

# Análisis de metales pesados en suelos irrigados con agua del río Guatiquía

## Heavy Metal Analysis on Soils Irrigated with Water from the Guatiquía River

M. Á. Ramírez Niño<sup>a,\*</sup>  
M. Á. Navarro Ramírez<sup>a</sup>

Recepción: 05-ene-15

Aceptación: 22-abr-15

### Resumen

En este trabajo se analizaron muestras de suelos usados principalmente para el cultivo de arroz, en la vereda La Esperanza, del municipio de Villavicencio; estos suelos son irrigados con aguas del río Guatiquía, que atraviesa la ciudad de Villavicencio. Se tomó como base para la extracción y cuantificación de metales en suelos la metodología descrita en la Norma Técnica Colombiana 3388 y 3934, respectivamente. Dado que actualmente en Colombia no se tiene determinado el nivel de referencia para la concentración de metales en el suelo, se utilizó una norma internacional para poder determinar el grado de contaminación de los suelos. Los resultados obtenidos mostraron que las concentraciones de los metales analizados (cadmio, cobre, plomo, níquel y zinc) se encuentran por debajo de los parámetros internacionales permitidos. Este estudio es uno de los primeros avances en la determinación del nivel de referencia de estos metales en suelos de uso agrícola en la región de la Orinoquía.

**Palabras clave:** contaminación de los suelos, metales en suelos, suelos.

### Abstract

In this study, soil samples mainly used for rice crops in the countryside La Esperanza, Villavicencio municipality, were analyzed. These soils are irrigated with water from the Guatiquía River, which runs through the city of Villavicencio. The extraction and quantification were based on the methods described in the Colombian technical standard 3388 and 3934 respectively. Since nowadays in Colombia the reference level for metal concentration in soil is undefined, an international standard norm was used to determine the degree of soil pollution. The results showed that concentrations of the tested metals (cadmium, copper, lead, nickel and zinc) are below the levels allowed by international standards. This study is one of the first advances in determining the reference level of these metals in agricultural soils.

**Key words:** Metals, Soils, Reference levels.

<sup>a</sup>Grupo de Investigaciones en Ciencias Químicas y Biológicas de la Universidad de los Llanos, Departamento de Biología y Química, Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad de Los Llanos.

\*Autor de correspondencia: miguelramirez@unillanos.edu.co

## 1 Introducción

El Meta es un departamento netamente agrícola y ganadero; para mantener estos dos sectores, la irrigación de pastos y cultivos se hace con agua de los ríos Ocoa, Guatiquía y Guayuriba, entre otros, que se presume presentan alta contaminación ambiental, como muchos otros [1,2], debido a que en ellos se vierten aguas de desechos, tanto de zonas residenciales como industriales [3,4]. Además, la naciente industria de explotación petrolera y minera en esta región ha generado preocupación en las comunidades que habitan en las cercanías de estos ríos, debido a las posibles contaminaciones, incluyendo contaminación por metales pesados, ya que estos no pueden ser considerados elementos inalterables, sino que presentan movilidad hacia el agua, transferencia a la atmósfera por volatilización [5], adsorción por plantas e incorporación a las cadenas tróficas [6, 7].

A nivel mundial, la preocupación por la contaminación del suelo es un tema latente desde los años noventa [8], cuando comenzó a usarse el término “calidad del suelo”, que es entendido como un parámetro para conservar o mejorar las características del suelo y aumentar su productividad, mejorando la calidad ambiental, lo cual se traduce en mejor calidad de los alimentos y mejor la salud de los seres vivos. Europa fue una de las primeras regiones en estimar los valores de referencia para sus suelos; a partir de entonces, países como Estados Unidos, Brasil y China, entre otros, han trabajado en determinar las concentraciones de referencia para sus propios suelos y, así mismo, trabajar en técnicas de recuperación o remediación de los suelos, como fitorremediación, fitoestabilización o fitoinmovilización [9].

En Colombia, como en la gran mayoría de los países de América, el tema es de alto interés; sin embargo, hasta hace poco se comenzaron hacer las determinaciones de las concentraciones de los metales en suelos, siendo el del cadmio el análisis más realizado; en consecuencia, no se ha realizado un trabajo completo que permita establecer los valores de referencia en suelos colombianos. Dadas las anteriores consideraciones, y como parte de un estudio más amplio para conocer y caracterizar los suelos de la Orinoquía colombiana, en este primer trabajo se analizaron muestras de suelos usados, principalmente, para el cultivo de arroz, irrigados con agua del río Guatiquía. Se determinaron los parámetros

fisicoquímicos completos, incluyendo metales pesados, como Cd, Pb, Cu, Ni y Zn, teniendo como meta generar el soporte para establecer las concentraciones de referencia en suelos colombianos, lo cual permitirá establecer, primero, si existe contaminación por metales en algunas regiones del país y, luego, determinar la causa de esa contaminación, para finalmente planear las mejores acciones para recuperar dicho suelo.

La extracción y cuantificación de los metales se realizó siguiendo las NTC (Norma Técnica Colombiana) 3888 y 3934, respectivamente [10,11], usando un equipo de absorción atómica Analytikjena ContrAA300, que permitió establecer que los valores de concentración de dichos metales en los suelos analizados están por debajo de los valores de referencia, según la lista holandesa de valores de 1994 [12]. Se utilizó como referencia esta lista debido a que en Colombia no existen normas que establezcan los valores de referencia para metales pesados en suelos de usos agrícolas.

## 2 Materiales y métodos

### 2.1 Toma de muestras

Las muestras fueron tomadas en suelos de cultivos de arroz localizados en la vereda La Esperanza, del municipio de Villavicencio, los cuales son irrigados con agua del río Guatiquía (figura 1); se tomaron en diciembre de 2011 y mayo de 2012; teniendo en cuenta que los meses con menor precipitación son de diciembre a marzo, y que los de mayor precipitación son los meses de abril a noviembre, se cubrió así tanto la época seca como la lluviosa. El muestreo se realizó de acuerdo con la metodología descrita en el libro “Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos” [13], por medio de una muestra compuesta. Se tomaron submuestras aleatorias, cubriendo la totalidad del campo, con una profundidad entre 0 y 20 cm. Una vez terminada la toma de las submuestras, se mezclaron para obtener la muestra compuesta; se rotularon y guardaron en bolsas plásticas para su posterior análisis.

### 2.2 Reactivos

El ácido clorhídrico al 37 % y el ácido nítrico al 65 % utilizados fueron de la marca Merck, grado ACS. Los metales fueron adquiridos de la marca Alfa Aesar en



### 3 Resultados y discusión

Al trabajar en contaminación por metales pesados, uno de los principales factores que se deben tener en cuenta es que esta debe ser entendida como el incremento en la concentración de elementos tóxicos, debido a factores antropogénicos como la minería, el uso de algunos pesticidas y fertilizantes, la industria petrolera y los vertimientos [3,4]. Sin embargo, no se puede presentar un suelo como contaminado si no se conoce el valor base o de referencia de estos metales para este suelo en particular. Por ello, el primer paso es determinar ese valor base o de referencia que debe ser tomado en suelos que no han tenido intervención humana, es decir, que la concentración de estos elementos es debida solamente a factores naturales, como la formación geológica y la actividad volcánica; así, se podrán tener suelos con concentraciones altas de metales, pero no por ello ser, necesariamente, suelos contaminados.

La toma de las muestras se realizó, teniendo en cuenta que el lugar fuera irrigado con agua del río Guatiquía, ya que la acumulación de metales pesados en suelos de cultivos puede ser correlacionada con el contenido de estos en el agua de riego, debido a que en el agua están disueltos en forma de iones o complejos, son fácilmente transportados y, al ser irrigados los cultivos, los metales pueden acumularse en el suelo [8].

Ya que la movilidad y la disponibilidad de los metales están asociadas a las características del suelo, estas son un factor importante al momento de estudiar la contaminación por metales [14]. De acuerdo con la caracterización del suelo, se espera que en los suelos con mayor contenido de arcilla se presente menor movilidad, debido a la absorción del metal en la arcilla; mientras que en los suelos arenosos no se presenta la absorción, permitiendo mayor movilidad hacia mayores profundidades.

Dado lo anterior, se realizó la caracterización general de las muestras; del total de las muestras analizadas (30), se tienen por textura dos grandes grupos: suelos con características Franco Arcilloso Limoso (FArL), el 43 %, y Franco Arenoso (FA), el 33 %, y tres grupos menores: suelos con características de Franco Arcilloso (FAr), el 10%; suelos con características de Arcilloso Limoso (ArL), el 7 %, y suelos con características de Franco Limoso (FL), otro 7 % (figura 2).

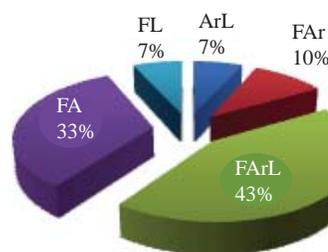


Figura 2. Características de los suelos analizados.

Los datos obtenidos muestran que no hay una marcada diferencia entre las características de los suelos analizados y el contenido de los metales; sin embargo, dadas las características de los suelos, se espera que los de mayor contenido de arcilla, como el grupo de mayor cantidad en la muestra, presenten mayor concentración de los metales analizados.

El pH es un factor determinante, ya que la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles en medio ácido. Las muestras analizadas tienen un pH entre 4,2 a 5,9; es decir, suelos ligeramente ácidos, por lo cual la movilidad de los metales en estos suelos es alta, lo que permite que estén más disponibles.

Es importante recordar que, aunque son ampliamente considerados contaminantes y tóxicos, los metales pesados son esenciales, ya que hacen parte de catalizadores o estructuras vitales en los seres vivos; sin embargo, sus concentraciones fuera de los límites normales o permitidos generan toxicidad.

En la tabla 1 se presentan los valores de los límites de detección y de cuantificación de cada uno de los metales analizados; estos valores se obtuvieron mediante las mediciones de las soluciones de calibración de cada uno de ellos, según la metodología utilizada. Se encontró que la concentración obtenida de cobre, plomo, níquel y zinc en las muestras de suelo se halla por encima de estos parámetros, mientras que la de cadmio está por debajo del límite de detección.

Tabla 1. Límites de detección y de cuantificación de los metales analizados.

Metal	Límite de detección (mg L <sup>-1</sup> )	Límite de cuantificación (mg L <sup>-1</sup> )
Cadmio	0,00091	0,0015
Cobre	0,019	0,020
Plomo	0,093	0,100
Níquel	0,036	0,039
Zinc	0,033	0,044

En las figuras 3, 4, 5, 6 y 7 se presentan las curvas de calibración para cada uno de los metales analizados. En cada una de las curvas de calibración se observa un coeficiente de determinación muy cercano a 1, lo que demuestra el rango lineal entre las absorbancias y las concentraciones utilizadas de las soluciones de calibración para cada metal analizado. Además, estos resultados demuestran que la metodología utilizada es bastante precisa y reproducible.

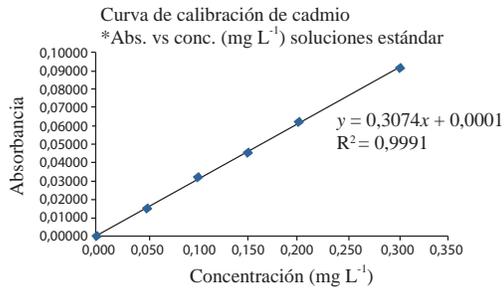


Figura 3. Curva de calibración cadmio.

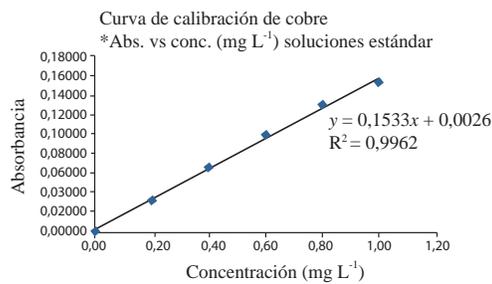


Figura 4. Curva de calibración de cobre.

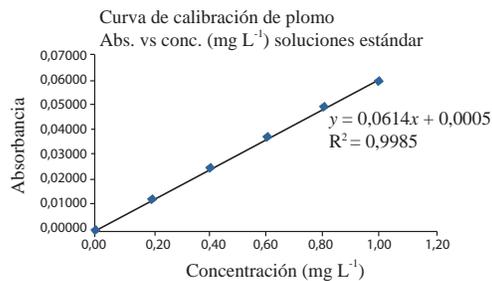


Figura 5. Curva de calibración de plomo.

El cadmio es un metal que se bioacumula en el organismo, y con el paso de los años, al estar en exposiciones prolongadas, puede generar enfermedades coronarias, pulmonares y del sistema inmune, así como atacar órganos como el riñón y el hígado [15]. Los resultados obtenidos para cadmio en las

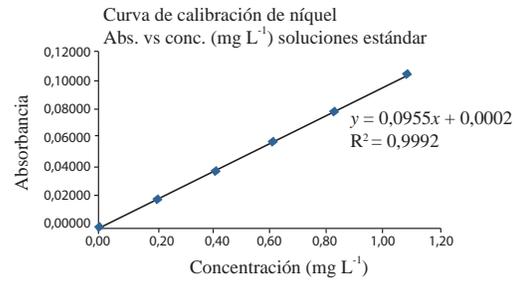


Figura 6. Curva de calibración de níquel.

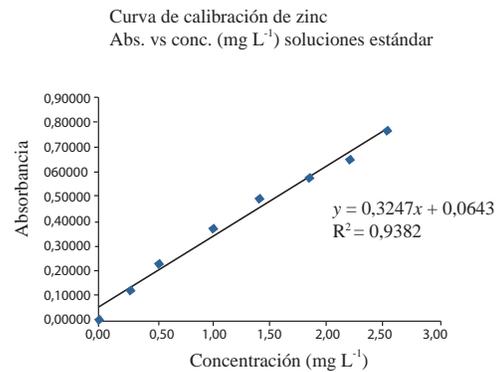


Figura 7. Curva de calibración de zinc.

muestras de suelos, correspondientes al muestreo de verano y de invierno, arrojaron valores que están por debajo del límite de detección presentado en la tabla 1.

El cobre, en bajas concentraciones, es vital para nuestra salud, pero a concentraciones elevadas se convierte en tóxico, y está relacionado con ciertas afecciones, como la enfermedad de Wilson, que ataca al hígado, y la atrofia amarilla del hígado; cuando se ingiere en aguas contaminadas se presentan síntomas como vómito, diarrea y malestar [16]. Los resultados obtenidos para el cobre en las muestras de suelos, correspondientes al muestreo de verano y de invierno, se presentan en la tabla 2. Las concentraciones halladas para las muestras correspondientes al muestreo realizado en verano presentan un valor promedio de  $14,61 \pm 0,76 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo, y las concentraciones halladas para el muestreo realizado en invierno presentan un valor promedio de  $15,86 \pm 0,68 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo. Los valores obtenidos tanto en el muestreo de época de verano como de invierno se encuentran por debajo del valor permitido reportado por la lista holandesa del Ministerio de Salud Pública Holandés de 1994 [12]. El valor admitido de

esta lista para el cobre es de  $36 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo, por lo que se puede concluir que las muestras analizadas no presentan contaminación por este metal.

**Tabla 2.** Concentración de cobre en las muestras de suelos analizadas.

Muestras verano	mg Cu/kg suelo	Muestras invierno	mg Cu/kg suelo
M1	$18,34 \pm 0,41$	M16	$20,88 \pm 0,42$
M2	$14,27 \pm 0,15$	M17	$18,38 \pm 0,11$
M3	$15,48 \pm 0,14$	M18	$20,83 \pm 0,11$
M4	$17,28 \pm 0,12$	M19	$16,31 \pm 0,09$
M5	$16,44 \pm 0,28$	M20	$14,75 \pm 0,06$
M6	$17,73 \pm 0,22$	M21	$14,28 \pm 0,37$
M7	$11,33 \pm 0,04$	M22	$19,24 \pm 0,17$
M8	$12,00 \pm 0,08$	M23	$11,81 \pm 0,07$
M9	$14,10 \pm 0,14$	M24	$12,65 \pm 0,10$
M10	$8,81 \pm 0,17$	M25	$10,09 \pm 0,15$
M11	$10,57 \pm 0,18$	M26	$10,00 \pm 0,05$
M12	$11,09 \pm 0,09$	M27	$13,68 \pm 0,12$
M13	$24,90 \pm 0,27$	M28	$14,26 \pm 0,05$
M14	$12,69 \pm 0,10$	M29	$23,99 \pm 0,17$
M15	$14,10 \pm 0,22$	M30	$21,74 \pm 0,06$
Promedio	$14,61 \pm 0,76$	Promedio	$15,86 \pm 0,68$

El plomo es un metal que se considera tóxico; aun en bajas concentraciones ocasiona daños en el sistema gastrointestinal, renal y nervioso [17]; es altamente tóxico para el crecimiento del cerebro y puede afectar el desarrollo de la conducta de los jóvenes. Los resultados obtenidos para el plomo analizado en las muestras de suelos, correspondientes al muestreo de verano y de invierno, se presentan en la tabla 3. La concentración promedio obtenida para las muestras correspondientes al muestreo realizado en verano es de  $15,11 \pm 1,16 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo, y el valor promedio obtenido para las muestras de invierno es de  $14,52 \pm 1,23 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo; es decir, no hay diferencias significativas entre los resultados obtenidos en cada una de las épocas en que se tomaron las muestras. Estos valores se encuentran por debajo del valor permitido reportado por la lista holandesa [12]. El valor admitido de esta lista para el plomo es de  $85 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo, por lo que se puede concluir que el suelo del área de objeto de estudio no presenta contaminación por este metal.

El níquel es un metal que se encuentra presente en compuestos o en forma de aleaciones en una gran cantidad de productos de uso común (baterías, monedas, varillas de soldadura, cintas magnéticas, componentes de pinturas... ). Cuando hay exposición prolongada y en altas concentraciones se pueden generar alergias, rinitis, sinusitis y enfermedades

**Tabla 3.** Concentración de plomo en las muestras de suelos analizadas.

Muestras verano	mg Pb/kg suelo	Muestras invierno	mg Pb/kg suelo
M1	$18,57 \pm 0,40$	M16	$18,81 \pm 0,36$
M2	$12,85 \pm 0,26$	M17	$18,00 \pm 0,25$
M3	$16,46 \pm 0,30$	M18	$18,38 \pm 0,25$
M4	$20,50 \pm 0,54$	M19	$14,98 \pm 0,50$
M5	$16,08 \pm 0,33$	M20	$13,81 \pm 0,15$
M6	$13,77 \pm 0,34$	M21	$11,79 \pm 0,53$
M7	$14,74 \pm 0,20$	M22	$13,51 \pm 0,22$
M8	$10,73 \pm 0,17$	M23	$13,50 \pm 0,07$
M9	$20,87 \pm 0,48$	M24	$9,53 \pm 0,46$
M10	$13,91 \pm 0,05$	M25	$9,71 \pm 0,08$
M11	$9,93 \pm 0,23$	M26	$11,36 \pm 0,29$
M12	$11,99 \pm 0,13$	M27	$14,61 \pm 0,24$
M13	$20,58 \pm 0,17$	M28	$13,15 \pm 0,40$
M14	$13,56 \pm 0,14$	M29	$18,21 \pm 0,23$
M15	$12,14 \pm 0,27$	M30	$18,49 \pm 0,28$
Promedio	$15,11 \pm 1,16$	Promedio	$14,52 \pm 1,23$

respiratorias; además, está relacionado a cáncer de pulmón y de la cavidad nasal [18]. Los resultados obtenidos para el níquel analizado en las muestras de suelos correspondientes al muestreo de verano y de invierno se presentan en la tabla 4. La concentración promedio hallada para las muestras de verano es de  $12,74 \pm 0,66 \text{ mg kg}^{-1}$ , y el valor promedio para las muestras de invierno es de  $16,45 \pm 0,86$ . Estos valores se encuentran por debajo del valor permitido reportado por la lista holandesa [12], que para el caso del níquel es de  $35 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo como mínimo, por lo que se puede concluir que el suelo del área de objeto de estudio no presenta contaminación por este metal.

El zinc es considerado un elemento esencial para la dieta, aunque la ingestión de grandes cantidades puede causar calambres estomacales, náuseas y vómitos; además, si se ingiere en grandes cantidades durante un período más prolongado pueden ocurrir anemia y disminución de los niveles del tipo de colesterol que es beneficioso [19]. Los resultados obtenidos para las muestras correspondientes al muestreo realizado en verano y en invierno para el zinc se presentan en la tabla 5. El valor promedio de la concentración obtenida para las muestras tomadas en verano fue de  $29,14 \pm 0,66 \text{ mg kg}^{-1}$ , y el valor promedio de la concentración para las muestras de invierno fue de  $30,15 \pm 1,99$ , lo que indica que no hay diferencias significativas de las concentraciones promedio entre las muestras de verano y las de invierno. Estos valores se encuentran por debajo del

**Tabla 4.** Concentración de níquel en las muestras de suelos analizadas.

Muestras verano	mg Ni/kg suelo	Muestras invierno	mg Ni/kg suelo
M1	13,89 ± 0,09	M16	19,82 ± 0,54
M2	12,46 ± 0,09	M17	16,88 ± 0,06
M3	14,09 ± 0,16	M18	13,75 ± 0,21
M4	11,07 ± 0,04	M19	10,25 ± 0,18
M5	13,58 ± 0,08	M20	11,80 ± 0,06
M6	19,19 ± 0,54	M21	16,06 ± 0,13
M7	8,35 ± 0,10	M22	21,33 ± 0,20
M8	6,86 ± 0,05	M23	9,58 ± 0,12
M9	9,19 ± 0,04	M24	9,92 ± 0,03
M10	6,51 ± 0,02	M25	12,05 ± 0,08
M11	16,80 ± 0,16	M26	8,92 ± 0,04
M12	10,14 ± 0,07	M27	36,73 ± 0,25
M13	25,66 ± 0,20	M28	14,37 ± 0,05
M14	11,30 ± 0,06	M29	24,32 ± 0,24
M15	12,09 ± 0,07	M30	21,02 ± 0,41
Promedio	12,74 ± 0,66	Promedio	16,45 ± 0,86

valor permitido reportado por la lista holandesa [12], que para el caso del zinc es de 140 mg kg<sup>-1</sup> de suelo, por lo que se puede concluir que el suelo del área de objeto de estudio no presenta contaminación por este metal.

**Tabla 5.** Concentración de zinc en las muestras de suelos analizadas.

Muestras verano	mg Zn/kg suelo	Muestras invierno	mg Zn/kg suelo
M1	40,76 ± 0,71	M16	50,42 ± 0,73
M2	28,89 ± 0,64	M17	38,86 ± 0,71
M3	30,94 ± 0,39	M18	46,36 ± 0,07
M4	26,09 ± 0,62	M19	21,19 ± 0,34
M5	34,15 ± 0,18	M20	22,81 ± 0,51
M6	37,40 ± 0,37	M21	35,38 ± 0,70
M7	9,21 ± 0,39	M22	44,73 ± 0,72
M8	8,77 ± 0,18	M23	9,99 ± 0,46
M9	25,00 ± 0,31	M24	14,39 ± 0,02
M10	16,50 ± 0,73	M25	11,93 ± 0,29
M11	52,79 ± 0,33	M26	9,16 ± 0,42
M12	22,85 ± 0,11	M27	17,34 ± 0,60
M13	52,69 ± 0,59	M28	32,00 ± 0,33
M14	20,57 ± 0,60	M29	49,19 ± 0,59
M15	30,52 ± 1,14	M30	48,54 ± 0,50
Promedio	29,14 ± 2,14	Promedio	30,15 ± 1,99

Los resultados obtenidos en cada uno de los metales analizados (cadmio, cobre, plomo, níquel y zinc) demuestran que las muestras de suelos analizados, correspondientes a suelos donde se cultiva arroz, se encuentran por ahora por debajo de los límites permitidos según lo reportado por la lista holandesa del Ministerio de Salud Pública Holandés de 1994. Sin embargo, es importante aclarar que en Colombia no

existen valores de referencia para metales pesados en suelos de uso agrícola; esto hace que no se pueda diferenciar más claramente cuáles suelos están contaminados y cuáles no. De estos resultados se puede concluir que las aguas que se utilizan para irrigar estos suelos de cultivos no presentan niveles altos de los metales mencionados; sin embargo, se deben realizar estudios más profundos y con mayor frecuencia, ya que estos ríos están muy cercanos a zonas industriales (petroleras), en donde es muy común la presencia de estos metales, debido a que son componentes de materias primas o están presentes como residuos que se generan de dicha actividad, así como desechos residenciales que contienen trazas de estos metales.

#### 4 Conclusiones

Los resultados obtenidos para cada metal permiten concluir que no existen diferencias significativas entre las épocas en las que se tomaron las muestras, y que estos valores están por debajo de los límites reportados por la lista del Ministerio de Salud Pública Holandés, de 1994.

De acuerdo con esa lista, se puede concluir que el área objeto de estudio no presenta por ahora contaminación de estos metales; sin embargo, debido a que según la formación geológica de cada suelo los valores de referencia deben ser particulares para cada uno y a que en Colombia no existen valores de referencia para metales pesados en suelos, no podemos afirmar que los suelos estudiados no tengan niveles altos de concentración de estos metales; así, es de vital importancia generar los estudios necesarios para determinar los valores de referencia que nos permitan caracterizar los suelos y orientar las acciones y políticas para el uso, conservación y remediación de los suelos colombianos.

#### Agradecimientos

A la Dirección General de Investigaciones de la Universidad de los Llanos, por la financiación de este proyecto; al laboratorio de Suelos y al laboratorio de Química de la Universidad de los Llanos, por la caracterización de los suelos, y a C. A. Rivera, por el acompañamiento y toma de las muestras.

## Referencias

- [1] C. Lucho-Constantino, F. Prieto-García, L. del Razo, R. Rodríguez, H. Poggi, “Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 108, pp. 57-71, 2005.
- [2] D. Miranda, C. Carranza, C. Rojas, C. Martin, G. Fisher, J. Zurita, “Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá”, *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 2, no. 2, pp. 180-191, 2008.
- [3] M. Simón, F. Martin, I. Ortiz, I. García, J. Fernández, E. Fernández, C. Dorronsoro, J. Aguilar, “Soil pollution by oxidation of tailings from toxic spill of a pyrite mine”, *Science of the Total Environment*, vol. 279, pp. 63-74, 2001.
- [4] J. Aguilar, C. Dorronsoro, E. Fernández, J. Fernández, I. García, F. Martin, M. Simón, “Soil pollution by a pyrite mine spill in Spain: Evolution in time”, *Science of The Total Environment*, vol. 132, no. 3, pp. 395-401, 2004.
- [5] D. Obrist, X. Fain, C. Berger. “Gaseous elemental mercury emission and CO<sub>2</sub> respiration rates in terrestrial soils under controlled aerobic and anaerobic laboratory conditions”, *Science of The Total Environment*, vol. 408, pp. 1691-1700, 2010.
- [6] M. Muller, M. Anke, “Distribution of cadmium in the food chain (soil-plant-human) of a cadmium exposed area and the health risk of the general population”, *Science The Total Environment*, vol. 56, no. 2, pp. 151-158, 1994.
- [7] S. Puga, M. Sosa, T. Lebgue, C. Quintana, A. Campos, “Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera”, *Ecología Aplicada*, vol. 5, no. 1-2, pp. 149-155, 2006.
- [8] J. Bak, J. Jensen, M. Larsen, G. Pritzl, J. Scott-Fordsmand. “A heavy metal monitoring-programme in Denmark”. *Science of The Total Environment*, vol. 207, pp. 179-186, 1997.
- [9] E. Pilon-Smits, “Phytoremediation”, *Annual Review of Plant Biology*, vol. 56, pp. 15-39, 2005.
- [10] Gestión Ambiental, Calidad del Suelo Extracción de Elementos Traza Solubles en Agua Regia. *Norma Técnica Colombiana 3888*, 2001.
- [11] Calidad del Suelo; Determinación de Cadmio, Cromo, Cobalto, Cobre, Plomo, Manganeseo, Níquel, y Zinc en Extractos de Suelo con Agua Regia. Métodos de Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama y Horno de Grafito. *Norma Técnica Colombiana 3934*, 2003.
- [12] G. Rueda, J. Rodríguez, R. Madriñan, “Metodologías para establecer valores de referencia de metales”, *Acta Agronómica*, vol. 60, no. 3, pp. 203-218, 2011.
- [13] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos, 6<sup>ta</sup> edición. Imprenta Nacional de Colombia, 2006.
- [14] C. Siebe, “Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el distrito de riego 03, Tulua, Hidalgo, México”, *Revista Internacional de Contaminación ambiental*, vol. 10, no. 1, pp. 15-21, 1994.
- [15] T. Spiro, W. Stigliani, *Química Medioambiental*, Madrid: Ed. Pearson Educación, 2007.
- [16] S. Khan, A. Farooqui, M. I. Danish, A. Zeb, “Biosorption of Copper (II) from Aqueous Solution Using Citrus Sinensis Peel and Wood Sawdust: Utilization in Purification of Drinking and Wate Water”, *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, vol. 16, no. 2, pp. 297-306, 2013.
- [17] J. Akan, F. Abdulrahman, A. Sodipo, A. Chiroma, “Distribution of Heavy Metals in the Liver, Kidney and Meat of Beef, Mutton, Caprine and Chicken from Kasuwan Shanu Market in Maiduguri Metropolis, Borno State, Nigeria”, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 2, no. 8, pp. 743-748, 2010.
- [18] G. Nordberg, “Metales: Propiedades químicas y toxicidad productos químicos”. Disponible en: <http://www.insht.es/InsthWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Enciclopedia/OIT/tomo2/63.pdf>. [Fecha de consulta 16 de abril 2015].

- [19] J. Duruibe, M. Ogwuegbu, J. Egwurugwu, "Heavy metal pollution and human biotoxic effects", *International Journal of Physical Sciences*, vol. 2, no. 5, pp. 112-118, 2007.