y muestreo de los ríos Bogotá, Ubaté y Suárez y sus afluentes; muestreo a embalses, lagos y lagunas, preservación y transporte de muestras. Informe final. Ingeseries Ltda., Bogotá.
6. CALDERÓN Y CONCHA (2008). "Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura. Departamento Académico de Ingeniería Química - Universidad Nacional de Piura.
7. Carranza, C.; O. Lanchero; D. Miranda y B. Chaves. 2009. Análisis de crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. Agron. Colomb. 27(1), 41-48.

8. Das, P.; S. Smarantay y G.R. Rout. 1998. Studies in Cd tox-icity in plants: A review. *Environ. Pollution* 98, 29-36.
9. FAO. 2007. Código de prácticas de higiene para las frutas y hortalizas frescas. pp. 162-192. En: *Codex alimentarius*. Organización Mundial de la Salud. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
10. García, I. y C. Dorronsoro. 2005. Contaminación por metales pesados. En: *Tecnología de suelos*. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada, España.
11. García-Navarro, A. 2003. Gestión y conservación del suelo. Lección 4. Contaminación del suelo. Contaminantes específicos. Metales pesados. Departamento de Biología y Producción de los Vegetales, Universidad de Extremadura, Badajoz, España.
12. Giller, K.E.; E. Witter y S.P. McGrath. 1998. Toxicity of heavy metals to microorganism and microbial processes in agricultural soils: a review. *Soil Biol. Biochem.* 30(10-11), 1389-1414.
13. Giuffrè, L.; S. Ratto; L. Marbán; J. Schonwald y R. Ro-maniuk 2005. Riesgo por metales pesados en horticultura urbana. *Ciencia del Suelo* 23(1), 101-106.
14. González, S. y L. Mejía. 1995. Contaminación con cadmio y arsénico en suelos y hortalizas de un sector de la cuenca del río Bogotá. *Suelos Ecuatoriales* 25, 51-56.
15. Gómez, M.I. 2006. Manual técnico de fertilización de cultivos. Microfertisa S.A., Produmedios, Bogotá.
16. González, S. y L. Mejía. 1995. Contaminación con cadmio y arsénico en suelos y hortalizas de un sector de la cuenca del río Bogotá. *Suelos Ecuatoriales* 25, 51-56.
17. Hogg, T.J.; K.W.B. Stewart y J.R. Bettany. 1978. Influence of the chemical form of mercury on its adsorption and ability to leach through soils. *J. Envi-ron. Qual.* 7, 440-445.
18. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). 1990. Impacto Ambiental de los Residuos Petroleros en la Amazonía. Iquitos, Perú.
19. Icontec. 2009. Alimentos complementarios para niños lactantes y de corta edad. NTC 1474. Segunda actualización. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Bogotá.
20. Insuasty, L.; H. Burbano y J. Menjivar. 2008. Dinámica del cadmio en suelos cultivados con papa en Nariño, Colombia. *Acta Agron.* 57(1), 51-54.
21. Jansson, G. 2002. Cadmium in arable crops. The influence of soil factors and liming. Tesis Doctoral. De-partment of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suecia.
22. Jarvis, S.C.; L.H.P. Jones y M.J. Hopper. 1976. Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots do shoots. *Panta Soil* 44, 179-191.
23. Kabata-Pendias, A. 2000. Trace elements in soils and plants. 3a. ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
24. Lasat, M.M. 2000. The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil. American Association for the Advancement of Science, Environmental Protection Agency (EPA), Washington DC.
25. Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
26. McLaughlin, M.J., D.R. Parker y J.M. Clarke. 1999. Metals and micronutrients – food safety issues. *Field Crops Res.* 60, 143-163.
27. Mendoza. P.M. 2006. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Publicaciones Server. Universidad de Valencia, España.
28. Mengel, K.; E.A. Kirkby; H. Kosegarten y T. Appel. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Pu-blishers, Dordrecht, The Netherlands.
29. Ministerio de Agricultura. 1984. Decreto 1594 del 26 de junio de 1984 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá.
30. Miranda L., D., C. Carranza y G. Fischer. 2008. Calidad del agua de riego en la Sabana de Bogotá. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
31. Montenegro, R.O. 2002. Contaminación química de suelos y cultivos. Estrategias para la productividad de los suelos agrícolas. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Capitulo Tolima, Bogotá.
32. Ni, W.Z.; X.X. Long y X.E. Wang. 2002. Studies o the criteria of cadmium pollution in growth media of vegetable crops based on the hygienic limit

- of cadmium in food. *J. Plant Nutr.* 25(5), 957-968.
31. Patra, M. y A. Sharma. 2000. Mercury toxicity in plants. *Bot. Rev.* 66, 379-422.
32. Prasad, M.N.V. 1995. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environ. Exp. Bot.* 35(4), 525-545.
33. Queirolo, F.; S. Stegen; M. Restovic; M. Paz; P. Ostapczuk; M.J. Schwuger y L. Muñoz. 2000. Total arsenic, lead and cadmium levels in vegetables cultivated at the Andean villages of northern Chile. *Sci. Total Environ.* 255, 75-84.
34. Reilly, C. 2002. Metal contamination of food. Its significance for food quality and human health. Blackwell Science Ltd., Oxford, UK.
35. Schierup, H. y V.J. Larsen. 1981. Macrophyte cycling of Zn, Cu, Pb and Cd in the littoral zone of a polluted and non-polluted lake. I. Availability uptake and translocation of heavy metals in *Phragmites australis* (Cav.). *Trin. Aquatic Bot.* 11, 179-210.
36. Soto. J.S.H. 2006. Contaminación del río Rimac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono este de Lima metropolitana. Trabajo de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
37. Unión Europea. 2006. Contenido máximo de determinantes contaminantes en los productos alimenticios. Reglamento CE 1831/2006 de la Comisión. Diario Oficial de la Unión Europea 20.12.2006, L 364/5-L364/24.
38. Unión Europea. 2008. Contenidos máximos de determinados contaminantes. En: http://europa.eu/lgislation_summaries/food_safety/contamination_environmental_factors/l21290_es.htm; consulta: noviembre de 2008.
39. Vargas, O. y L. Mejía. 1996. Evaluación de la contaminación por Hg y Pb en suelos hortícolas de la cuenca alta del río Bogotá y del efecto del Hg y Pb de las aguas de riego y de suelos en varias hortalizas. II Simposio Internacional de Geoquímica Ambiental. Ingeominas, Universidad Nacional de Colombia, Cartagena, Colombia.
40. Verma, P., K.V. George; H.V. Singh y R.N. Singh. 2007. Modeling cadmium accumulation in radish, carrot, spinach and cabbage. *Appl. Math. Model.* 31, 1652-1661.
41. Vogeli-Lange, R. y G.J. Wagner. 1990. Subcellular localization of cadmium-binding peptides in tobacco leaves. *Plant Physiol.* 92, 1086-1093.
42. Walter, I.; F. Martínez y G. Cuevas. 2003. Dinámica de los metales pesados en un suelo degradado enmendado con residuos orgánicos urbanos. pp. 367-371. En: Álvarez Benedí, J. y P. Marinero (eds.). *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI.*