

## Artículo Original

# Metales pesados en tres variedades de *Solanum tuberosum* L. (papa) expendidos en el mercado mayorista de Santa Anita (Lima-Perú)

## Heavy metals in three varieties of *Solanum tuberosum* L. (potato) expanded in the wholesale market of Santa Anita (Lima-Peru)

Leavit K. López D. <sup>1</sup>, Mesías M. García O. <sup>2</sup>, Frescia M. Madueño V. <sup>3</sup>, Nelson Bautista C. <sup>4</sup>, Gloria M. Marín V. <sup>5</sup>, Denisse S. Olórtegui C. <sup>1</sup>

Recibido: 10/01/2020 Aceptado: 04/04/2020 Publicado: 31/08/2020

### Resumen

Los alimentos vegetales son contaminados con metales pesados por diferentes vías, constituyendo un riesgo para la salud del consumidor. En este estudio se realizó la cuantificación de los metales pesados: cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y arsénico (As) en tubérculos frescos de tres variedades de *Solanum tuberosum* L. (papa): canchán, huayro y amarilla. Las muestras se recolectaron al azar de 15 puestos del mercado mayorista de Santa Anita, provincia de Lima (Lima – Perú), todos provenientes de la provincia de Ambo, departamento de Huánuco (Perú); de cada variedad se recolectó 15 muestras teniendo un total de 45 muestras. Para la cuantificación de Cd y Pb se utilizó el método de Espectrometría de Masas de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) y para Hg y As se utilizó la Espectrometría de Fluorescencia Atómica (AFS). La concentración de Hg varió de 0,0983 a 0,2594 mg/Kg; Cd de 0,0073 a 0,0287 mg/Kg; Pb de 0,0600 a 0,1018 mg/Kg y As de 0,0003 a 0,0004 mg/Kg. La concentración de Hg en las tres variedades superó ampliamente el límite máximo permitido (LMP) por la Unión Europea (0,02 mg/Kg), por lo que, constituye un alto riesgo para el consumidor. Las concentraciones de Cd y As en las tres variedades se encontraron por debajo del LMP por Codex Alimentarius y Mercosur; asimismo, el Pb en las variedades canchán y huayro se encontraron por debajo del LMP (0,1 mg/Kg); sin embargo, en la variedad amarilla se encontró un valor ligeramente superior al LMP.

**Palabras clave:** *Solanum tuberosum* L.; metales pesados; papa huayro; papa canchán; papa amarilla.

### Abstract

Vegetables foods are contaminated with heavy metals by different routes, being a risk to the health of the consumer. In this study was performed the quantification of heavy metals cadmium (Cd), lead (Pb), mercury (Hg) and arsenic (As) in fresh tubers of three potato varieties of *Solanum tuberosum* L. (potato): canchan, huayro and yellow. The samples were randomly collected from 15 stalls in the wholesale market of Santa Anita, province of Lima (Lima - Peru) all from the province of Ambo, department of Huánuco (Peru); 15 samples were collected from each variety with a total of 45 samples. The quantification of Cd and Pb was performed by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS), meanwhile, for the quantification of Hg and As, was used Atomic Fluorescence Spectrometry (AFS). The Hg concentration ranged from 0,0983 to 0,2594 mg / Kg; Cd from 0,0073 to 0,0287 mg / Kg; Pb from 0,0600 to 0,1018 mg / Kg and As from 0,0003

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica. Lima, Perú.

2 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica. Lima, Perú. E-mail: [mgarciao@unmsm.edu.pe](mailto:mgarciao@unmsm.edu.pe)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7340-4757>

3 Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Medio Ambiente para la Salud (SENSOPAS). Lima, Perú.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4752-5897>

4 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica. Lima, Perú. Autor para correspondencia: [nelson.bautista@unmsm.edu.pe](mailto:nelson.bautista@unmsm.edu.pe)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0932-2332>

5 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica. Lima, Perú. E-mail: [gmarinv@unmsm.edu.pe](mailto:gmarinv@unmsm.edu.pe)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2087-0145>

### Citar como:

López, L., García, M., Madueño, F., Bautista, N., Marín, G. y Olórtegui, D. (2020). Metales pesados en tres variedades de *Solanum tuberosum* L. (PAPA) expendidos en el mercado mayorista de Santa Anita (Lima-Perú). *Ciencia e Investigación* 2020 23(1):25-30. doi: <http://dx.doi.org/10.15381/ci.v23i1.18719>

© Los autores. Este artículo es publicado por la Ciencia e Investigación de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución - No Comercia\_ Compartir Igual 4.0 Internacional. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>) que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

to 0,0004 mg / Kg. The concentration of Hg in the three varieties far exceeded the maximum limit allowed (MLA) by the European Union (0,02 mg / Kg), therefore, it constitutes a high risk for the consumer. Cd and As concentrations in the three varieties were found below the MLA by Codex Alimentarius and Mercosur; likewise, the Pb in the canchán and huayro varieties were found below the MLA (0,1 mg / Kg); however, in the yellow variety was found a value slightly higher than the MLA.

**Keywords:** *Solanum tuberosum*; heavy metals; huayro potato; canchan potato; yellow potato.

## INTRODUCCIÓN

En el organismo humano los metales pesados son necesarios para diversas funciones bioquímicas y fisiológicas; sin embargo, la mayoría de los metales pesados son tóxicos porque no son biodegradables y se acumulan en los organismos vivos por medio de la cadena alimentaria<sup>1</sup>. Los efectos negativos del mercurio (Hg) por la exposición permanente incluyen síndromes digestivos como náuseas, vómitos, diarreas; problemas dentales; neurológicos como irritabilidad, debilidad muscular, pérdida de memoria, demencia, temblor intencional y cambios del estado de ánimo; trastornos renales y oftalmológicos<sup>2</sup>. Cabe destacar que las altas concentraciones de cadmio (Cd) son nocivas para la salud, siendo clasificado como cancerígeno por la “Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer”<sup>1</sup>.

La mayor parte de los metales llegan a los alimentos principalmente de los suelos agrícolas<sup>3</sup>. Los suelos agrícolas contienen de forma natural metales pesados como Cd, Hg, arsénico (As), cromo (Cr) y plomo (Pb); sin embargo, diversas actividades del hombre están implicadas con la contaminación de los suelos. Una de ellas es el uso no controlado de fertilizantes por períodos largos que causan la contaminación de suelos y aguas. Los fertilizantes generan cambios físicos en los suelos, siendo uno de ellos la reducción del pH que favorece la solubilización de los metales aumentando la disponibilidad para la transferencia a los vegetales<sup>4</sup>; asimismo, es preciso indicar que el uso de pesticidas a base de arseniato de plomo y fertilizantes fosfatados son fuentes de contaminación de los suelos con metales como Cd y Pb<sup>1</sup>. Por otro lado, los fertilizantes orgánicos también son una fuente importante de metales como Cd, Cu, Zn, As, Pb y Hg<sup>5</sup>. A estas fuentes de contaminación se suma la actividad minera, una de las mayores fuentes relacionada con la contaminación de los suelos agrícolas con metales pesados<sup>6</sup>. Los metales de la minería llegan a los suelos de cultivo a través de aguas contaminadas<sup>7</sup>. Muchas cuencas hidrográficas están contaminadas con metales pesados. Los metales que llegan a los suelos agrícolas provenientes principalmente de la actividad minera llegan directamente a las cuencas por eliminación de aguas residuales y también a través de las lluvias que los arrastran hacia los ríos y lagos<sup>8</sup>.

Perú es un país con gran actividad minera, la eliminación de los desechos mineros está reglamentada; sin embargo, la vigilancia no está implementada adecuadamente para su cumplimiento. Los efluentes superan altamente los límites establecidos, los metales contaminan las cuencas

hidrográficas directamente o a través de las lixiviaciones arrastrados por las lluvias; además, estas aguas contaminadas son utilizadas para el regadío sin previo tratamiento, lo que provoca la contaminación de los suelos agrícolas<sup>9</sup>.

La presencia de los metales pesados constituye un gran problema, puesto que éstos son absorbidos y acumulados por los alimentos vegetales en las partes comestibles<sup>10</sup>. Con respecto a los metales presentes en muestras de papa, según las evidencias, las aguas de regadío son una fuente importante de la acumulación de metales en este tubérculo, muchos de ellos se acumulan y constituyen un riesgo potencial para la salud humana<sup>3</sup>. Los estudios han demostrado también la existencia de Hg, As, Pb, Cd, Zn, Ni y Cr en hortalizas como: lechuga, rábano, ajo, pimienta, col, calabaza y brócoli<sup>5</sup>.

La papa es uno de los productos alimenticios de consumo masivo; a nivel mundial es consumida por más de un millón de personas en su forma fresca y a través de derivados. Por ser un producto de consumo masivo, cualquier forma de contaminación con los metales pesados constituye un alto riesgo para la salud humana. Perú es uno de los principales productores de papa, se ubica entre el décimo cuarto a décimo octavo puesto en la producción mundial<sup>11</sup>. En la actualidad, la exigencia de inocuidad de los alimentos ha resaltado el control de metales pesados<sup>1</sup>.

La forma de conocer el contenido de metales en los alimentos vegetales como la papa es a través de estudios de cuantificación. En tal sentido, en el presente trabajo se realizó la cuantificación de los metales As, Cd, Pb y Hg en tres variedades de papa: huayro, canchán y amarilla expendidas en el mercado mayorista de Santa Anita (Lima – Perú). Este mercado es uno de los principales centros de acopio de papa provenientes de diferentes zonas de producción del Perú; para este trabajo se consideró las papas provenientes de la provincia de Ambo, departamento de Huánuco (Perú). Huánuco es una de las principales zonas de producción de papa y abastece a los principales mercados de Lima<sup>11</sup>.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Es un estudio descriptivo y prospectivo

### Recolección de muestras

Las muestras de *Solanum tuberosum* L. (papa) se recolectaron de 15 puestos del mercado mayorista del distrito de Santa Anita, provincia de Lima (Perú), mercado que provee el mayor porcentaje de papa a la población de Lima. Se muestrearon al azar 3 variedades de los 15

puestos de venta, las variedades muestreadas fueron huayro, canchán y amarilla, todas provenientes de la provincia de Ambo, departamento de Huánuco (Perú), de cada variedad se recolectaron 15 muestras teniendo en total 45 muestras. La cantidad recolectada de cada muestra fue de 5 Kg, las muestras se colocaron en bolsas de polietileno, se identificó a cada una y se trasladó hacia el laboratorio para la cuantificación de los metales.

### Cuantificación de los metales pesados

Los metales fueron cuantificados en muestras de papa fresca sin cáscara. Para la cuantificación de Cd y Pb, las muestras de cada variedad de papa fueron digeridas con una mezcla de ácido nítrico-ácido perclórico-ácido fluorhídrico ( $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4\text{-HF}$ ) y se cuantificaron mediante espectroscopía de masas de plasma acoplada inductivamente (ICP-MS)<sup>5,12</sup>; para la cuantificación de As y Hg las muestras fueron digeridas con agua regia y se determinaron por espectrometría de fluorescencia atómica (AFS)<sup>5</sup>. El ICP-MS es un método que permite una detección multielemental y tiene una gran sensibilidad<sup>5</sup>.

### Límites máximos permitidos (LMP)

Para la comparación de los valores de los cuatro metales en las tres variedades de papa, se han considerado las normas internacionales, puesto que no existe norma peruana. El límite máximo permitido (LMP) de la Unión

Europea<sup>13</sup> para el Hg es de 0,02 mg/Kg; para el Pb y Cd según el Codex Alimentarius<sup>14</sup> y Mercosur<sup>15</sup> es de 0,1 mg/Kg y para As según Mercosur es de 0,2 mg/Kg.

### Análisis estadístico

Las diferencias significativas de los valores de cada metal en las tres variedades de papa fueron analizados a través de ANOVA utilizando la prueba estadística de Tukey con una confianza de 95 % ( $p < 0,05$ ). El programa estadístico utilizado fue STATGRAPHICS Centurión XVII.

## RESULTADOS

En la tabla 1 se evidencia que, la papa amarilla tiene el mayor contenido de Cd, Hg y Pb, y al igual que las otras variedades tiene muy baja cantidad de As. Existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los valores de Hg, siendo la amarilla la que tiene el mayor valor ( $0,2594 \pm 0,0136$  mg/Kg), mientras que, entre las variedades canchán y huayro no hay diferencias significativas. En cuanto al contenido de Pb, existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para las tres variedades de papa, siendo la amarilla la de mayor valor ( $0,1018 \pm 0,0151$  mg/Kg). En el contenido de Cd existe diferencias significativas para las tres variedades. En el contenido de As no existe diferencia significativa entre las variedades amarilla y canchán.

**Tabla 1.** Contenido de metales pesados en las tres variedades de *Solanum tuberosum* L. (papa).

Variedad de papa	Concentración de metales (mg/Kg)			
	Hg	Pb	Cd	As
Amarilla (n=15)	0,2594±0,0136 <sup>a</sup>	0,1018±0,0151 <sup>a</sup>	0,0287±0,0052 <sup>a</sup>	0,0004±0,0001 <sup>a</sup>
Huayro (n=15)	0,1083±0,0182 <sup>b</sup>	0,0509±0,0080 <sup>b</sup>	0,0073±0,0014 <sup>b</sup>	0,0003±0,0001 <sup>b</sup>
Canchán (n=15)	0,0983±0,0242 <sup>b</sup>	0,0600±0,0215 <sup>c</sup>	0,0086±0,0011 <sup>c</sup>	0,0004±0,0001 <sup>a</sup>
Valor p < 0,05 es significativo	0,0020	0,0003	0,0010	0,0220

**Nota:** Las medias  $\pm$  DS (n=15) con las letras diferentes en los superíndices indican la existencia de diferencias significativas en la concentración de cada metal por variedades de acuerdo con la prueba de Tukey a un intervalo de confianza al 95%.

**Tabla 2.** Comparación de las medias de los metales pesados en las muestras con los límites máximos permitidos (LMP) para papa en mg/kg según Codex Alimentarius, Unión Europea y Mercosur

Metales	Variedades de papa	Medias en mg/Kg	Límite máximo permitido en mg/Kg		
			Codex Alimentarius <sup>14</sup>	Unión Europea <sup>13</sup>	Mercosur <sup>15</sup>
Hg	Amarilla	0,2594			
	Huayro	0,1083	---	0,02	---
	Canchán	0,0983			
Pb	Amarilla	0,1018			
	Huayro	0,0509	0,1	---	0,1
	Canchán	0,0600			
Cd	Amarilla	0,0287			
	Huayro	0,0073	0,1	---	0,1
	Canchán	0,0086			
As	Amarilla	0,0004			
	Huayro	0,0003	---	---	0,2
	Canchán	0,0004			

En tabla 2 se muestra que, el contenido de Hg se encuentra muy por encima del límite máximo permitido (LMP) por la Unión Europea<sup>13</sup>; el contenido de Pb para las papas huayro y canchán se encuentran por debajo del LMP; sin embargo, para la amarilla se encuentra ligeramente por encima del LMP; el contenido de Cd para las tres variedades de papa se encuentra por debajo de los límites máximos establecidos por Codex Alimentarius<sup>14</sup> y Mercosur<sup>15</sup>; y el contenido de As en las tres variedades se encuentra muy por debajo del LMP de Mercosur.

La figura 1 muestra claramente que los valores de Hg en las tres variedades de papa supera ampliamente los LMP de la Unión Europea<sup>13</sup>; además evidencia que, el contenido de Hg es más de 12,5 veces para la papa amarilla, y para canchán y huayro el contenido es más de 5 veces del límite máximo permitido. También se observa que el contenido de Pb de la papa amarilla supera ligeramente el LMP de Codex Alimentarius y Mercosur.

### DISCUSIÓN

Perú es un país con alta actividad minera, los yacimientos mineros operan principalmente en la región andina realizando sus trabajos a tajo abierto y muchos de ellos se encuentran dentro de las cuencas hidrográficas provocando la contaminación con metales pesados de los suelos, el aire y las aguas. Las aguas contaminadas son utilizadas en la agricultura y consumo humano. Los metales llegan a los terrenos de cultivo a través de las aguas de regadío contaminadas y arrastrados por las lluvias<sup>12,16</sup>. Otra de las actividades humanas que provoca la contaminación de los suelos agrícolas con metales pesados es el uso de pesticidas y fertilizantes fosfatados, en Perú no está controlado el uso de estos productos, por lo que, los

agricultores utilizan pesticidas con contenido de metales; asimismo, los fertilizantes fosfatados son utilizados en exceso y por largos períodos<sup>17,18</sup>; como evidencia de este problema es la presencia de metales pesados en alimentos de origen animal y pesticidas en alimentos de origen vegetal según el Informe de Monitoreo de Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA)<sup>19</sup>.

En la tabla 1 se evidencia que, existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los contenidos de Cd y Pb para las tres variedades de papa. No existen diferencias significativas en el contenido de Hg para las variedades canchán y huayro, pero para la amarilla si existen diferencias significativas con respecto a las otras dos variedades según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). El contenido de As encontrado para las tres variedades fue mínimo, se observa que, no existe diferencias entre las variedades amarilla y canchán. Para los cuatro metales pesados cuantificados en las tres variedades de papa, la amarilla es la que tiene el mayor valor.

Según la tabla 1, la papa amarilla tiene alto contenido de Hg. El Hg es un metal altamente volátil y tóxico, provienen de la actividad minera de oro y el uso de fertilizantes y pesticidas<sup>1</sup>. En Perú existen mineras dedicadas a la extracción de oro, además es preciso resaltar que, por falta de control y asesoría técnica los agricultores utilizan los pesticidas y fertilizantes en forma excesiva. Estos factores explicarían la alta concentración de Hg en las tres variedades de papa. Cabe destacar que, en un estudio realizado en China, se reportaron concentraciones elevadas de Hg total encontrándose en las partes comestibles de los vegetales, además se determinó que, según los estudios de correlación, los suelos son una fuente importante de metales en los vegetales<sup>20</sup>.

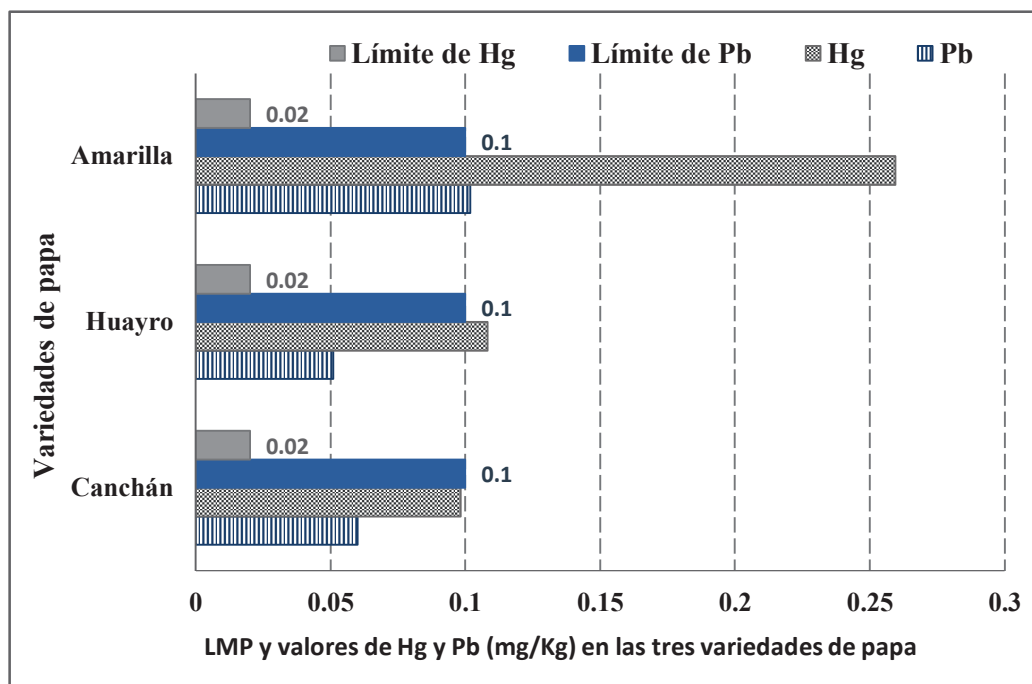


Figura 1. Comparación de los valores de Hg con los LMP de la Unión Europea y valores Pb con los LMP Codex Alimentarius y Mercosur en las tres variedades de papa.

Dentro de los cuatro metales estudiados, el As es el que se encuentra en muy baja cantidad en las tres variedades de papa. Las fuentes de contaminación de suelos con arsénico son: la actividad minera y el uso de pesticidas; es preciso destacar que, el pH del suelo influye en la transferencia a los vegetales, es así a pH menores a 5 existe mayor transferencia y acumulación, que pueden llegar a concentraciones tóxicas; la baja concentración encontrada en las tres variedades de este trabajo, indicaría que, los suelos utilizados tienen un pH mayor a 5<sup>7</sup>.

En contenido de Cd fue inferior al encontrado en un estudio en muestras de papa en una región de Eslovaquia en suelos contaminados por actividad minera (hasta 0,065 mg/Kg)<sup>21</sup>, el contenido de Pb fue de 0,023 – 0,295 mg/Kg. Por otro lado, también fue muy inferior a los valores (0,2855 – 0,3017 mg/Kg) reportados en un estudio de muestras de papa cultivadas en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta, departamento de Cajamarca (Perú)<sup>22</sup>; sin embargo, fue superior a los valores (0,001–0,008 mg/Kg) encontrados en muestras de papa en un estudio realizado en Vushtrri (Kosovo)<sup>23</sup>. Los valores de Pb encontrados fueron inferiores a los valores encontrados en un trabajo realizado en Pakistán en muestras de papas cultivadas en suelos regados con aguas servidas, encontrándose altas concentraciones de Pb y una alta correlación entre el contenido de metales en el suelo y la papa<sup>3</sup>.

Los valores de Hg encontrados en el presente estudio son muy superiores a los valores reportados en muestras de papa del valle de Mantaro (0,016 ± 0,02 mg/Kg)<sup>24</sup>. Esta diferencia puede ser debido a que, se tratan muestras de papas provenientes de la Provincia de Ambo (Huánuco) y por lo tanto, son suelos diferentes.

En la tabla 2 se evidencia que, el Hg en las tres variedades son muy superiores al límite máximo establecido por la Unión Europea<sup>13</sup>; el Cd en las tres variedades se encuentra dentro de los límites máximos permisibles según Códex Alimentarius<sup>14</sup> y Mercosur<sup>15</sup>; el Pb para las variedades huayro y canchán se encontró por debajo del LMP, mientras que, en la amarilla se encontró superior al límite máximo<sup>14,15</sup>. Finalmente, el contenido de As en las tres variedades se encontraron muy inferiores al límite máximo establecido por Mercosur<sup>15</sup>. En un estudio realizado en China los valores de Hg encontrados en las partes comestibles de los vegetales fueron muy superiores a los límites máximos permitidos (0,0248–0,7810 mg/kg)<sup>20</sup>. Con respecto al contenido de Cd, los resultados de este trabajo fueron diferentes a los obtenidos en muestras de papa de zonas de producción de Vushtrri (Kosovo), en donde el Cd y Pb estuvieron por encima de los límites máximos permitidos<sup>22</sup>.

Según la figura 1, es importante destacar que, los valores de Hg y Pb son superiores a los límites máximos y constituyen un grave riesgo de intoxicación que puede generar enfermedades crónicas en los consumidores. Si bien es cierto que, el daño que generan depende de la frecuencia de exposición<sup>1</sup>, dado que la papa es un alimento de consumo masivo, estos valores representan un alto riesgo. El efecto tóxico de Pb y Hg son favorecidos

por su alta afinidad por el tejido adiposo cuando son ingeridos por el ser humano, lo cual facilita su distribución y permanencia en el organismo<sup>1</sup>.

## CONCLUSIONES

Los metales pesados Cd, Hg, Pb y As presentes en las tres variedades de papa estudiadas variaron entre 0,0073 a 0,0287 mg/Kg; 0,0983 a 0,2594 mg/Kg; 0,0600 a 0,1018 mg/Kg y 0,0003 a 0,0004 mg/Kg, respectivamente. De las tres variedades de papa, la amarilla presentó alto contenido de Hg y Pb, estos dos metales se encontraron por encima de los LMP, siendo el Hg más de 12,5 veces superior al LMP. Asimismo, las variedades huayro y canchán presentaron altas concentraciones de Hg superando también los LMP. Según estos valores, las tres variedades de papa constituyen un riesgo potencial de intoxicación con Hg para el consumidor; por lo tanto, se recomienda realizar estudios para determinar las fuentes de contaminación y prevenir las intoxicaciones crónicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Public Health in the 21st Century. Heavy metals and health. Editor Lance Castillo. Published by Nova Science Publishers, Inc. New York. ISBN: 978-1-63485-625-6 (e-book). 2016. Available from <http://eds.b.ebscohost.com/eds/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzEzZNTA2OTNfX0FO0?si-d=9a3f5540-b4a3-485c-ac9d-bf0e68c901ee@pdc-v-sessmgr03&vid=1&format=EB&rid=8>
2. Ramírez AV. Intoxicación ocupacional por mercurio. An la Fac Med. 2008;69(1):46.
3. Khan ZI, Ahmad K, Yasmeen S, Akram NA, Ashraf M, Mehmood N. Potential health risk assessment of potato (*Solanum tuberosum* L.) grown on metal contaminated soils in the central zone of Punjab, Pakistan. Chemosphere [Internet]. 2017;166:157–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.064>
4. Khan MN, Mobin M, Abbas ZK, Alamri SA. Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater [Internet]. Encyclopedia of the Anthropocene. Elsevier Inc.; 2018. 225–240 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09888-8>
5. Chen Y, Hu W, Huang B, Weindorf DC, Rajan N, Liu X, et al. Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. Ecotoxicol Environ Saf [Internet]. 2013;98:324–30. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037>
6. Puga S, Sosa M, Lebgue T, Cesar Q, Campos A. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera: Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. Ecol Apl. 2006;5(1-2):149–55.
7. Rattan RK, Datta SP, Chhonkar PK, Suribabu K, Singh AK. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater - A case study. Agric Ecosyst Environ. 2005;109(3–4):310–22.
8. Hu J, Wu F, Wu S, Sun X, Lin X, Wong MH. Phytoavailability and phytovariety codetermine the bioaccumulation risk of heavy metal from soils, focusing on Cd-contaminated vegetable farms around the Pearl River Delta, China. Ecotoxicol Environ Saf [Internet]. 2013;91:18–24. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.01.001>

9. Singh, P. K., & Tewari, R. K. (2003). Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of *Brassica juncea* L. plants. *Journal of Environmental Biology*, 24(1), 107- 112
10. Mao C, Song Y, Chen L, Ji J, Li J, Yuan X, et al. Human health risks of heavy metals in paddy rice based on transfer characteristics of heavy metals from soil to rice. *Catena* [Internet]. 2019;175(December 2018):339–48. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.029>
11. INEI. Informe técnico Perú: Panorama Económico Departamental. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-la-produccion-papa-se-incremento-217-agosto-este-ano-770717.aspx>. Octubre, 2019
12. Bakkali K, Martos NR, Souhail B, Ballesteros E. Determination of Heavy Metal Content in Vegetables and Oils From Spain and Morocco by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Anal Lett*. 2012;45(8):907–19.
13. Unión Europea (UE). Reglamento (UE) 018/73 de la del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los límites máximos de residuos de compuestos de mercurio en determinados productos. 2018;2018(5):13. Recuperado de: <https://www.boe.es/doue/2018/013/L00008-00020.pdf>
14. FAO/WHO - Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. Codex Stan 193-1995 [Internet]. 2009;76. Available from: [http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCODEX%2B193-1995%252FCXS\\_193s.pdf](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCODEX%2B193-1995%252FCXS_193s.pdf)
15. Mercosur. Reglamento Técnico MERCOSUR sobre los límites máximos de contaminantes inorgánicos en alimentos. 2014 [Internet]. 2014;(1):1–5. Recuperado de: [http://www.puntofocal.gov.ar/doc/r\\_gmc\\_12-11.pdf](http://www.puntofocal.gov.ar/doc/r_gmc_12-11.pdf)
16. Asociación Civil Centro de Cultura Popular Labor. Análisis Ambiental de la Calidad de los Recursos Hídricos en la zona minera de Cerro de Pasco. 2018. Recuperado de: [http://www.laborpascoperu.org.pe/images/adjuntos/Estudios\\_Cerro\\_de\\_Pasco.pdf](http://www.laborpascoperu.org.pe/images/adjuntos/Estudios_Cerro_de_Pasco.pdf)
17. FAO. Código de prácticas para la prevención y reducción de la presencia de plomo en los Alimentos CAC/RCP 56-2004. Comisión del Codex Alimentarius. Recuperado de: [http://www.codexalimentarius.org/input/download/standards/10099/CX-P\\_056s.pdf](http://www.codexalimentarius.org/input/download/standards/10099/CX-P_056s.pdf) (con acceso 04/12/2019).
18. Cheraghi M, Lorestani B, Merrikhpour H, Rouniasi N. Heavy metal risk assessment for potatoes grown in overused phosphate-fertilized soils. *Environ Monit Assess*. 2013;185(2):1825–31.
19. Dirección de insumos agropecuarios e inocuidad agroalimentaria. Informe del monitoreo de residuos químicos y otros contaminantes en alimentos agropecuarios primarios, año 2016. Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). 2018; Ministerio de Agricultura y Riego.
20. Jia Q, Zhu X, Hao Y, Yang Z, Wang Q, Fu H, et al. Mercury in soil, vegetable and human hair in a typical mining area in China: Implication for human exposure. *J. Environ Sci (China)* [Internet]. 2018;68:73–82. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2017.05.018>
21. Musilova J, Bystricka J, Vollmannova A, Janotova B, Orsak M, Harangozo L, et al. Safety of potato consumption in slovak region contaminated by heavy metals due to previous mining activity. *J Food Qual*. 2017;2017.
22. Luna R, Rodríguez V. Determinación de la concentración de cadmio y plomo en papa (*Solanum Tuberosum*) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcon y Chonta-Cajamarca. *Fac Farm y Bioquim*. 2016; Universidad Nacional Mayor de SAN MARCOS.
23. Feka F, Musa F, Musa A, Behrami S. Investigation on heavy metal contaminations of potato tubers grown in different production sites in Vushtrri, Kosovo. *Int Multidiscip Sci GeoConference Surv Geol Min Ecol Manag SGEM*. 2017;17(52):581–8.
24. Rodríguez Vera JF. Evaluación del contenido de minerales tóxicos en zanahoria (*Daucus carota*) y tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) del Valle del Mantaro. *Univ Nac del Cent del Perú* [Internet]. 2018; Recuperado de: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/4788>

---

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener conflictos de interés.

**Fuente de financiamiento:** Autofinanciado.