

EXTRACCIÓN SECUENCIAL DE METALES PESADOS EN SUELOS Y SEDIMENTOS DE LA CUENCA RÍO LA VILLA-PANAMÁ¹

José Ezequiel Villarreal-Núñez²; Adolfo Santo-Pineda³;

Jhon Alexander Villalaz-Pérez⁴; Neldis Ballesteros⁵

RESUMEN

Con el objetivo de determinar, a través de procedimientos de extracción secuencial, la concentración de metales pesados en sus diferentes fases en suelos y sedimentos bajo actividad agropecuaria intensiva dentro de la cuenca del río La Villa. Se tomaron 41 muestras de suelo y sedimentos en la época lluviosa del año 2016 (abril-diciembre) y la época seca de 2017 (enero-marzo). Se midió el contenido total de Cu, Zn, Cr, Cd, Ni, Pb y As y se realizó su especiación según la metodología de Keller y Védy. Se elaboraron gráficas de barras y se compararon los promedios de cada fracción por medio de la prueba de t de Student. En el suelo se encontró niveles de Cu y en los sedimentos Cu, Cr y As por encima de los niveles permitidos por la norma de la Unión Europea. Cd, Pb y As mostraron elevados porcentajes en las fracciones soluble en agua e intercambiable, siendo estas biodisponibles y por tanto ofrecen mayor riesgo ambiental. Cd, Pb y As por medio de la prueba t de Student mostraron probabilidades estadísticamente significativas de que sus niveles sean mayores que la media en el futuro. Se atribuye la presencia de estos metales pesados en suelos y sedimentos de la cuenca del río La Villa a la acción antropogénica.

Palabras claves: Contaminación, especiación, extracción secuencial, riesgo ambiental, toxicidad.

¹Recepción: 13 de febrero de 2019. Aceptación: 13 de julio de 2019. Proyecto financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) y el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Tesis de maestría en ciencias agrícolas con énfasis en manejo de suelo y agua de la Universidad de Panamá.

²IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Divisa (CIA-Divisa). Vía Interamericana s/n, Divisa, Santa María, provincia de Herrera, Panamá. Ph.D. Edafología. e-mail: jevilla38@gmail.com

³Universidad de Panamá. Centro Regional Universitario de Los Santos. Las Tablas, provincia de Los Santos, Panamá. Ing. Forestal. Tesista, maestría en manejo de suelo y agua. e-mail: asantospineda@gmail.com

⁴IDIAP. CIA-Divisa. Vía Interamericana s/n, Divisa, Santa María, provincia de Herrera, Panamá. M.Sc. Manejo de Suelo y Agua. e-mail: jvillalaz14@gmail.com

⁵Universidad Católica Santa María La Antigua-Sede Azuero. Chitré, provincia de Herrera. Estudiante de licenciatura en recursos naturales. e-mail: elinel2121@hotmail.com



EXTRACTION OF HEAVY METALS IN SOILS AND SEDIMENTS OF LA VILLA RIVER BASIN IN PANAMA

ABSTRACT

With the objective of determining, through sequential extraction procedures, the concentration of heavy metals in its different phases in soils and sediments under intensive agricultural activity within the basin of the La Villa river. 41 Samples of soil and sediments were taken in the rainy season of 2016 (April-December) and the dry season of 2017 (January-March). The total content of Cu, Zn, Cr, Cd, Ni, Pb and As was measured and speciation was performed according to the Keller and Védy methodology. Bar graphs were prepared, and the averages of each fraction were compared by means of the Student's t test. In the soil Cu levels were found and in the sediments Cu, Cr and As above the levels allowed by the European Union standard. Cd, Pb and As showed high percentages in the fractions soluble in water and interchangeable, being these bioavailable and therefore offer greater environmental risk. Cd, Pb and As through Student's t test showed statistically significant probabilities that their levels are higher than the average in the future. The presence of these heavy metals is attributed to anthropogenic action in soils and sediments of the La Villa river basin.

Key words: Environmental risk, pollution, sequential extraction, speciation, toxicity.

INTRODUCCIÓN

La meteorización química y mecánica de las rocas y la influencia de ciertos procesos microbiológicos producen el suelo. La presencia en los suelos de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos (contaminantes) es un tipo especial de degradación que se denomina contaminación. Por su origen puede ser geogénico o antropogénico. Los primeros 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 industriales, agrícolas, mineras, entre otros y de los residuos sólidos urbanos (Galán y Romero, 2008).

Las cantidades totales no representan una medida adecuada de la potencial toxicidad de un determinado metal, su especiación química va a brindar elementos no solo en su disponibilidad sino también en su grado de toxicidad. Los metales pesados pueden estar disueltos en fases solubles en la solución del suelo, adsorbidos a los sitios de intercambio, asociados a la materia orgánica, precipitados como óxidos, hidróxidos y



carbonatos y la fracción residual formando parte de la estructura de los minerales silicatados (menos riesgo de contaminación). Las fracciones solubles y adsorbidas son fácilmente asimilables por las plantas (Keller y Védy, 1994).

La movilidad de un metal depende no sólo de su especiación química, sino de una serie de parámetros del suelo tales como pH, materia orgánica, carbonatos, minerales de la arcilla, etc. Así, no todos los cationes de cambio están igualmente disponibles, sino que depende del mineral o minerales de los que están formando parte como complejo de cambio (González et al., 2008).

La metodología de Keller y Védy (1994) fue desarrollada a partir de la unión de los métodos de Tessier y Shuman (LA y Barra, 2003). Su ventaja es que subdividió la fracción de los metales asociados a óxidos en dos grupos: unidos a óxidos de manganeso y a óxidos de hierro.

Se han realizado diversos estudios en diferentes países para la extracción secuencial de los metales pesados producto de la actividad antropogénica en suelos agrícolas (Matthews y Kakulu, 2012; Rueda et al., 2011; Robledo et al., 2010).

En suelos ácidos de Paty do Alferes, Estado de Rio de Janeiro, Brasil, donde se practica una agricultura intensiva (Villarreal et al., 2006 y 1999), encontraron que gran cantidad de los metales pesados presentes en el suelo provenía de aplicaciones antropogénicas por medio de agroquímicos, fertilizantes fosfatados y abonos orgánicos procedentes de la cría de animales. Igualmente, determinaron que la pérdida de la capa fértil del suelo, por la mala preparación de los mismos, podía servir como medio para diseminar los altos niveles de los metales disueltos en fases acuosas contaminando las aguas superficiales y los suelos de las partes bajas con los sedimentos provenientes de las partes altas contaminadas.

El presente estudio se realizó en zonas donde se desarrolla una gran actividad agropecuaria. En estas tierras históricamente se ha desarrollado la producción de maíz, tomates, caña de azúcar, melones, sandías, ajíes, pastos y ganadería de carne y leche.



Son tierras sometidas a un uso intensivo de agroquímicos e influenciadas por descargas de subproductos de empresas agroindustriales ubicadas dentro de la cuenca.

El objetivo del estudio fue determinar, a través de procedimientos de extracción secuencial, la concentración de metales pesados en sus diferentes fases en suelos y sedimentos bajo actividad agropecuaria intensiva dentro de la cuenca del río La Villa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un monitoreo completamente al azar de la concentración de metales pesados en suelos y sedimentos ubicados en la cuenca alta, media y baja del río La Villa. Esta cuenca tiene una superficie de 1157,5 Km² (645,8 Km² en la provincia de Herrera y 511,7 Km² en la provincia de Los Santos). Se ubica entre los 7°30'10'' y 8°0'22'' de latitud norte y entre 80°12'35'' y 80°50'15'' de longitud oeste.

En su mayoría está compuesta por suelos del orden alfisol e inceptisol (ANAM, 2008; Villarreal et al., 2017) formados en el cretáceo superior, inicialmente cubierto por material volcánico intermedio, volcánico básico y tobas (Ruíz, 1982).

En la cuenca alta tiene una precipitación promedio de 2200 mm y en su parte baja unos 1054 mm anuales, está última forma parte del llamado Arco Seco de Panamá, en la vertiente del Pacífico en la península de Azuero. Su temperatura promedio anual oscila en torno de 27° a 28°C (ANAM, 2008).

Se realizaron muestreos de suelos en fincas productivas para determinar la concentración de metales pesados (Cd, Ni, Cu, Zn, Pb, As y Cr) en la época lluviosa (10 muestras de suelo y 11 de sedimentos de abril a diciembre de 2016) y en época seca (9 muestras de suelo y 11 de sedimentos de enero a marzo de 2017), utilizando el método sistemático o de rejilla que consiste en seleccionar puntos de muestreos a distancias uniformes (en zig-zag, diagonal o cuadrícula), dependiendo del área que se esté estudiando. Por lo general, este es el método utilizado en programas de monitoreo ya que permite la toma de muestras más representativas (SEMARNAT, 2010).



La definición de las metodologías de muestreo fue decidida por la topografía, actividad principal, clima y tipo de suelo, por lo cual se procuró seleccionar un área preferentemente rectangular de aproximadamente 10,0 m x 30,0 m, sobre el cual se realizó la toma de las submuestras con un número de 15 en cada rejilla, aproximadamente 100,0 g cada una, a 30,0 cm de profundidad. Posteriormente, fueron homogeneizadas para que dicho muestreo ofreciera resultados representativos para la descripción del sitio. En cada sitio se tomaron cuatro réplicas de cada muestra.

La mejor época del muestreo se decidió tomando en cuenta la tecnología empleada por el productor. Uso agropecuario sin riego: para cultivos anuales en la época de cosecha, cuando se han acumulado los contaminantes químicos utilizados durante el periodo de desarrollo del cultivo. En el caso de los cultivos de agroexportación bajo riego, generalmente ocurre en la temporada seca.

Cada sitio muestreado fue georreferenciado utilizando un GPS para determinar su localización exacta.

La digestión de los suelos y sedimentos para determinar la concentración de metales pesados (As, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn y Cd) se realizó de acuerdo con el método 3050B (USEPA, 1996). Se determinó en un espectrómetro de absorción atómica de llama con fuente continua de Xenón.

La ubicación geográfica de donde fueron tomadas las muestras de suelo en época lluviosa y seca, se observan en la Figura 1 y los Cuadros 1 y 2, respectivamente.



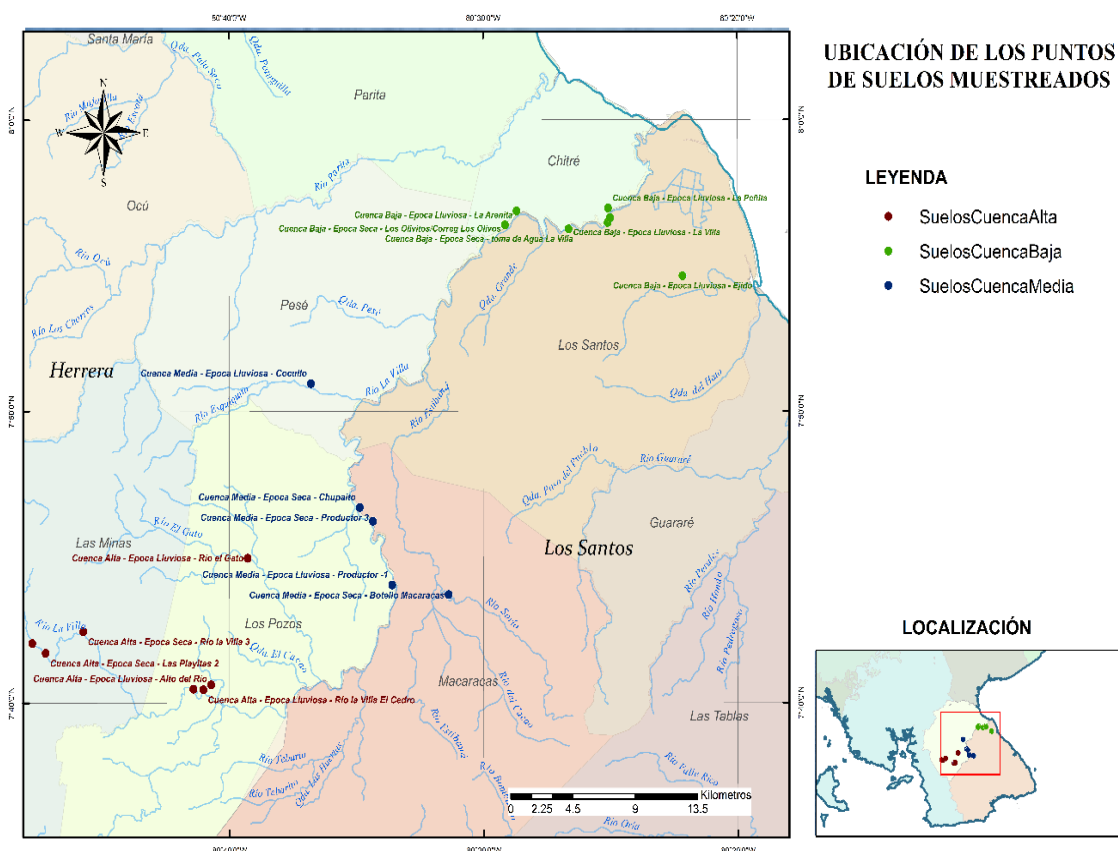


Figura 1. Puntos donde se muestrearon los suelos. Cuenca alta, media y baja del río La Villa. Provincias de Herrera y Los Santos, Panamá, 2016-2017 .

Cuadro 1. Ubicación de los suelos muestreados en época lluviosa. Cuenca río La Vi Ila – Panamá, 2016.

Lugar	COORDENADAS		Altura msnm
	Latitud N	Longitud O	
Quebrada de Piedra	534158	848358	273,0
Río la Villa El Cedro	534879	848316	3
Alto del Río	535447	848625	3,48
Río El Gato	538083	856630	205
Productor 1	548531	854942	107
Cocullo	542654	867661	81
La Peña	564131	878767	12
La Arenita	557520	878586	55
El Ejido	569514	874485	53
La Villa	564102	877854	11



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

Cuadro 2. Ubicación de los suelos muestreados en época seca. Cuenca alta, media y baja del río La Villa – Panamá, 2017.

Lugar	COORDENADAS		
	Latitud N	Longitud O	Altura msnm
Las Playita 1	522508	851235	482
Las Playita 2	523478	850617	480
Río La Villa M-3	526199	851982	461
Botello Macaracas	552605	854332	90
Chupaito	546183	859834	93
Productor 3	547133	858969	88
Toma de Agua La Villa	561276	877446	21
Los Olivito	556684	877698	30
La comadre Vieja / La villa	564268	878148	30

Los sitios y ubicación geográfica de donde se tomaron las muestras de sedimentos en la época lluviosa y seca, se observan en la Figura 2 y los Cuadros 3 y 4, respectivamente.

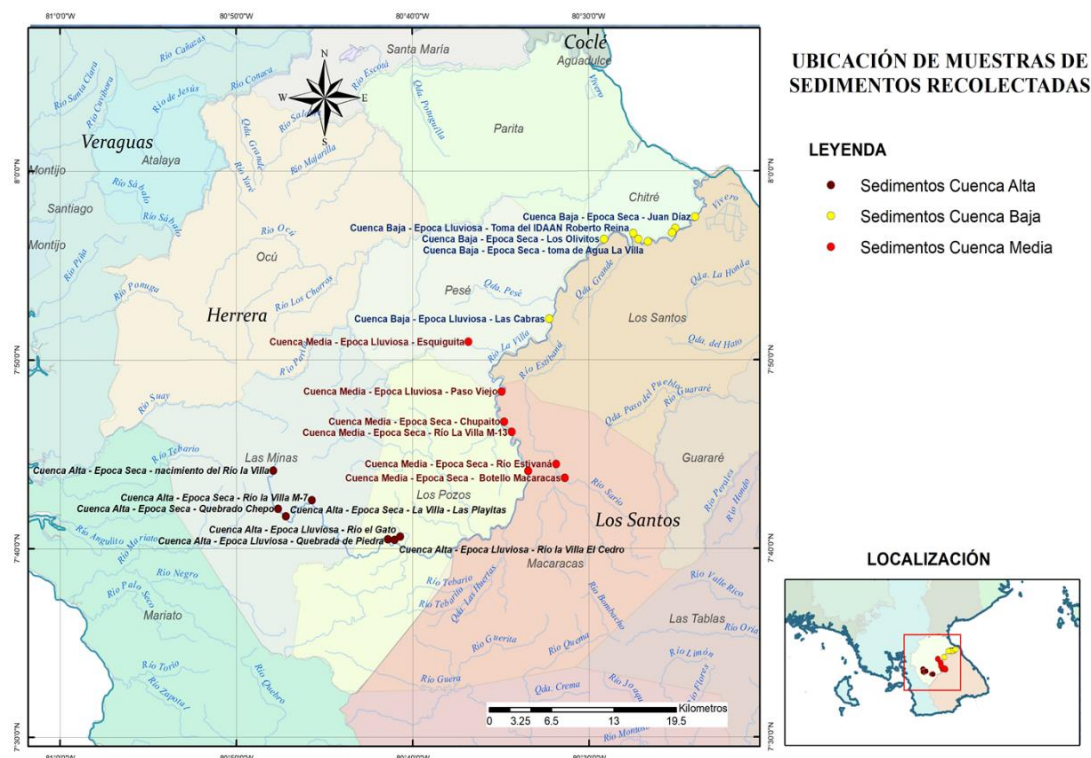


Figura 2. Puntos donde se muestrearon los sedimentos. Cuenca alta, media y baja del río La Villa. Provincias de Herrera y Los Santos- Panamá, 2016-2017.



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

Cuadro 3. Ubicación de los sedimentos muestreados en época lluviosa. Cuenca alta, media y baja del río La Villa – Panamá, 2016.

Lugar	COORDENADAS		
	Latitud N	Longitud O	Altura msnm
Quebrada de Piedra	534158	848358	273
Río La Villa El Cedro	534879	848316	3
Río el Gato	535447	848625	3,48
Río La Villa Taguara	548788	855031	100
Paso Viejo	546018	862801	83
Esquiguita	542568	867654	65
Río La Villa La Peñita	564131	878767	12
Río La Villa Jalisco	563822	78332	32
Toma del IDAAN- R. Reina	559749	878269	48
Las Cabras	550988	869904	60
Balneario la Providencia	560298	877694	85

Cuadro 4. Ubicación de los sedimentos muestreados en época seca. Cuenca alta, media y baja del río La Villa – Panamá, 2017.

Lugar Seca	COORDENADAS		
	Latitud N	Longitud O	Altura msnm
Nacimiento del río La Villa	522227	855082	599,0
La Villa - Las Playita	523518	850608	474
Quebrado Chepo	522709	851346	317
Río La Villa Escudero	526245	852184	448
Botello Macaracas	552617	854356	63
Río Estivana	551728	555720	82
Chupaito	546300	859863	98
Río La Villa M-13	547086	858848	78
Toma de Agua La Villa	561276	877446	21
Los Olivitos	556694	877698	30
Juan Díaz	566191	879872	44

Mediante el procedimiento de extracción secuencial desarrollado por Keller y Védý (1994). Se determinó a que fase del suelo (soluble, adsorbido, asociado a la materia orgánica, precipitado y residual) está unido y se conoció el grado de biodisponibilidad y riesgo ambiental que cada uno representa para el ecosistema (Figura 3).



Se compararon los niveles encontrados con los permitidos por Normas de EPA (USEPA, 1993) y las directivas de la Comisión Económica Europea: Council Directive 126/1986/EEC (UE). Estas normas ambientales son utilizadas en Estados Unidos y en los países pertenecientes a la Unión Europea, respectivamente, como referencia para determinar si un suelo contiene niveles permitidos, considerados normales o en caso de sobrepasar los límites establecidos el Estado inicia un proceso de investigación para determinar qué está causando ese aumento.

Los promedios de la extracción secuencial se compararon por medio del procedimiento de comparación de medias de t de Student para muestras pareadas. Se elaboraron gráficas de barra de cada una de las fracciones encontradas para cada metal.

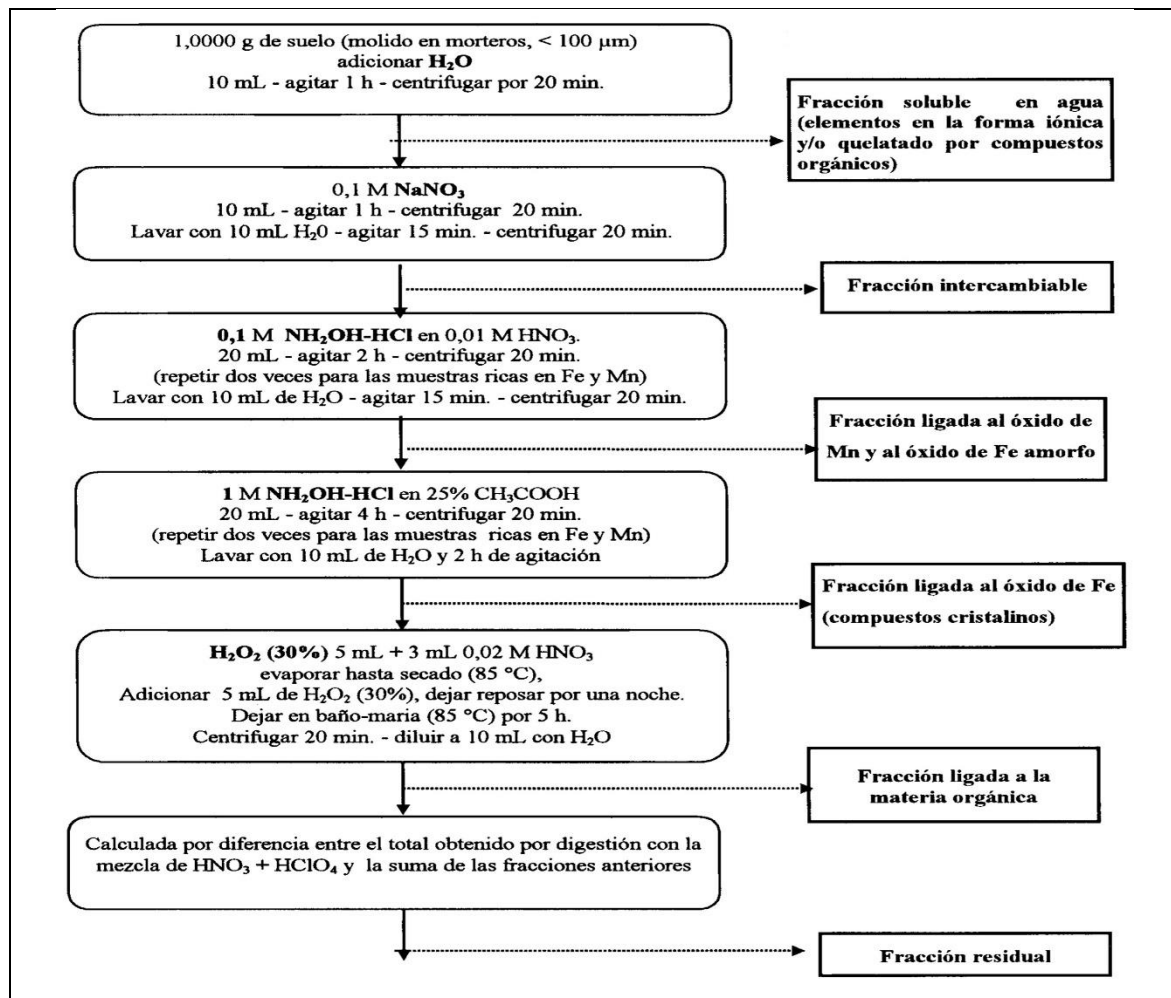


Figura 3. Esquema de extracción secuencial de Keller y Védy (1994).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido total de metales pesados en suelos y sedimentos

Los promedios del contenido total de metales pesados en los suelos muestreados durante la época lluviosa de 2016 y la época seca de 2017 (Villarreal et al., 2018) se atribuyen, especialmente, a actividades antropogénicas como uso de agroquímicos y minería clandestina.

Los resultados de los análisis de fertilizantes sintéticos mostraron que uno de los fertilizantes fosforados presentó altos niveles de Cr (Villarreal et al., 2018).

Fraccionamiento secuencial y especiación de los metales pesados

Al realizar el fraccionamiento a las 41 muestras de suelo y sedimentos colectadas se observó que la mayoría de los metales mostró preferencia (>85%) por las fracciones más estables: unido a los óxidos de Fe cristalinos, asociada a la materia orgánica y fracción residual, la más estable de todas.

Solamente el Cd, Pb y As mostraron elevados porcentajes en las fracciones biodisponibles: soluble en agua e intercambiable.

Tanto en suelo como en sedimento de la cuenca alta se observa el predominio del Cd en la fase intercambiable (Figura 4). Este es uno de los elementos que presenta mayor movilidad en el suelo (Villarreal et al., 1999). Esta elevada movilidad se puede atribuir a que estos suelos presentan bajo contenido de materia orgánica y pH ácido lo que favorece su biodisponibilidad.



Extracción Secuencial: Cd cuenca alta

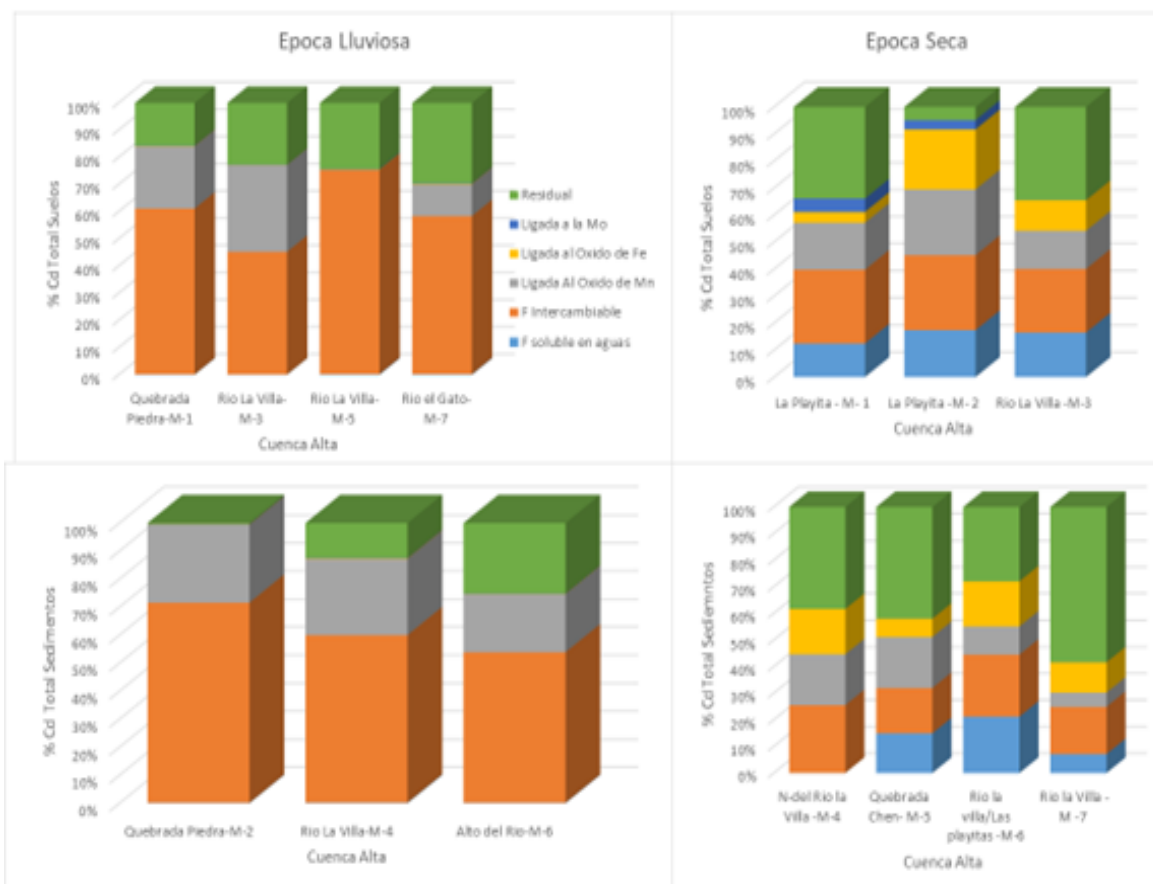


Figura 4. Fraccionamiento del Cd en muestras de suelo y sedimento de la cuenca alta del río la Villa – Panamá, 2016-2017.

Se observa que cerca de un 70% del Cd presente en el sedimento del balneario la Taguara y el río Espiguita (cuenca media) está en forma intercambiable (Figura 5).



Cd cuenca media

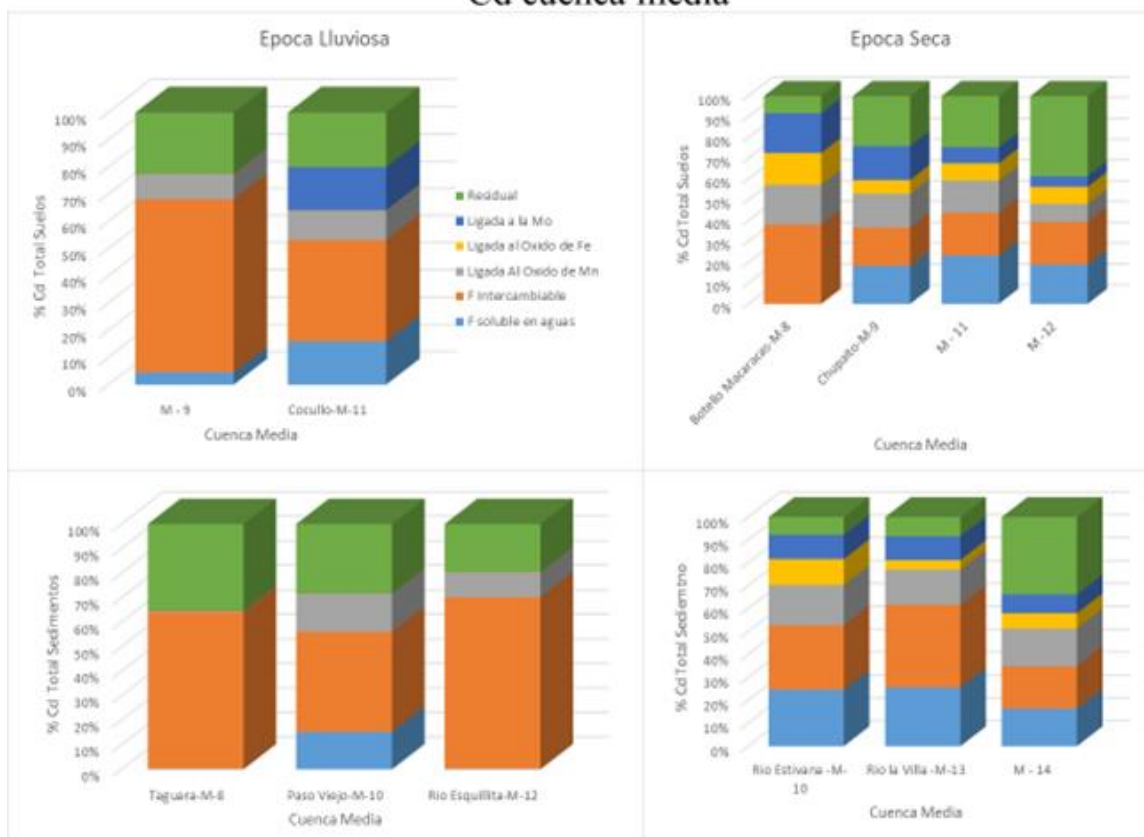


Figura 5. Fraccionamiento del Cd en muestras de suelo y sedimento de la cuenca media del río la Villa – Panamá, 2016-2017.

En el suelo muestreado en el Centro de Investigación del IDIAP en La Villa de Los Santos y en la estación experimental El Ejido de Los Santos (cuenca baja), se observó elevado porcentaje de Cd soluble en agua (50%) y en el balneario La Arenita (Figura 6).

En los sedimentos destaca el sitio de la toma de agua del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) donde se observa que arriba de un 90% del Cd está en la fracción intercambiable, fácilmente asimilable por los cultivos y animales. Aunque hasta la fecha las concentraciones no sobrepasan los límites aceptables, es necesario el monitoreo de estas áreas.



Cd cuenca baja

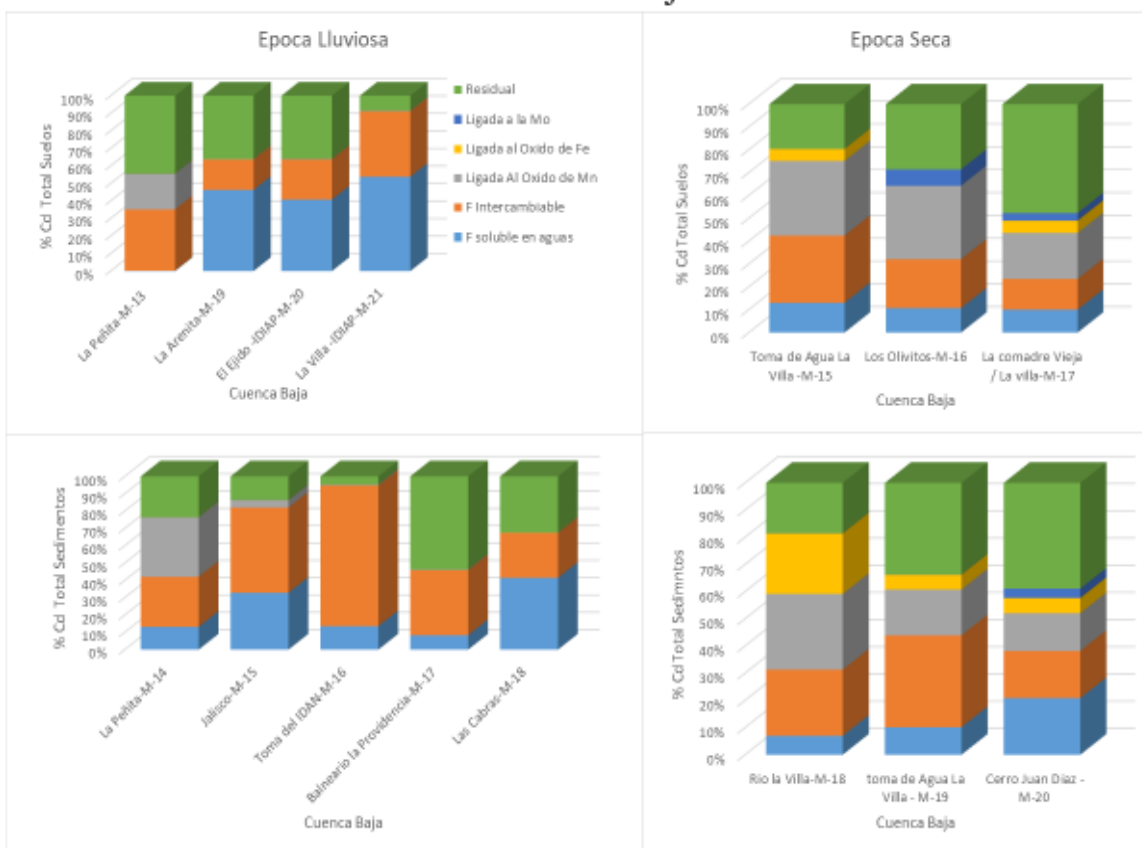


Figura 6. Fraccionamiento del Cd en muestras de suelo y sedimento de la cuenca baja del río la Villa – Panamá, 2016-2017.

La elevada proporción de As soluble en agua en la muestra de suelo de Quebrada Piedra (Figura 7) se destaca en la cuenca alta del río la Villa. Esto se podría atribuir a los efectos de la mineración de oro clandestina existente en la zona.

La presencia de As en suelo puede atribuirse, en ocasiones, a fuentes naturales ya que este elemento se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre y es común en minerales de azufre junto con hierro (FeS) y/o metales preciosos (Kim et al., 2003). Su movilización ocurre cuando las especies de As se liberan de los minerales que contienen azufre durante los procesos de erosión, procesamiento de minerales, actividad biológica y emisiones volcánicas (USEPA, 2004). Frecuentemente las actividades antropogénicas como la mineración clandestina, uso de agroquímicos, aditivos alimenticios, preservantes para madera y cuero, incineración de combustibles fósiles, se convierten en fuentes de liberación de As (Segura et al., 2002).



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

As cuenca alta

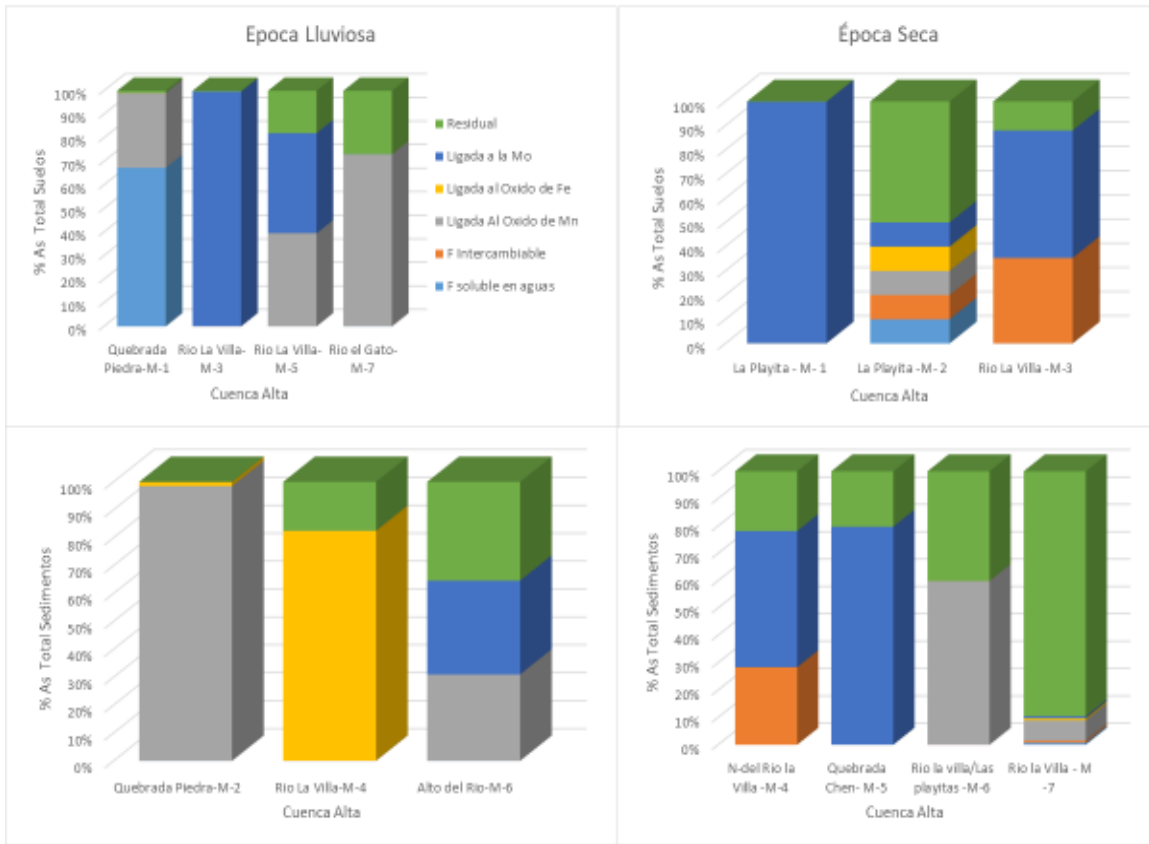


Figura 7. Fraccionamiento del As en muestras de suelo y sedimento de la cuenca alta del río la Villa – Panamá, 2016-2017.

En la cuenca media se observa la presencia de As en fases muy estables, sin embargo, en algunas áreas hay gran porcentaje en la fase intercambiable tanto en suelos como en sedimentos (Figura 8).



As cuenca media

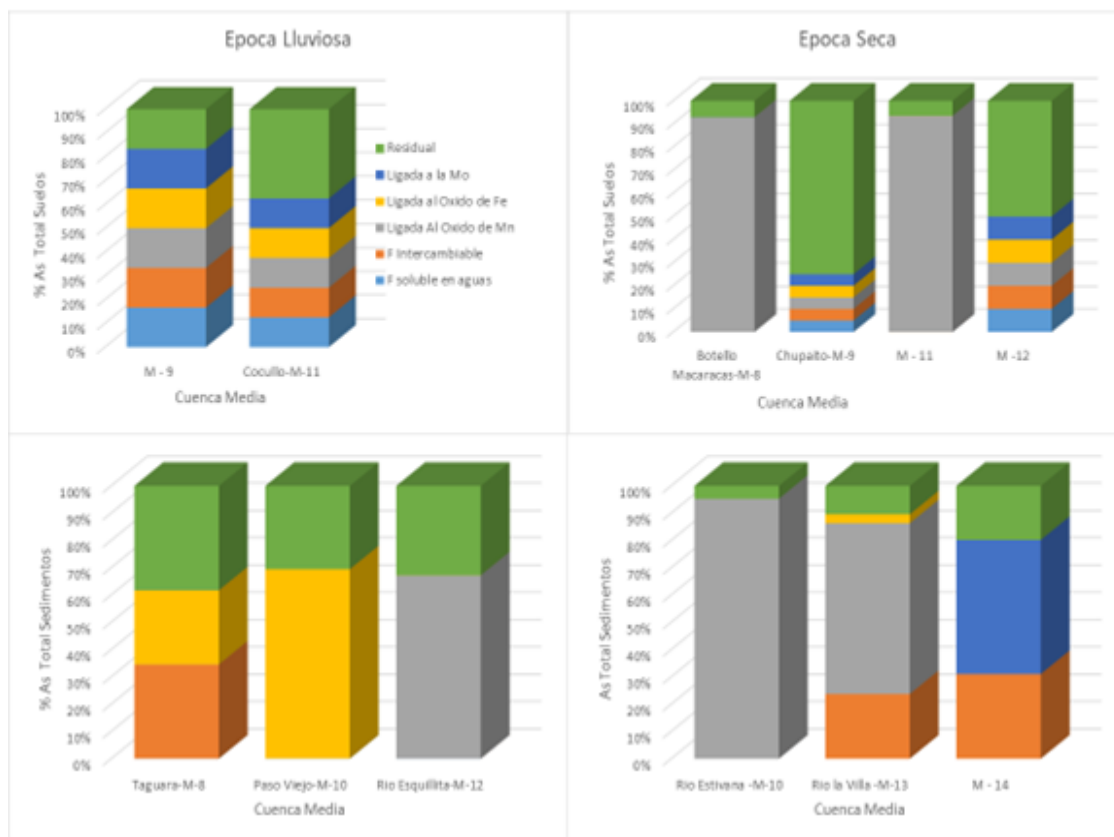


Figura 8. Fraccionamiento del As en muestras de suelo y sedimento de la cuenca media del río la Villa – Panamá, 2016-2017.

El suelo del Centro de Investigación del IDIAP en La Villa de Los Santos (40%), ubicado a orillas del río y sujeto a inundaciones y en los sedimentos de la toma de agua del IDAAN (75%), hay un predominio del As en la fase intercambiable en la época lluviosa (Figura 9), lo que podría atribuirse a efectos de la erosión desde la cuenca alta.



As cuenca baja

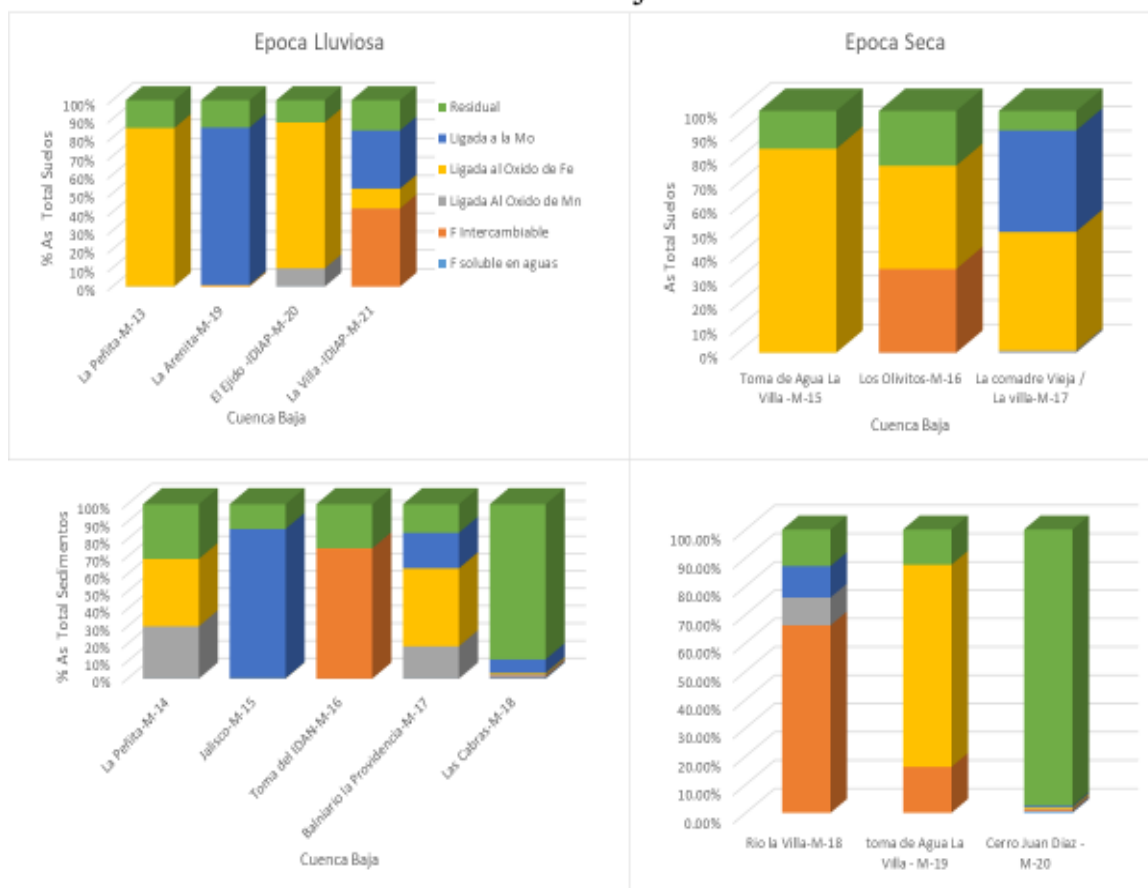


Figura 9. Fraccionamiento del As en muestras de suelo y sedimento de la cuenca baja del río la Villa – Panamá, 2016-2017.

Los resultados del análisis de comparación de medias por medio de la prueba de t de Student para muestras pareadas ($p < 0,05$) en suelos y sedimentos se observan en los Cuadros 5 y 6, respectivamente. De forma general, se nota que existe probabilidad altamente significativa de que haya acumulación en la fracción residual, coincidiendo con los datos encontrados por Villarreal et al., (1999). Los metales como el Cd presentan mayor movilidad en el agua y el suelo lo que se comprueba en estos resultados al observarse que existe una probabilidad altamente significativa de que aumente su concentración en la fracción intercambiable en suelos y sedimentos, siendo esta fracción biodisponible y con alto riesgo ambiental.



Se verifica que en el suelo de la cuenca alta la probabilidad de que la variable sea mayor que el promedio ($X > x$) fue significativa para el Cu, Cd, Pb y As en las fracciones soluble e intercambiables (Cuadro 5). Estos metales pesados se asocian con la mineración del oro existente en la zona (Ruíz, 1982). Igualmente, en la cuenca media se obtuvo probabilidad significativa para Cd, Ni y As y en la baja para Cd y As, estos últimos, muy probablemente proveniente de fuentes antropogénicas producto de la intensa actividad agrícola, ganadera y los intensos procesos de erosión que ocurren en la cuenca.

Con relación a los sedimentos (Cuadro 6), se observó probabilidad estadísticamente significativa en la cuenca alta para Cr, Cd, y Pb. El Cr es muy utilizado en la cría de cerdos, su presencia se asocia con esta actividad. En las cuencas media y baja se obtuvo probabilidad estadísticamente significativa para Cd, Pb y As, coincidiendo con lo encontrado en los suelos producto de la elevada erosión existente en la cuenca debido a la deforestación.

Cuadro 5. Nivel de significancia de medias de las fracciones a los que están unidos los metales pesados por medio de la prueba de t de Student para muestras pareadas en suelos ($X > x$). Cuenca alta, media y baja del río La Villa - Panamá, 2016-2017.

Fracción	Cu	Zn	Cr	Cd	Ni	Pb	As
Suelo Cuenca Alta							
Soluble en agua	0,32	0,50	0,50	0,04*	0,49	0,05*	0,17
Intercambiable	0,01**	0,45	0,38	0,01**	0,39	0,04*	0,04*
Asociado a óxidos de Mn	0,03*	0,05*	0,41	0,02*	0,08	0,04*	0,02*
Asociado a óxidos de Fe	0,02*	0,02*	0,24	0,05*	0,01**	0,01**	0,17
Materia orgánica	0,02*	0,02*	0,05*	0,19	0,03*	0,05*	0,01**
Residual	0,02*	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,02*
Suelo Cuenca Media							
Soluble en agua	0,42	0,21	0,28	0,03*	0,05*	0,08	0,04*
Intercambiable	0,50	0,21	0,45	0,01**	0,39	0,49	0,04*
Asociado a óxidos. de Mn	0,50	0,01**	0,42	0,02*	0,03*	0,03*	0,01**
Asociado a óxidos. de Fe	0,02*	0,05*	0,31	0,06	0,02*	0,01**	0,04*
Materia orgánica	0,02*	0,14	0,28	0,03*	0,13	0,02*	0,04*
Residual	0,01**	0,01**	0,01**	0,02*	0,01**	0,01**	0,01**
Suelo Cuenca Baja							
Soluble en agua	0,50	0,50	0,50	0,01**	0,38	0,08	0,50
Intercambiable	0,50	0,19	0,29	0,01**	0,14	0,06	0,02*
Asociado a óxidos de Mn	0,50	0,29	0,30	0,02*	0,49	0,04*	0,45
Asociado a óxidos de Fe	0,05*	0,02*	0,28	0,16	0,01**	0,02*	0,01**
Materia orgánica	0,03*	0,11	0,13	0,16	0,09	0,01**	0,01**
Residual	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,02*

* significativo a $p < 0,05$ ** altamente significativo $p < 0,01$



©2020 Ciencia Agropecuaria es desarrollada en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escribir a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa

Cuadro 6. Nivel de significancia de medias de las fracciones a los que están unidos los metales pesados por medio de la prueba de t de Student para muestras pareadas en sedimentos (X>x). Cuenca alta, media y baja del río La Villa – Panamá, 2016-2017.

Fracción	Cu	Zn	Cr	Cd	Ni	Pb	As
Sedimentos Cuenca Alta							
Soluble en agua	0,42	0,50	0,01**	0,04*	0,49	0,03*	0,46
Intercambiable	0,50	0,23	0,42	0,01**	0,39	0,06	0,46
Asociado a óxidos de Mn	0,50	0,07	0,41	0,02*	0,08	0,04*	0,01**
Asociado a óxidos de Fe	0,02*	0,02*	0,09	0,05*	0,01**	0,01**	0,02*
Materia orgánica	0,02*	0,02*	0,06	0,47	0,03*	0,03*	0,02*
Residual	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**
Sedimentos Cuenca Media							
Soluble en agua	0,40	0,50	0,44	0,02*	0,10	0,04*	0,49
Intercambiable	0,50	0,50	0,39	0,01**	0,22	0,08	0,02*
Asociado a óxidos de Mn	0,50	0,20	0,40	0,02*	0,08	0,04*	0,01**
Asociado a óxidos de Fe	0,02*	0,01**	0,19	0,08	0,01**	0,01**	0,02*
Materia orgánica	0,02*	0,07	0,21	0,06	0,17	0,04*	0,04*
Residual	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,02*
Sedimentos Cuenca Baja							
Soluble en agua	0,47	0,50	0,48	0,02*	0,50	0,06	0,43
Intercambiable	0,50	0,12	0,45	0,01**	0,50	0,05*	0,01**
Asociado a óxidos de Mn	0,50	0,43	0,47	0,02*	0,50	0,05*	0,05*
Asociado a óxidos de Fe	0,01**	0,03*	0,36	0,06	0,01**	0,01**	0,02*
Materia orgánica	0,05*	0,14	0,11	0,31	0,32	0,06	0,09
Residual	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**	0,01**

* significativo a $p < 0,05$ ** altamente significativo $p < 0,01$

CONCLUSIONES

- Conocer las fracciones del suelo a las que está unido el metal pesado resulta de gran utilidad para determinar el impacto ambiental que pueda presentar una determinada especie. Algo que no se puede medir si solo se determina la concentración total del metal.
- El fraccionamiento de los metales pesados mostró elevado porcentaje de cadmio, plomo y arsénico en las fracciones con mayor biodisponibilidad: fracción soluble en agua e intercambiable, las cuales representan mayor riesgo ambiental. Los tres casos se asocian en la cuenca alta a la mineración clandestina ya que estos metales están presentes en minerales asociados con metales preciosos y su movilización se ve favorecida por los intensos procesos de erosión que se desarrollan en la cuenca.



- Tanto en suelos como en sedimentos el cadmio, plomo y arsénico, presentaron elevada probabilidad de que sus promedios en las fracciones biodisponibles aumenten en los próximos años debido a la intensa actividad agropecuaria y agroindustrial en la zona.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a la SENACYT el financiamiento del presente trabajo. También la colaboración del personal del Ministerio de Ambiente y del Ministerio de Desarrollo Agropecuario para la realización del muestreo de suelo y sedimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente). 2008. Plan de ordenamiento territorial ambiental de la cuenca del río La Villa. ANAM. Panamá. 132 p.
- Economical European Comission: Council Directive 126/1986. On the protection of the environment and in particular of the soil when sewage sludge is used in agricultura, 86/278/CEE. Off. J. of the Eur. Comm. Nº L186/6-12, 4/7/1986.
- Galán, E., y A. Romero. 2008. Contaminación de suelos por metales pesados. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía. MACLA 10: 48-60.
- González, I., M. López, A. Romero, J.C. Fernández- Caliani, P. Aparicio, y E. Galán. 2008. Influencia de la composición mineralógica sobre la movilidad de elementos traza en suelos agrícolas afectados por explotaciones mineras de la Faja Pirítica Ibérica. Geotemas, 10: 977-980.
- Keller, C., and J.C. Védy. 1994. Distribution of copper and cadmium fractions in two forest soils. J. Environmental Quality. 23: 987-999.
- Kim, J.Y., A.P. Davis, and K.W. Kim. 2003. Stabilization of available arsenic in highly contaminated mine tailings using iron. Enviromental Science Technology. 37 (1): 189-195.



- LA, O., y C. Barra. 2003. Avaliacao dos métodos de extracao sequencial de Tessier, Keller y Miller na determinacao de ferro nativo en tres tipos de solos: Orgánico, Brunizem e Latossolo. Quim. Nova. 26 (3): 323-330.
- Mathews, O., y S. Kakulu. 2012. Heavy metals pollution in agricultural soils of adogo in Ajaokuta local government area of Kogi State, Nigeria. Int. J. Pure Appl.Sci. Technol. 11 (1): 126-131.
- Robledo, E., V. Espinosa, R. Maldonado, J.E. Rubiños, E. Hernández, E. Ojeda, y L. Corlay. 2010. Sales solubles y metales pesados en suelos tratados con biosólidos. Rev Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 16 (2): 241-251.
- Rueda, G., J.A. Rodríguez, y R. Madriñán, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: perspectivas para Colombia. Acta Agron. 60 (3): 203-218.
- Ruíz, A.E. 1982. Estudio geológico de El Montuoso. Universidad Popular de Azuero. Editorial Litho Impresora La Villa. Los Santos. Panamá. 31 p.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Guía Técnica para orientar en la Elaboración de Estudios de Caracterización de Sitios Contaminados. Ministerio del Ambiente. México, 217 p.
- Segura, M., J. Muñoz, Y. Madrid, y C. Cámara. 2002. Stability study of As (III), As (V), MMA and DMA by anion Exchange chromatography and HG-AFS in wastewater samples. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 374: 513-519.
- USEPA (United States Environment Protection Agency). 2004. Monitoring arsenic in the environment: A review of science and technologies for field measurements and sensors. EPA542/R-04/002. National Service Centre for Environment Publications (NSCEP). Office of solid waste and emergency response. U.S. Environment Protection Agency, Washington, D.C. 20460. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1000EOV.TXT>. (Consultado 20 jun. 2020).



- USEPA (United States Environment Protection Agency). 1996. Method 3050B, acid digestion of sediments, sludges, and soils. United States Environmental Protection Agency (USEPA), 12 p. <https://www.epa.gov/esam/epa-method-3050b-acid-digestion-sediments-sludges-and-soils>. (Consultado 17 may. 2017).
- USEPA (United States Environment Protection Agency). 1993. EPA/600/4-90/027F. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. Fourth ed. Cincinnati, Ohio. 273 p. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/acute-freshwater-and-marine-wet-manual_2002.pdf. (Consultado 20 jun. 2020).
- Villarreal, J.E., A. Santo, J.A. Villalaz, N. Ballesteros, y I.A. RAMOS. 2018. Metales pesados en suelos y sedimentos dentro de la cuenca del río La Villa-Panamá. www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/53/39. (Consultado 25 mayo 2019).
- Villarreal, J.E., I.A. Ramos, J.A. Villalaz, y A. Santo, A. 2017. Clasificación taxonómica y caracterización fisicoquímica de los suelos de la región de Azuero-Panamá. IX Congreso de suelos de Costa Rica. 25 al 27 de octubre de 2017, San José, Costa Rica. www.sueloscr.com/congreso. (Consultado 16 mar. 2019).
- Villarreal, J.E., N.M.B. Amaral Sobrinho, y N. Mazur. 2006. Sistemas de preparo do solo e acúmulo de metais pesados no solo e na cultura do pimentão. *Ciência Rural*, Santa Maria, 36 (1): 113-119.
- Villarreal, J.E., N.M.B. Amaral Sobrinho, F. Palmieri, y A. Alcantara. 1999. Consequencias de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a contaminação do solo e agua por metais pesados. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*. Viçosa: 23 (4): 981-990.

