

Contenidos de plomo en hortalizas cultivadas en huertos urbanos de la ciudad de Bogotá, Colombia

Lead content levels in vegetables grown in urban vegetables gardens in the city of Bogotá, Colombia

Lili Tatiana Vega Clavijo², Daniel Andrés Vega Castro¹

RESUMEN

Se identificaron los niveles de plomo (Pb) en hortalizas cultivadas en huertos urbanos localizados en zonas de alto tráfico vehicular de la ciudad de Bogotá. Se muestrearon 49 sitios de siembra, ubicados en las diferentes localidades de la capital y se analizaron las variables de suelos, agua de riego y tejido vegetal. Como resultado se destaca que las variables analizadas no presentaron valores anormales frente a los contenidos de Pb, al ser comparados con normativas nacionales e internacionales. Esto permitió concluir que la agricultura urbana no debe representar un riesgo químico significativo para la salud de los consumidores por la posible ingesta de este metal pesado. No obstante, es necesario ampliar el rango de estudio e incluir otro tipo de elementos como arsénico, cadmio, cromo, mercurio y níquel, los cuales son reportados por la literatura como altamente nocivos para la salud de los seres vivos y podrían estar presentes en suelos, aguas de riego y en el tejido vegetal de las hortalizas cultivadas en las ciudades.

Palabras clave: metales pesados, contaminación, seguridad alimentaria, lechuga, agricultura urbana.

ABSTRACT

Higher Lead levels (Pb) were identified in vegetables harvested in urban gardens located in areas of high vehicular traffic in the city of Bogotá. 49 places were sampled, situated in the different places of the city and the variables of soils, irrigation water, and Plant tissue. As a result, the analyzed variables showed no abnormal values compared to the Pb content when compared with national and international regulations, which concluded that urban agriculture should not represent a risk A significant chemical for consumers' health because of the possible ingestion of this heavy metal. However, it is necessary to expand the study range and include other types of elements such as Arsenic, Cadmium, Chromium, Mercury, and Nickel; These are reported by the literature as highly harmful elements for the health of living beings and could be present in soils, irrigation waters and the vegetal fabric of the vegetables harvested in the cities.

Keywords: heavy metals, pollution, food security, lettuce, urban agriculture.

Introducción

La agricultura urbana puede definirse como un conjunto de prácticas agrícolas realizadas en espacios dentro de una ciudad o en sus alrededores (periurbana), en zonas duras o blandas como antejardines, lotes, terrazas, patios y cocinas. Estos lugares permiten la articulación de los recursos disponibles, el conocimiento técnico o empírico y la creatividad, lo cual tiene como finalidad no solo la seguridad y soberanía alimentaria, sino que

posibilita además el fortalecimiento del sistema social, la recuperación de terrenos baldíos, la participación ciudadana y sostenibilidad ambiental, contribuyendo a minimizar la problemática generada por el cambio climático.

La inocuidad en las hortalizas cultivadas a través de esta práctica juega un rol determinante en términos de seguridad alimentaria. Es importante resaltar que existen ciertos riesgos de contaminación en la producción urbana de hortalizas. La contaminación en el caso específico de los alimentos

¹ Corporación Universitaria Minuto de Dios UNIMINUTO - UVD, Bogotá, Colombia.

² Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Bogotá, Colombia.

* Autor por correspondencia: agroecologiavega@gmail.com

es definida por Gay (2017) como “la presencia de cualquier materia anormal en el alimento que comprometa su calidad para el consumo humano”.

Entre los riesgos de contaminación de hortalizas se encuentran los asociados a la acumulación de metales pesados al interior de los órganos comestibles como hojas, tubérculos y tallos. Estos elementos químicos pueden provenir del suelo cultivado, el agua de riego, de los insumos utilizados durante la producción y de la atmósfera.

Dentro de los metales pesados sobresale el plomo (Pb), el cual genera un gran riesgo para la salud humana, por ser un elemento extremadamente tóxico. El Codex Alimentarius (2004) afirma que incluso la concentración relativamente baja de Pb puede ocasionar daños en los riñones y el hígado, y en el sistema reproductor, cardiovascular, inmunitario, hematopoyético, nervioso y gastrointestinal. puede causar anemia, encefalopatías e incluso la muerte. Asimismo, la exposición a concentraciones bajas de Pb en infantes repercute en un menor desarrollo cognitivo e intelectual de los niños afectados.

El Pb puede estar presente en suelos, cuerpos de agua y en el aire. Es necesario destacar que este metal pesado puede encontrarse en los suelos de forma natural y para el caso de países como Estados Unidos de Norteamérica, se registran antecedentes con valores promedios de 22 ppm/Pb (Smith *et al.*, 2013). Esto debido a factores edáficos como materiales parentales, erupciones volcánicas, entre otros factores asociados a la pedogénesis de los suelos.

Para el caso de la agricultura urbana, los hidrocarburos (diésel y gasolina) son la principal fuente de contaminación con este metal pesado, el cual es liberado a la atmósfera a través de los gases de escape en los procesos de combustión de automotores y las emisiones industriales. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA (UNEP, 2017), el Pb se añade a la gasolina para elevar los índices de octano, pero este no se quema en el proceso de combustión y si se libera a la atmósfera.

Para el caso específico de Colombia, el Decreto 1697 de 1997 se refiere a contenidos de Pb, S y otros contaminantes en los combustibles, y establece que no se podrá importar, producir o distribuir en el país, gasolinas que contengan tetraetilo de Pb en cantidades superiores a las especificadas internacionalmente para las gasolinas de plomadas según el método ASTM-D-3237. A pesar de ello,

la Resolución 1180 de 2006 modifica de forma parcial el decreto y estipula un máximo permitido sobre los contenidos de Pb en este hidrocarburo, el cual es de 0,013 g/L (13 ppm).

Por su parte, las plantas han desarrollado múltiples mecanismos para la absorción, la translocación, transformación y acumulación de elementos. Dentro de estas formas se destaca la absorción de minerales a través del sistema radicular y el tejido foliar. A través de la raíz, y su sistema de absorción, las plantas pueden transportar sustancias desde el suelo hacia los diferentes órganos vegetales. Autores como Angelova *et al.* (2004) definen la bioacumulación como el aumento de la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada con la concentración de dicho producto químico en el ambiente.

Por lo anteriormente expresado, este trabajo se centró en identificar los posibles riesgos del consumo de hortalizas producidas por la agricultura urbana, mediante la identificación y cuantificación de Pb en tejido vegetal y su relación con las variables de suelos, aguas de riego y localidades del Distrito Capital.

Materiales y métodos

Área de estudio

La zona de estudio se centró en la ciudad de Bogotá D.C., debido a que la capital del país reporta el parque automotor más alto de Colombia. Los últimos estudios en la materia revelan un aumento promedio anual del 4,1% (87.802 vehículos registrados). En los últimos 10 años el parque automotor registrado en la ciudad tuvo un incremento superior (Secretaría de Movilidad, 2016).

Para este trabajo se realizó el levantamiento de la información de 100 huertos urbanos y se muestrearon un total de 49, para así trabajar con un error de medición del 10% y una significancia del 94%. Los lugares seleccionados (Figura 1) fueron divididos por localidades y en cuatro zonas según su ubicación geográfica. *Sur*: Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar; *Oriente*: Antonio Nariño, Candelaria, Los Mártires y Santa Fe; *Norte*: Engativá, Teusaquillo, Barrios Unidos, Suba y Usaquén; y *Occidente*: Kennedy y Puente Aranda.

Los huertos muestreados fueron seleccionados bajo los siguientes criterios: 1. Las huertas

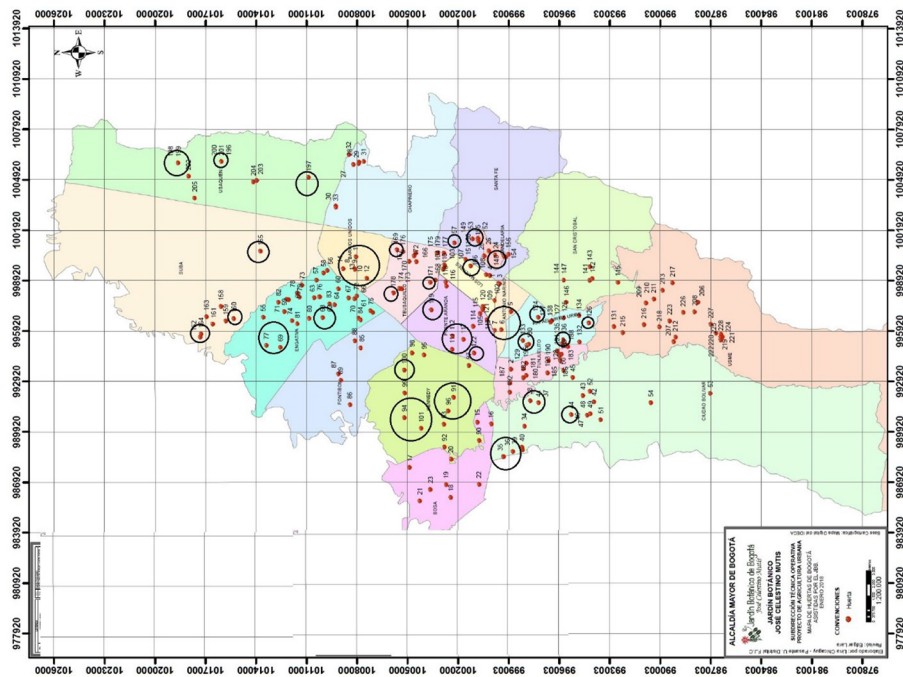


Figura 1. Georreferenciación de huertos en Bogotá y áreas muestreadas en círculos.
Fuente: Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, 2018.

presentarán un manejo ecológico, 2. Huertas alejadas de ríos contaminados, 3. Huertas cercanas a vías de alto flujo vehicular (distancias no mayores de 600 metros), 4. Estar ubicados a lo largo y ancho de Bogotá D.C., y 5. Poseer lechuga próxima a cosecha.

Es importante resaltar que los huertos seleccionados presentan manejo agroecológico y son asistidos desde el componente técnico por el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis JBB. Por consiguiente, no utilizan insumos de síntesis química para el manejo de plagas, ni para la fertilización de suelos.

Muestreo de suelo

El muestreo de esta variable para la identificación de Pb se realizó en cada una de las huertas seleccionadas, siguiendo la guía para la toma de muestras de suelos de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Este análisis se hizo para descartar o corroborar presencia de Pb en suelos. Las 49 muestras de suelos tomadas al interior de los huertos fueron remitidas en bolsas herméticas de seguridad al laboratorio para su respectiva preparación y análisis.

Muestreo de agua

La colección de aguas se realizó en las respectivas fuentes de riego de los huertos urbanos seleccionados: acueducto y agua lluvia cosechada. Para esta finalidad se tomaron muestras específicas siguiendo la metodología establecida por el Instituto Nacional de Salud de Colombia, en el manual de instrucciones para la toma de muestras de agua para análisis de laboratorio. Este análisis se realizó para descartar o corroborar presencia de Pb en agua de riego. Las muestras se tomaron en recipientes de vidrio con capacidad de 500 mL, en borosilicato 3.3 color ámbar. Estos recipientes fueron llevados al laboratorio con la finalidad de hacer su respectivo tratamiento y análisis.

Muestreo de hortalizas

Para esta variable específica se recolectaron plantas de lechuga *Lactuca sativa* L. próximas a cosecha. Esta especie vegetal fue seleccionada por tres razones puntuales: por su importancia en la dieta alimentaria, por ser la más común al interior de los huertos urbanos y por ser las hojas los órganos de consumo directo. Se muestrearon

tres plantas de lechuga de forma aleatorizada por cada huerta seleccionada. Dichas plantas se cosecharon utilizando cuchillos de acero inoxidable tipo tramontina. Luego fueron empacadas y transportadas en bolsas de papel Kraft y llevadas de forma directa al laboratorio para las respectivas pruebas.

Análisis de las muestras

Plomo en suelos

Las muestras seleccionadas se analizaron con la técnica de espectrofotometría de absorción atómica EAA (Llama Aire Acetileno) bajo los métodos EPA 3050B (1996) y SM 3111 B Ed 22 (Standard Methods). Este parámetro fue evaluado en conformidad con la NTC. 5167, Agricultural Industry Products. Organic Products Used as Fertilizers and Soil Amendments. El límite de detección para el Pb en suelos es de 0,1 ppm (mg/kg).

Plomo en agua de riego

El análisis para la identificación de Pb en aguas de riego se llevó a cabo bajo la técnica de espectrofotometría de absorción atómica EAA (Llama Aire Acetileno), siguiendo las metodologías de preparación de muestras SM 3030 E edición 22 y cuantificación SM 3111 B - edición 22. El respectivo límite de cuantificación es 0,1 ppm (mg/L).

Plomo en tejido foliar

La identificación de Pb en tejido vegetal se realizó bajo la técnica de espectrofotometría de absorción atómica EAA, con los métodos AOAC 975.03B (1990) y SM 3111 B edición 22. El equipo utilizado para la determinación de plomo en la matriz fue un espectrofotómetro de absorción atómica modelo AA-7000, para análisis por Llama Aire Acetileno. El respectivo límite de detección es de 0,1 ppm (mg/kg).

Cabe señalar que la técnica de análisis más empleada para la determinación y cuantificación de metales pesados es la espectrofotometría de absorción atómica, debido a su celeridad e idoneidad para el trabajo en laboratorio, sus características de reproducibilidad, precisión, sensibilidad y bajo nivel de interferencias.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico y pruebas de hipótesis se utilizó el Programa PSPP®. Inicialmente se realizó una prueba de normalidad (mediante el estadístico no paramétrico Kolmogorov Smirnov), a fin de evaluar si los datos presentaban una distribución normal y de esta manera poder sacar conclusiones estadísticamente válidas a partir de los estadísticos descriptivos. Es decir, bajo una hipótesis de trabajo de que la distribución de las variables es diferente a la normal.

Asimismo, se realizaron pruebas de independencia (mediante el estadístico Chi cuadrado de Pearson) para comprobar la relación existente entre las variables: contenidos de Pb encontrados en los suelos, el agua de riego, el tejido vegetal y las 13 localidades muestreadas. Es decir, bajo una hipótesis de trabajo de que las variables están relacionadas.

Finalmente se evaluó la presencia de correlación entre las variables (mediante el coeficiente de Pearson), a fin de identificar si esta era fuerte, moderada o débil entre los contenidos de Pb encontrados en el suelo, el agua de riego y el respectivo tejido vegetal de la lechuga. Es decir, bajo una hipótesis de trabajo de que las variables están correlacionadas.

En todos los casos, con una significancia del 5% para rechazar o no la hipótesis nula.

Resultados y discusiones

Plomo en suelos

Al realizar la prueba de normalidad en la variable Pb en suelo, el resultado del p-value del 22,1% permite afirmar que no hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis de que la distribución de las variables es igual a la normal (Tabla 1). Esto quiere decir que los conjuntos de valores asociados a los contenidos de Pb en suelos presentan una distribución normal en las 13 localidades muestreadas.

El contenido de Pb en los suelos puede presentarse de dos formas: geogénica o antropogénica. Las primeras pueden proceder de la propia "roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones. Por el contrario, los antropogénicos se producen por los residuos peligrosos derivados de actividades

Tabla 1. Prueba Kolmogorov-Smirnov para una muestra.

		Pb en suelo	Pb en lechuga
N		49	49
Parámetros Normal	Media	24,27	0,19
	Desviación Estándar	19,84	0,32
Diferencias Más Extremas	Absoluto	0,15	0,28
	Positivo	0,15	0,20
	Negativo	-0,11	-0,28
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,04	1,97
Sig. Asint. (2-colas)		0,221	0,000

industriales, agrícolas, mineras, etc.” (Galán y Romero, 2008).

En países como Estados Unidos de Norteamérica se pueden encontrar valores promedios de 22 ppm/Pb (Smith *et al.*, 2013). Para el caso de Colombia, autores como Vega y Salamanca (Vega y Salamanca, 2016) aseveran que los contenidos de Pb en suelos dedicados a la agricultura urbana pueden registrar valores de 14,7 ppm/Pb. Asimismo, Rubio *et al.* (2004) afirman que se pueden llegar a encontrar valores de este metal pesado por encima de 360 ppm, en suelos dedicados para la agricultura.

En este caso particular, los suelos en general de las huertas muestreadas arrojaron en promedio un valor de 24,27 ppm/Pb y sus rangos oscilaron entre 0 y 110 ppm/Pb, donde el 68,3% de las unidades presentaron valores entre 4,43 y 44,12 ppm/Pb. Es necesario resaltar que, para esta variable, las localidades ubicadas en la zona sur registraron la

mayor dispersión frente a los contenidos de Pb en los suelos (Figura 2).

Con base en lo anterior y desde el punto de vista normativo, se puede aseverar que, para el caso puntual del Pb, los suelos muestreados en las diferentes localidades de Bogotá presentan valores normales, al ser comparados con los registrados por la EPA (United States Environmental Protection Agency, 1994), la cual determina valores oscilantes de Pb en suelos de uso agrícola e industrial, entre los 400 y 1200 ppm. Asimismo, la norma 86/278 de la CEE (Comunidad Económica Europea) dispone los valores límite de concentración de metales pesados en los suelos y estipula un rango máximo de Pb de 300 mg/kg (Figura 3). A la fecha, y para el caso de Colombia, no existen marcos normativos que vigilen, regulen y reglamenten los contenidos de metales pesados y elementos trazas en los suelos.

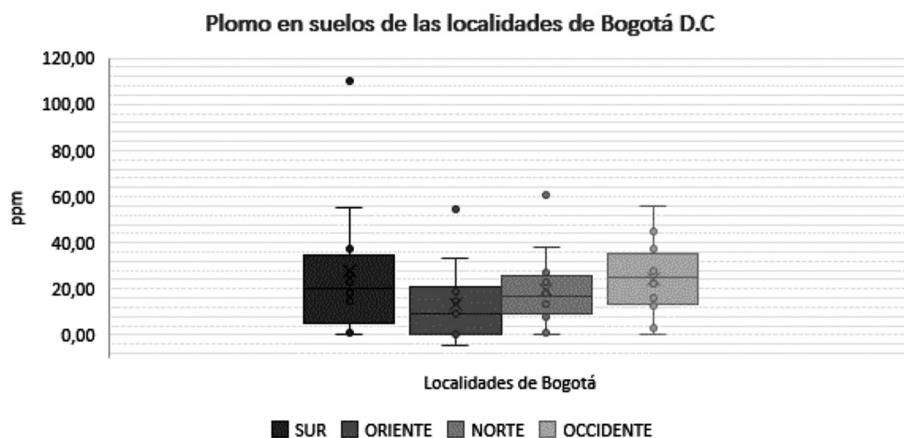


Figura 2. Niveles de Pb en suelos muestreados en las diferentes localidades de Bogotá, D.C.

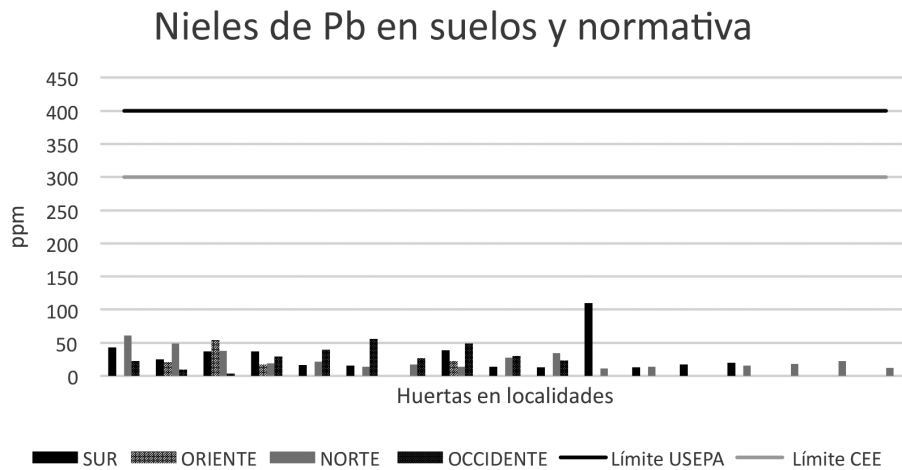


Figura 3. Niveles de Pb en suelos y límites por la normativa.

Al realizar la prueba de independencia para las variables Pb en suelo y localidades, el resultado del p-value del 67,3% permite afirmar que no se ha encontrado evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis de que las variables están relacionadas. Es decir, que el Pb detectado en el suelo y sus respectivos niveles no están relacionados con las localidades muestreadas a lo largo de la capital del país.

Plomo en agua

En el decreto 1594 de 1984 se estipulan los criterios admisibles de metales pesados para uso agrícola, permitiendo hasta 5 mgPb/L. Como resultado se encuentra que las aguas utilizadas para riego en los huertos seleccionados provienen de dos fuentes principales: cosecha de aguas lluvia y agua de la Empresa de Acueducto de Bogotá EAAB. Los ensayos realizados arrojaron la no detección de este metal pesado, dando como resultado 0 mgPb/L para un límite de detección de 0,1 mg/L.

Plomo en tejido foliar

Al realizar la prueba de normalidad en la variable Pb en tejido vegetal, el resultado del p-value aproximadamente igual a 0% (Tabla 1) permite afirmar que hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis de que la distribución de las variables es igual a la normal. Esto quiere decir que los valores asociados a los

contenidos de Pb en el tejido vegetal de lechuga no presentaron una distribución normal en las 13 localidades muestreadas.

Es importante resaltar que el tejido foliar de las hortalizas tiene un potencial de absorción de Pb y está relacionado con múltiples variables, dentro de las cuales sobresale el estado fenológico de la planta. Esto se debe a que las plantas tienen diversas rutas metabólicas (Miranda *et al.*, 2008). Las mayores concentraciones de Pb se localizan en hojas senescentes y los menores contenidos en hojas jóvenes, con valores entre los 130 y 8200 mg Pb/kg por peso seco de material vegetal (Godzik, 1993). Los síntomas de plantas afectadas por Pb se manifiestan en la disminución del porcentaje de germinación de semillas, el crecimiento de la raíz, la reducción del área foliar, clorosis y aparición de manchas pardo rojizas fenólicas en tallos, peciolo y hojas. En casos severos de fitotoxicidad se observa necrosis foliar (Burton *et al.*, 1994). Pese a ello, las plantas muestreadas en el estudio no presentaron ningún tipo de sintomatología visible.

Investigaciones de la última década han demostrado que las hortalizas producidas en huertos urbanos tienen un mayor riesgo de contaminación por Pb, y se presentan concentraciones de este metal pesado en vegetales de hoja, frutas y raíces. Esto se explica por su ubicación geográfica y el alto tráfico vehicular en la zona (Säumel *et al.*, 2012), incluso en lugares donde la venta de gasolina con Pb ha estado prohibida desde hace mucho tiempo, como ha ocurrido en los EE.UU. desde 1996. Esta tendencia podría indicar que la dispersión

aérea de partículas y su respectiva disposición en distancias relativamente cortas está contribuyendo a la contaminación vegetal y acrecentando las concentraciones de Pb en suelos en los sitios de siembra (McBride *et al.*, 2015).

A pesar de lo descrito y para esta investigación, se observó que las medias de los niveles de Pb encontrados en tejido vegetal en las diferentes localidades (Figura 4) se hallan por debajo de los límites permisibles señalados en las normativas del Codex Alimentarius, la Unión Europea y la Resolución 4506 de 2013 de Colombia, las cuales establecen los contenidos máximos de metales pesados en productos alimenticios, fijando un valor máximo de 0,3 mg/kg (ppm) de Pb para hortalizas de hoja (Unión Europea, 2017).

Por otro lado, al aplicar la prueba de independencia para las variables Pb en el tejido vegetal y las localidades, el resultado del p-value del 41,2% permite afirmar que no se ha encontrado evidencia estadística suficiente para rechazar la

hipótesis de que las variables están relacionadas. Es decir, que el Pb detectado en lechuga y sus respectivos niveles no están relacionados con las localidades muestreadas en la ciudad de Bogotá.

Al realizar la prueba de correlación para las variables Pb en suelo y Pb en lechuga, el resultado del p-value fue del 77,6%. Esto junto con el respectivo análisis de regresión lineal (Figura 5) permite afirmar que no se ha encontrado evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis de que las variables están correlacionadas. Es decir, no hay una relación evidente entre los contenidos de Pb en el suelo y los encontrados en las hojas de esta hortaliza de importancia económica y social.

Por consiguiente, la absorción de un elemento desde el suelo hacia la planta depende de múltiples factores: la interacción entre los distintos procesos como intercambio catiónico, adsorción/desorción, el pH, la textura, los porcentajes de materia orgánica, los fenómenos sinérgicos y antagónicos entre elementos, el potencial redox, las condiciones

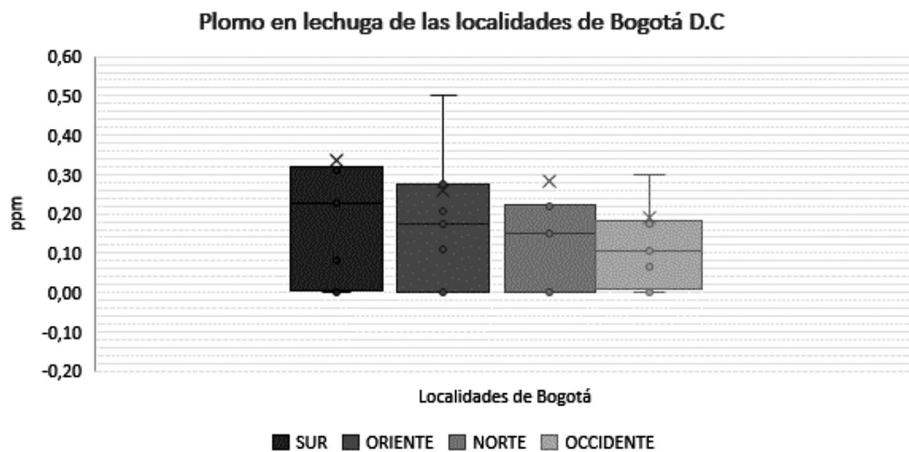


Figura 4. Niveles de Pb encontrados en tejido vegetal de lechuga.

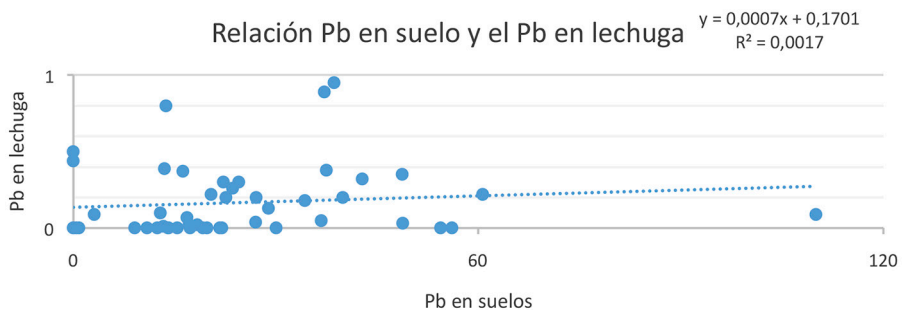


Figura 5. Relación entre los contenidos de Pb encontrados en los suelos y el tejido vegetal de lechuga.

climáticas y la precipitación/disolución, los cuales son responsables de su movilidad y biodisponibilidad (Basta, 2004; Valagro, 2004).

Conclusiones y recomendaciones

Los niveles de Pb encontrados en el tejido vegetal de la lechuga cosechada en huertos urbanos agroecológicos cumplen a cabalidad con las normativas fijadas por el Codex Alimentarius y la Unión Europea, así como las establecidas por el Ministerio de Salud y de Protección Social de Colombia. Por lo tanto, el consumo de productos hortícolas urbanos no debería representar un riesgo químico significativo para la salud de los consumidores frente a la variable evaluada.

Los datos obtenidos permiten corroborar que la concentración total de Pb en el suelo no refleja necesariamente su disponibilidad. Por ende, la absorción, el transporte y la bioacumulación de Pb por parte del tejido vegetal están ligados a múltiples variables. Como norma general, debe existir una biodisponibilidad de Pb para que se produzca el transporte de este metal pesado desde el suelo hasta la planta.

La ausencia de Pb en el agua de riego cosechada en los tejados de los agricultores urbanos evidencia que es totalmente segura frente a la variable analizada. Se demostró que el almacenamiento de este recurso se realiza en tanques plásticos. Cabe resaltar que los riesgos de contaminación de agua por metales pesados deberían incrementarse si el almacenamiento del recurso hídrico se realizara en tanques metálicos. Ello debido a los procesos de oxidación de este material y los metales pesados utilizados en las pinturas que recubren los contenedores.

Es necesario crear normativas desde lo local y para lo local (caso Colombia), que permitan identificar niveles de referencia frente al contenido de Pb y otros metales pesados en suelos agrícolas, que entreguen un marco de referencia acorde a los

materiales parentales y las condiciones locales. Con ello se busca gestar bases sólidas, que permitan detectar los contenidos de metales pesados en los suelos y evitar que ciertos niveles geogénicos se puedan considerar como contaminación.

Por consiguiente, es importante ampliar el rango de estudio frente a los metales pesados e incluir otros elementos como arsénico, cadmio, cromo, mercurio y níquel, los cuales son reportados por la literatura como altamente nocivos para la salud de los seres vivos y podrían estar presentes en suelos y en el tejido vegetal de las hortalizas cultivadas al interior de las ciudades.

Asimismo, es fundamental desarrollar este tipo de investigaciones con diferentes especies de uso comestible producidas en agricultura urbana: plantas aromáticas, condimentarias, medicinales, frutas, gramíneas, leguminosas y otras hortalizas, que sirvan como lineamientos para la estructuración de planes desde la seguridad, soberanía y suficiencia alimentaria.

La agricultura urbana no solo cumple funciones asociadas a la producción de alimentos, y debe ser estudiada desde las bases sociales, ambientales y económicas, para ser entendida y valorada dentro de los planes de ordenamiento territorial y de inversión de las ciudades.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los agricultores urbanos de la capital, al Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis y a la Corporación Universitaria Minuto de Dios UNIMINUTO por la financiación y el apoyo brindado para el desarrollo de este proyecto.

El trabajo se realizó con la financiación de la VII Convocatoria para el Desarrollo y Fortalecimiento de la Investigación en UNIMINUTO y la cofinanciación en especie del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis.

Literatura citada

- Angelova V.; Ivanova, R.; Delibaltova, V.; Ivanov, K.
2004. Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). *Industrial Crops and Products*, 19: 197-205.
- Basta, N.
2004. Heavy metal and trace element chemistry in residual-treated soil: Implications on metal bioavailability and sustainable land application. Sustainable land application Conference, January, Florida; University of Florida, pp. 4-8.
- Burton, K.; Morgan, E.; Roig, A.
1994. The influence of heavy metal on the growth of sitka-spruce in south Wales forests. *Plant Soil*, 78: 271-282.
- Codex Alimentarius.
2004. Código de Prácticas para la Prevención y Reducción de la Presencia de Pb en los Alimentos, CAC/RCP 56-2004.

- Galán, E.; Romero, A.
2008. Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía SEM*. España, 10: 48-59.
- Gay, A.
2017. Nutrición. Colección Aula mentor. Ministerio de Educación Cultura y Deporte. España. 229 p.
- Godzik, B.
1993. Heavy metal contents in plants from zinc dumps and referent area. *Polish Botanical Studies*, 5: 113-132.
- McBride, M.; Shayler, H.; Spliethoff, H.; Mitchell, R.; Márquez, L.; Ferenz, G.; Russell-Anelli, J.; Casey, L.; Bachmand, S.
2015. Concentrations of lead, cadmium and barium in urban garden-grown vegetables: the impact of soil variables. *Environmental Pollution*, 194: 254-261.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
1984. Decreto 1594 de 1984. Uso del agua y residuos sólidos. República de Colombia. Bogotá, Colombia. 52 p.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Minas y Energía.
2006. Resolución Número 1180. República de Colombia. Bogotá, Colombia. 8 p.
- Ministerio de Minas y Energía.
1997. Decreto 1697. República de Colombia. Bogotá, Colombia. 2 p.
- Ministerio de Salud y Protección Social.
2013. Resolución 4506. Niveles máximos de contaminantes en alimentos destinados para el consumo humano y otras disposiciones. República de Colombia. Bogotá, Colombia. 10 p.
- Miranda, L.; Carranza, C.; Fischer, G.
2008. Calidad del agua de riego en la Sabana de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 248 p.
- Rubio, C.; Gutiérrez, A.J.; Martín Izquierdo, R.E.; Revert, C.; Lozano, G.; Hardisson, A.
2004. El Pb como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología*, 21: 72-80.
- Säumel, I.; Kotsyuk, I.; Hölscher, M.; Lenkereit, C.; Weber, F.; Kowarik, I.
2012. How healthy is urban horticulture in high traffic areas? Trace metal concentrations in vegetable crops from plantings within inner city neighbourhoods in Berlin, Germany. *Environmental Pollution*, 165: 124-132.
- Secretaría de Movilidad.
2016. Movilidad en Cifras 2016. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Bogotá, Colombia. 52 p.
- Unión Europea.
2017. Contenidos Máximos en metales pesados en productos alimenticios. Metales pesados, revisión marzo 2017.
- UNEP.
2017. Clean Fleet Toolkit. Nairobi: TOOLKITS, MANUALS AND GUIDES. United Nations Environment Programme. Disponible en: <https://www.unenvironment.org/resources/toolkits-manuals-and-guides/clean-fleet-toolkit> Consultado: 1/ene/2020.
- Environmental Protection Agency.
1994. Revised Interim Soil Lead Guidance for CERCLA Sites and RCRA Corrective Action Facilities. Washington, DC, US. 1 p.
- Vega Castro, D.A. y Salamanca Rivera, Á.P.
2016. Contenidos de Pb en acelga común *Beta vulgaris* L., producida en el contexto de la agricultura urbana (Bogotá, Colombia). *Revista Luna Azul*, 42: 44-53.
- Valagro, SpA.
2004. Los microelementos en la nutrición vegetal. Valagro, SpA. Lanciano, Ch, Italia. 71 p.
- Smith, D.B.; Cannon, W.F.; Woodruff, G.; Solano, F.; Kilburn, J.E.; Fey, D.L.
2013. Geochemical and mineralogical data for soils of the conterminous United States. USGS Data Series 80. 19 p.

