

## METALES PESADOS EN SUELOS Y SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO LA VILLA-PANAMÁ<sup>1</sup>

*José Ezequiel Villarreal-Núñez<sup>2</sup>; Adolfo Santo-Pineda<sup>3</sup>; Jhon Alexander Villalaz-Pérez<sup>4</sup>;  
Neldis Ballesteros<sup>5</sup>; Iván Alexis Ramos-Zachrisson<sup>6</sup>*

### RESUMEN

El objetivo fue determinar la concentración de metales pesados en suelos, sedimentos, abonos orgánicos y agroquímicos que se utilizan comúnmente para la producción agropecuaria dentro de la cuenca del río La Villa, provincias de Herrera y Los Santos, Panamá. Se tomaron 21 muestras de suelo y sedimentos en época lluviosa (2016) y 20 en época seca (2017) en la parte alta, media y baja de la cuenca. Además de muestras de abonos y agroquímicos comúnmente utilizados en la zona. Se realizó un muestreo totalmente al azar. Las muestras fueron digeridas de acuerdo con el protocolo de 3050B de EPA. Se realizó análisis de varianza y correlaciones entre la concentración de Cu, Zn, Mn, Fe, Cr, As, Ni, Cd, Pb y propiedades del suelo. Se encontraron elevados valores de Cu en el suelo, Cu, Mn, Cr y As en los sedimentos en la mayoría de los casos atribuibles a la acción antropogénica. Los agroquímicos más utilizados arrojaron altas concentraciones en Cu, Zn, Cr y Ni. Especialmente los fungicidas presentaron niveles muy altos de Cu y Mn. Fertilizantes fosforados presentaron alta concentración de Cr y en los fertilizantes nitrogenados se determinaron niveles elevados de Zn. Se recomienda el monitoreo permanente de las zonas de producción dentro de la cuenca del río La Villa debido al uso constante de agroquímicos y la acumulación de metales pesados en suelos y sedimentos.

**Palabras claves:** cromo, níquel, cobre, zinc, manganeso.

<sup>1</sup>Recepción: 6 de julio de 2018. Aceptación: 10 de octubre de 2018.

<sup>2</sup>Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria Divisa (CIAD). Dr. en Edafología. e-mail: [jevilla38@gmail.com](mailto:jevilla38@gmail.com)

<sup>3</sup>Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria Divisa (CIAD). M.Sc. en Manejo de suelo y agua. e-mail: [asantospineda@gmail.com](mailto:asantospineda@gmail.com)

<sup>4</sup>Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria Divisa (CIAD). M.Sc. Manejo de suelo y agua. e-mail: [jvillalaz14@gmail.com](mailto:jvillalaz14@gmail.com)

<sup>5</sup>Universidad Santa María La Antigua (USMA). Estudiante de licenciatura en recursos naturales. e-mail: [elinel2121@hotmail.com](mailto:elinel2121@hotmail.com)

<sup>6</sup>Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria Divisa (CIAD). Licdo. en Informática. e-mail: [iarz1103@gmail.com](mailto:iarz1103@gmail.com)



## HEAVY METALS IN SOILS AND SEDIMENTS IN LA VILLA RIVER BASIN-PANAMA

### ABSTRACT

The objective of this study was to determine the concentration of heavy metals in soils, sediments, organic fertilizers and agrochemicals that are commonly used for agricultural production within La Villa river basin, Herrera and Los Santos provinces, Panama. A total of 21 soil and sediment samples were taken during the rainy season (2016) and 20 during the dry season (2017) in the upper, middle and lower parts of the basin. Additionally, samples of fertilizers and agrochemicals commonly applied in the area. A totally random sampling was realized. The samples were digested according to EPA 3050B protocol. Analysis of variance and correlations were made to compare Cu, Zn, Mn, Fe, Cr, As, Ni, Cd, and Pb concentrations with soil properties. High Cu values were found in soil and Cu, Mn, Cr and As in the sediments, most of it attributable to anthropogenic action. Mostly used agrochemicals showed high Cu, Zn, Cr and Ni concentrations. Fungicides, specifically, showed very high Cu and Mn levels. Phosphorus fertilizers showed a high concentration of Cr, and high nitrogen levels were determined in nitrogen fertilizers. Permanent monitoring of production zones within La Villa river basin is recommended due to the constant use of agrochemicals and the accumulation of heavy metals in soils and sediments.

**Key words:** chrome, nickel, copper, zinc, manganese.

### INTRODUCCIÓN

El término metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga un peso específico superior a  $4,0 \text{ g/cm}^3$  y peso atómico comprendido entre  $55,85 \text{ g/mol}$  y  $200,59 \text{ g/mol}$ , siendo tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (Lucho *et al.* 2005).

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino *et al.* 2002). Los metales pesados de origen antropogénico derivan de residuos peligrosos, procedentes de actividades industriales, minería, actividades agrícolas (riego, fertilizantes inorgánicos, pesticidas,

estiércol, enmiendas calizas y, sobre todo, el uso de los residuales de depuradoras urbanas).

En Panamá se han realizado diversos estudios para la determinación de metales pesados en suelos, por ejemplo, Espinosa *et al.* (1987), determinaron la concentración de residuos cúpricos y de metales pesados en suelos agrícolas de Barú asociados con la producción de banano, encontrando niveles de cobre (Cu) superiores a 1000 mg/kg, limitando la siembra de hortalizas y granos en estos suelos. Igualmente, Espinosa (1990), durante el desarrollo de su tesis doctoral en suelos dedicados al cultivo de banano y palma aceitera en Barú, encontró elevados valores totales de cinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), en el suelo, asociándolo con el uso de fungicidas. También alta concentración de plomo (Pb), proveniente de la gasolina y sobre todo altos niveles de níquel (Ni).

A través del Programa Ambiental Nacional, la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM 2007), elaboró el anteproyecto de normas de calidad ambiental de suelos para usos diversos, siendo el primer intento por establecer niveles adecuados de metales pesados y otros contaminantes en el suelo de Panamá.

Trabajando en suelos ácidos de Paty do Alferes, región serrana del Estado de Rio de Janeiro, Brasil, donde se practica una agricultura intensiva, Villarreal *et al.* (1999, 2006), encontraron que gran cantidad de los metales pesados, también llamados metales trazas, presentes en el suelo provenía de aplicaciones antropogénicas al suelo 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.

En un estudio realizado en Andalucía, encontraron que en la mayoría de los suelos el Cd, Pb y As aparecían en elevadas concentraciones (Galán y Romero 2008). Un suelo se puede considerar contaminado cuando al menos 90% de los mismos presenta valores, para un determinado elemento, inferiores al suelo bajo de estudio (Rueda *et al.* 2011).

Determinar la concentración de metales pesados en los sedimentos permite establecer una relación con las concentraciones encontradas en el agua, pues cualquier entrada de metales en un cuerpo de agua queda registrada en los sedimentos (Acosta y Montilla 2012). También es necesario conocer que concentración de metales pesados contienen los productos que se utilizan para la fertilización del suelo y el manejo de plagas y enfermedades, igualmente, del agua utilizada para el riego.

El presente estudio se realizó en agroecosistemas donde se desarrolla una gran actividad agropecuaria. En estas tierras históricamente se ha desarrollado la producción de maíz, tomates, melones, sandías, ajíes, caña, pastos y ganadería doble propósito (leche y carne). Son suelos sometidos a un uso intensivo de agroquímicos e influenciados por descargas de subproductos de algunas empresas industriales ubicadas dentro de la cuenca.

Un estudio en Cerro Punta, provincia de Chiriquí, se encontró que, de 105 sustancias químicas utilizadas en las prácticas agrícolas, 42 eran fungicidas, 41 insecticidas, 12 herbicidas, 6 nemátocidas, 4 bactericidas, incluyendo entre estos, 8 de los 12 productos restringidos en el acuerdo de la Reunión del Sector Salud de Centroamérica y de República Dominicana (Resscad) (Carranza 2007).

El comercio de agroquímicos en Panamá supera los 40 millones de dólares, de los cuales el 90% de los agroquímicos que ingresan al país se destina a la agricultura. Cada panameño consume (no ingiere) anualmente 3 kg de agroquímicos, superando seis veces la cantidad que se usa en Centroamérica (INEC 2018).

Observando el problema, era necesario realizar un diagnóstico, que sirva como línea base a nivel de esta importante zona productiva para comprobar, en detalle, el estado en que se encuentra el grado de contaminación de los suelos y sedimentos en estas áreas en beneficio de la población consumidora de todo el país. Esto redundará en la toma de mejores decisiones sobre el uso del suelo, biorremediación de áreas muy contaminadas, uso de productos sanos para fertilizar los suelos y en la salud general de la población.

El objetivo del presente estudio fue determinar la concentración de metales pesados en suelos, sedimentos, abonos orgánicos y agroquímicos que se utilizan comúnmente para la producción agropecuaria dentro de la cuenca del río La Villa, provincias de Herrera y Los Santos, Panamá.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento consistió en 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 (Figura 1). La cuenca del río La Villa tiene una superficie de 1157,5 Km<sup>2</sup> (645,8 km<sup>2</sup> en Herrera y 511,7 km<sup>2</sup> en Los Santos). En su mayoría está compuesta por suelos alfisoles e inceptisoles según el sistema de clasificación Taxonómica de suelos (ANAM 2008, Villarreal *et al.* 2017) formados en el cretáceo superior, inicialmente cubierto por material volcánico intermedio, volcánico básico y tobas (Ruíz 1982).

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

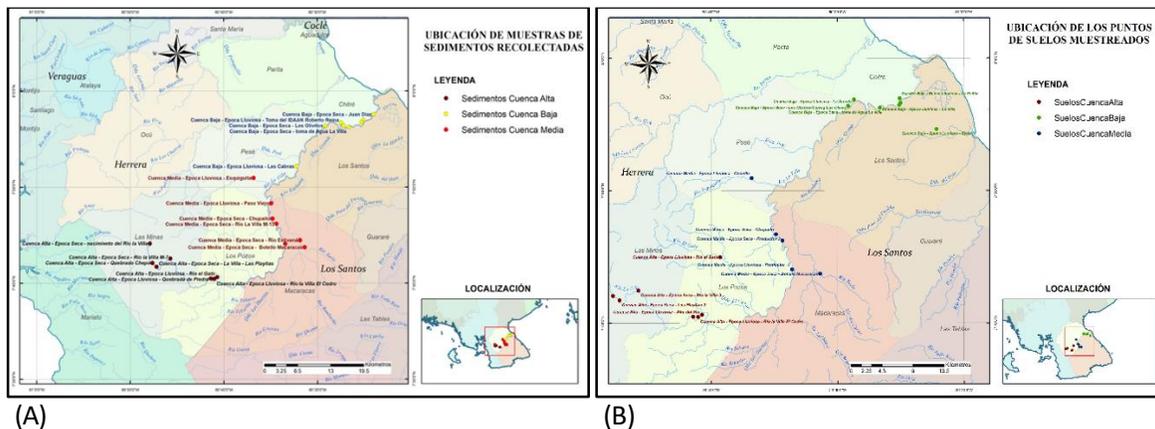
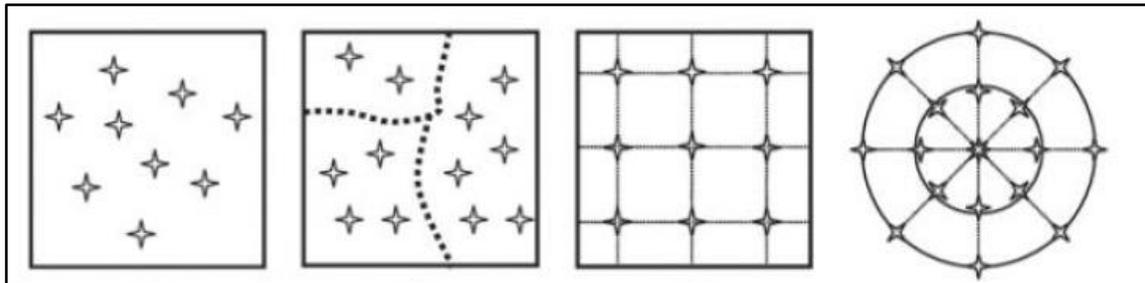


Figura 1. Puntos donde se muestrearon los sedimentos (A) y suelos (B) cuenca del río La Villa-Panamá, 2016-2017.

Se realizaron muestreos de suelos en fincas productivas dentro de la cuenca del río La Villa para determinar la concentración de metales pesados (cadmio, níquel, cobre, hierro, manganeso, zinc, plomo, arsénico, cromo) en la época lluviosa (10 muestras de suelo y 11

de sedimentos de junio a diciembre de 2016) y en época seca (9 muestras de suelo y 11 de sedimentos de febrero a abril de 2017).

Para realizar los muestreos se utilizó 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 (Figura 2).



Fuente: SEMARNAT 2010.

**Figura 2. Esquema utilizado para el muestreo sistemático de suelos o de rejilla.**

La definición de las metodologías de muestreo fue decidida por la topografía, tipo de actividad principal, clima local 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 sub-muestras (de lo cual se infiere que las muestras eran compuestas) con un número de 15 en cada rejilla, con 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.

La mejor época del muestreo de suelo se decidió tomando en cuenta la tecnología empleada por el productor. Uso agropecuario sin riego, el periodo de toma de muestras correspondió con el de mayor acumulación de contaminantes en el suelo que, en cultivos anuales, corresponde con la época de la 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 georeferenciado 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, Fe, Mn, Zn y Cd) se realizó de acuerdo con el método 3050B (USEPA 1996). La concentración de los metales se determinó en un espectrómetro de absorción atómica de llama con fuente continua de Xenón.

Se tomaron muestras de abonos orgánicos utilizados por los productores de la zona, estiércol de ganado, de cerdo, fertilizantes sintéticos y agroquímicos, inclusive de cocteles de agroquímicos tal cual lo utilizan los productores. Las muestras fueron mantenidas en envases de vidrio ámbar para evitar su descomposición y llevadas al Laboratorio de Suelo del IDIAP para su posterior proceso de digestión según procedimiento descrito en Villarreal y Name (1996), utilizando metanol y peróxido de hidrógeno como agente digestor. En total se muestrearon 23 muestras de las cuales cinco eran abonos orgánicos, siete fertilizantes sintéticos y 11 agroquímicos (cinco herbicidas, cinco fungicidas y una mezcla de agroquímicos).

Se compararon los niveles encontrados con los permitidos por Normas de la USEPA (1993); Economical European Comission: Council Directive 126/1986, EEC; Council Directive 2003/2003, CEE.

Se realizó una ANAVA con probabilidad de 0,05 para determinar las diferencias entre tipo de muestra (suelo, sedimento), contenido total de metales pesados entre épocas (seca y lluviosa) y localización dentro de la cuenca (alta, media, baja), incluyendo las interacciones entre ellas. Se compraron las medias para cada variable de acuerdo con el test de LSD Fisher (alfa 0,05).

Se realizaron correlaciones de Pearson entre los niveles encontrados en el suelo y algunas propiedades físico-químicas como: contenido de arcilla, pH, capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y materia orgánica

Los sitios y ubicación geográfica de donde se tomaron las muestras de suelos (Cuadro 1) y sedimentos (Cuadro 2), en la época lluviosa (Cuadro 3) y seca (Cuadro 4).

**Cuadro 1. Ubicación de los suelos muestreados en época lluviosa, cuenca río La Villa, 2016.**

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

**Cuadro 2. Ubicación de los suelos muestreados en época seca, cuenca río La Villa, 2017.**

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

**Cuadro 3. Ubicación de los sedimentos muestreados en época lluviosa, cuenca río La Villa, 2016.**

Lugar	COORDENADAS		Altura (msnm)
	Latitud N	Longitud O	
Quebrada de Piedra	534158	848358	273,0
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 río La Villa, 2017.**

Lugar Seca	COORDENADAS		Altura (msnm)
	Latitud N	Longitud O	
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

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los promedios del contenido total de metales pesados en los suelos muestreados durante la época lluviosa de 2016 y la época seca de 2017, se pueden apreciar en los Cuadros 5 y 6, respectivamente. Se destacan los altos valores de Cu encontrados en la época lluviosa. Esto puede ser atribuible al uso de fungicidas en el área debido a la gran actividad agrícola en la cuenca baja (caña principalmente).

Los valores obtenidos se mantuvieron dentro del rango considerado aceptable por las normas de la Unión Europea y Estados Unidos de América para el resto de los metales pesados determinados en los suelos de la cuenca del río La Villa en las dos épocas del año predominantes en Panamá.

**Cuadro 5. Contenido total promedio de metales pesados en suelos de la cuenca alta, media y baja del río La Villa en época lluviosa, 2016.**

Metal	C. Alta	C. Media	C. Baja	126/1986 EEC Referencia	USEPA 1993 Referencia
-----mg.kg <sup>-1</sup> -----					
<b>Cu</b>	55,2	68,6	155,5	50-140	750
<b>Zn</b>	64,3	85,0	51,1	150-300	1400
<b>Fe</b>	17644	20442	19397		23000
<b>Mn</b>	577,1	1329,1	1389,1		1800
<b>Cr</b>	46,7	49,2	49,8	100-150	1500
<b>Cd</b>	0,41	0,51	0,49	1—3	20
<b>Ni</b>	3,6	8,44	3,58	30-75	210
<b>Pb</b>	3,5	3,17	4,9	50-300	150
<b>As</b>	5,9	0,007	5,6	150-300	
<b>pH</b>	6,8	6,6	7,21		

**Cuadro 6. Contenido total promedio de metales pesados en suelos de la cuenca alta, media y baja del río La Villa en época seca, 2017.**

Metal	C. Alta	C. Media	C. Baja	126/1986 EEC Referencia	USEPA 1993 Referencia
-----mg.kg <sup>-1</sup> -----					
<b>Cu</b>	11,6	74,9	13,6	50-140	750
<b>Zn</b>	45,3	91,4	89,0	150-300	1400
<b>Fe</b>	17237,0	20548,7	20027,6		23000
<b>Mn</b>	1082,6	1352,7	1767,0		1800
<b>Cr</b>	74,7	59,0	52,5	100-150	1500
<b>Cd</b>	0,40	0,42	0,81	1-3	20
<b>Ni</b>	1,9	12,1	4,8	30-75	210
<b>Pb</b>	2,4	2,3	4,3	50-300	150
<b>As</b>	7,2	5,0	13,6	150-300	
<b>pH</b>	5,6	5,5	6,1		

En los sedimentos se encontraron elevadas concentraciones de Cu en la época lluviosa tanto en la cuenca media como en la baja, si comparado con los niveles aceptados con las normas de la EPA (1993) en USA (Cuadro 7). Igualmente, el Mn mostró valores muy altos en los sedimentos. Se puede atribuir al uso intensivo de agroquímicos en la zona, aunque también hay una abundancia natural de óxidos de manganeso en estos suelos, sin embargo, se nota un enriquecimiento en la cuenca baja.

En la época seca se obtuvieron elevados valores de Mn en la cuenca media y baja, Cr en la alta y baja y As en las tres zonas de la cuenca (Cuadro 8). El Cr puede ser debido a la existencia de muchos criaderos de cerdos en la cuenca alta y media del río la Villa y

el arsénico a residuos por el uso de medicamentos y suplementos vitamínicos usados en la cría de animales (Arsenical <sup>MR</sup>).

Los análisis de abonos orgánicos, muestra que el fertilizante sintético existente en el mercado presentó un alto nivel de Cr (Cuadro 19).

**Cuadro 7. Contenido total promedio de metales pesados en sedimentos de la cuenca alta, media y baja del río La Villa en época lluviosa, 2016.**

Metal	C. Alta	C. Media	C. Baja	USEPA 1993 Referencia
-----mg.kg <sup>-1</sup> -----				
Cu	72,27	45,9	61,3	>50
Zn	92.51	74,13	90,792	
Fe	18280	17677	19402,6	>25000
Mn	573,03	701,47	995,38	>500
Cr	67,31	52,24	64,24	>75
Cd	0,41	0,47	0,498	>6
Ni	5,56	5,64	8,614	>50
Pb	1,59	1,73	2,598	
As	7,07	3,29	5,0142	>8

**Cuadro 8. Contenido total promedio de metales pesados en sedimentos de la cuenca alta, media y baja del río La Villa en época seca, 2017.**

Metal	C. Alta	C. Media	C. Baja	USEPA 1993 Referencia
-----mg.kg <sup>-1</sup> -----				
Cu	26,4	38,0	16,6	>50
Zn	59,8	84,4	78,9	
Fe	17293,7	20635,7	19204,0	>25000
Mn	46,1	814,7	925,9	>500
Cr	78,5	63,5	117,0	>75
Cd	0,34	0,39	0,45	>6
Ni	2,44	9,2	5,21	>50
Pb	1,78	2,71	0,95	
As	8,01	13,2	16,4	>8

### Análisis de varianza

Según el análisis de varianza el Cu y el Zn no mostraron diferencias significativas para ninguna de las variables consideradas.

El hierro mostró diferencia significativa entre las cuencas (Cuadro 9). Al realizar la comparación de medias por medio de la prueba de LSD Fisher, se observó que no hay diferencia entre las cuencas media y baja, pero estas sí mostraron tener mayor contenido de Fe que en la cuenca alta. Los suelos de la región son ricos en óxidos de hierro, por lo tanto, el efecto de la erosión desde la cuenca alta da un enriquecimiento en las cuencas media y baja (Villarreal *et al.* 2017).

**Cuadro 9. Análisis de varianza del contenido total de Fe en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.**

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	1902268,31	1	1902368,31	0,52	0,4750
Cuenca	40512135,08	2	20256067,54	5,58	0,0089**
Época*cuenca	9824267,01	2	4912133,51	1,35	0,2744
Tipo muestra	3042289,82	1	3042289,82	0,84	0,3676
Época*Tipo muestra	216041,95	1	216041,95	0,06	0,8090
Cuenca*Tipo muestra	5991163,22	2	2995581,61	0,82	0,4483
Época*Cuenca*Tipo muestra	4582283,27	2	2291141,63	0,63	0,5393
Error	105324350,70	29	3631874,16		CV % 10,04
Total	173256315,76	40			

Cuenca	Medias	DMS 1494,25
Media	19963,65	A
Baja	19507,88	A
Alta	17613,96	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $P>0,05$ ).

Se mostró diferencia altamente significativa entre cuencas y tipo de muestra y significativa en la interacción época\*tipo muestra para el Mn (Cuadro 10). Igual que en el caso del Fe, se muestra un enriquecimiento en las cuencas media y baja al realizar la comparación de medias entre cuencas. Siendo que en los suelos abundan los óxidos de Fe y Mn. También, se le atribuye a parte de ese enriquecimiento, al uso de agroquímicos con elevadas cantidades (Cuadro 18).

Se observó mayor contenido en el suelo que en los sedimentos. En el suelo fue mayor el contenido en la época seca que en la lluviosa, sin embargo, en los sedimentos no hubo diferencia entre las medias por época.

**Cuadro 10. Análisis de varianza del contenido total de Mn en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.**

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	324593,73	1	324593,73	3,40	0,0754
Cuenca	2289895,99	2	1144948,00	11,99	0,0002**
Época*cuenca	28878,89	2	14439,45	0,15	0,8003
Tipo muestra	2914002,72	1	2914002,72	30,53	0,0001**
Época*Tipo muestra	411288,91	1	411288,91	4,31	0,0469*
Cuenca*Tipo muestra	469505,68	2	234752,84	2,46	0,1031
Época*Cuenca*Tipo muestra	193593,02	2	96796,51	1,01	0,3752
Error	2768175,37	29	95454,32		CV % 31,21
Total	9335146,39	40			

Cuenca	Medias	DMS 242,24491
Baja	1269,38	A
Media	1081,77	A
Alta	705,58	B

Tipo Muestra	Medias	DMS 279,59299
Suelo	1292,54	A
Sedimento	745,28	B

Época	Tipo Muestra	Medias	DMS 242,24491
seca	suelo	1486,67	A
lluviosa	suelo	1098,42	B
lluviosa	sedimento	756,76	C
seca	sedimento	733,81	C

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ ).

Se mostró diferencia significativa para Cr en las épocas, encontrando mayor contenido en la época seca que en la lluviosa (Cuadro 11).

**Cuadro 11. Análisis de varianza del contenido total de Cr en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.**

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	4222,75	1	4222,75	4,81	0,0365*
Cuenca	1015,54	2	507,77	0,58	0,5672
Época*cuenca	270,26	2	135,13	0,15	0,8581
Tipo muestra	2799,96	1	2799,96	3,19	0,0846
Época*Tipo muestra	174,78	1	174,78	0,20	0,6588
Cuenca*Tipo muestra	2766,48	2	1383,24	1,58	0,2242
Época*Cuenca*	2271,30	2	1135,65	1,29	0,2898
Tipo muestra					
Error	25467,47	29	878,19		CV % 45,50
Total	38375,44	40			

Época	Medias	DMS 18,93383
Seca	75,77	A
Lluviosa	54,93	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $P>0,05$ ).

Se mostró diferencia significativa para Cd entre las cuencas. Siendo la concentración en la cuenca baja mayor que en la alta, pero no fue diferente a la concentración en la cuenca media (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Análisis de varianza del contenido total de Cd en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.**

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	8,5 E-04	1	8,5 E-04	0,03	0,8611
Cuenca	0,21	2	0,10	3,82	0,0336*
Época*cuenca	0,08	2	0,04	1,43	0,2559
Tipo muestra	0,07	1	0,07	2,68	0,1123
Época*Tipo muestra	0,06	1	0,06	2,03	0,1645
Cuenca*Tipo muestra	0,04	2	0,02	0,76	0,4773
Época*Cuenca*Tipo muestra	0,06	2	0,03	1,04	0,3672
Error	0,79	29	0,03		CV % 35,57
Total	1,27	40			

Cuenca	Medias	DMS 0,12972
Baja	0,56	A
Media	0,46	A B
Alta	0,39	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $P>0,05$ ).

Se presentó diferencia altamente significativa para Ni, a nivel de las cuencas y en la cuenca media se obtuvo la mayor concentración del metal (Cuadro 13).

**Cuadro 13. Análisis de varianza del contenido total de Ni en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.**

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	0,44	1	0,44	0,03	0,8661
Cuenca	195,17	2	97,59	6,43	0,0049
Época*cuenca	66,18	2	33,09	2,18	0,1312
Tipo muestra	0,87	1	0,87	0,06	0,8122
Época*Tipo muestra	11,96	1	11,96	0,79	0,3621
Cuenca*Tipo muestra	58,01	2	29,00	1,91	0,1661
Época*Cuenca*Tipo muestra	7,68	2	3,84	0,25	0,7781
Error	440,17	29	15,18		CV % 65,4
Total	814,07	40			

Cuenca	Medias	DMS 0,12972
Media	9,03	A
Baja	5,56	B
Alta	3,43	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $P>0,05$ ).

Se presentó mayor concentración de Pb en el suelo que en los sedimentos, por esta razón hay diferencia significativa entre los tipos de muestra (Cuadro 14). La presencia de Pb en la cuenca puede ser debido a efectos de la minería clandestina como ocurre en Chile, Brasil y otros lugares (Espinosa y Espinosa 2005).

**Cuadro 14. Análisis de varianza del contenido total de Pb en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.**

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	1,91	1	1,91	0,44	0,5142
Cuenca	5,58	2	2,79	0,64	0,5362
Época*cuenca	2,96	2	1,48	0,34	0,7163
Tipo muestra	25,30	1	25,30	5,78	0,0228*
Época*Tipo muestra	0,80	1	0,80	0,80	0,6714
Cuenca*Tipo muestra	8,08	2	4,04	0,92	0,4087
Época*Cuenca*Tipo muestra	3,33	2	1,66	0,38	0,6874
Error	126,98	29	4,38		CV % 76,49
Total	177,00	40			

Tipo Muestra	Medias	DMS 1,33856
Suelo	3,51	A
Sedimento	1,89	B

Se presentó diferencia altamente significativa para As, dependiendo de la época del muestreo (Cuadro 15). En la época seca mostró mayor concentración del metal que en la

época lluviosa. El As está presente en gran cantidad de pesticidas y está relacionado con la mineración del oro (Espinosa y Espinosa 2005).

**Cuadro 15. Análisis de varianza del contenido total de As en suelo y sedimentos de la cuenca del río La Villa.**

Variable	SC	gl	CM	F	p-valor
Época	398,27	1	398,27	8,26	0,0075**
Cuenca	132,86	2	66,43	1,38	0,2683
Época*cuenca	145,79	2	72,89	1,51	0,2375
Tipo muestra	52,46	1	52,46	1,09	0,3056
Época*Tipo muestra	10,50	1	10,50	0,22	0,6043
Cuenca*Tipo muestra	31,03	2	15,51	0,32	0,7275
Época*Cuenca*Tipo muestra	7,59	2	3,80	0,08	0,9245
Error	1398,98	29	48,24		CV % 89,15
Total	2106,06	40			

Época	Medias	DMS 4,43763
Seca	10,88	A
Lluviosa	4,48	B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $P > 0,05$ ).

### Análisis de correlación de Pearson

Se realizó correlación de Pearson entre el total de las muestras colectadas en época seca (Cuadro 16) y época lluviosa (Cuadro 17) con propiedades del suelo como contenido de arena, limo, arcilla, pH, materia orgánica (MO), densidad aparente (Dap) y la CICE.

En la época seca el Zn y el Cu mostraron una correlación positiva y altamente significativa (0,75). Igualmente, Fe con el Cu (0,72); Fe con Zn (0,84) y Pb con Cd (0,80) todas ellas correlaciones positivas. Sólo Cu y Mn mostraron correlaciones significativas y positivas con el contenido de arcilla, esto indica su preferencia por suelos arcillosos.

**Cuadro 16. Correlaciones entre concentración de metales pesados en época seca y algunas propiedades del suelo.**

Correlaciones época seca																
	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH	Dap	CICE	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr	Cd	Ni	Pb	As
Arena	1															
Limo	-0,950**	1														
Arcilla	-0,837**	0,625**	1													
MO	-0,347	0,297	0,348	1												
pH	0,269	-0,176	-0,363	-0,792**	1											
Dap	0,523*	-0,407	-0,597**	-0,283	0,225	1										
CICE	-0,460*	0,493*	0,288	-0,305	0,567**	-0,114	1									
Cu	<b>-0,614**</b>	<b>0,531*</b>	<b>0,605**</b>	0,403	-0,290	-0,338	0,359	1								
Zn	0,353	0,247	<b>0,451*</b>	0,135	0,111	-0,364	<b>0,606**</b>	<b>0,748**</b>	1							
Fe	-0,346	0,225	<b>0,471*</b>	0,237	0,079	-0,279	0,452*	<b>0,715**</b>	<b>0,841**</b>	1						
Mn	<b>-0,520*</b>	0,367	<b>0,659**</b>	0,431	-0,241	<b>-0,617**</b>	0,225	<b>0,0624**</b>	<b>0,498*</b>	<b>0,588**</b>	1					
Cr	0,122	-0,050	-0,218	-0,146	0,257	<b>0,484*</b>	0,053	0,015	0,081	0,176	-0,228	1				
Cd	-0,342	0,299	0,330	-0,078	0,253	-0,125	<b>0,448*</b>	0,397	0,375	0,335	<b>0,507*</b>	0,175	1			
Ni	-0,366	0,268	<b>0,447*</b>	-0,190	0,242	-0,190	<b>0,619**</b>	0,344	<b>0,511*</b>	<b>0,494*</b>	0,215	-0,011	0,225	1		
Pb	-0,425	0,391	0,379	0,153	-0,014	-0,144	0,272	<b>0,618**</b>	0,428	<b>0,522*</b>	<b>0,454*</b>	0,199	<b>0,796**</b>	0,177	1	
As	0,160	-0,264	0,063	-0,299	<b>0,481*</b>	0,002	0,157	-0,018	0,355	0,410	0,083	0,389	0,341	0,241	0,188	1

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01; \* La correlación es significativa en el nivel 0,05.

En la época lluviosa las principales correlaciones encontradas fueron entre el Mn con el contenido de arcilla (0,73) altamente significativa y positiva, siendo negativa con la arena. Mn con Fe (0,67); Pb con Cu (0,76) igual que en la época seca estos dos metales se muestran muy dependientes uno del otro. El Cr mostró una correlación positiva y altamente significativa (0,66) con el pH, indicando que tiene una alta dependencia con esta propiedad.

**Cuadro 17. Correlaciones entre concentración de metales pesados en época lluviosa y algunas propiedades del suelo.**

Correlaciones época lluviosa																
	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH	Dap	CICE	Cu	Zn	Fe	Mn	Cr	Cd	Ni	Pb	As
Arena	1															
Limo	-0,823**	1														
Arcilla	-0,771**	0,273	1													
MO	0-,580**	0,619**	0,288	1												
pH	0,147	-0,113	-0,122	-0,047	1											
Dap	0,414	-0,657**	0,036	0,610*	0,155	1										
CICE	0,031	0,189	-0,264	0,460*	0,404	-0,186	1									
Cu	-0,309	0,160	0,344	0,246	0,217	0,153	0,150	1								
Zn	0,297	-0,131	-0,355	0,004	0,267	-0,437*	0,122	-0,542*	1							
Fe	-0,350	0,001	0,592**	0,096	0,110	0,132	0,133	-0,071	-0,126	1						
Mn	-0,597**	0,253	0,726**	0,329	0,332	0,023	0,220	0,297	-0,128	0,669**	1					
Cr	0,271	-0,263	-0,164	-0,222	0,655*	0,365	0,358	0,163	0,070	0,355	0,193	1				
Cd	-0,332	0,245	0,287	0,562*	0,211	-0,161	0,471	0,146	0,190	0,311	0,447*	0,066	1			
Ni	0,158	-0,086	-0,171	0,115	0,013	-0,358	0,101	-0,323	0,514*	0,247	0,099	0,131	0,132	1		
Pb	-0,597**	0,434*	0,524*	0,412	-0,209	-0,085	-0,164	0,755**	-0,614**	-0,064	0,223	-0,304	0,000	-0,288	1	
As	-0,042	0,075	-0,013	0,080	-0,137	-0,023	0,340	0,382	-0,407	0,008	-0,045	-0,008	-0,116	-0,363	0,309	1

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01; \* La correlación es significativa en el nivel 0,05.

### Muestreo y determinación del contenido de metales pesados en agroquímicos, abonos y fertilizantes

Se tomaron muestras de cinco abonos orgánicos representativos de los productos orgánicos y estiércoles utilizados por los productores, siete fertilizantes sintéticos, cinco fungicidas, cinco herbicidas y una mezcla utilizada por los productores (Kuron-Estribotronador).

Los análisis de metales pesados en agroquímicos, abonos y fertilizantes sintéticos, en el Cuadro 18 y 19, respectivamente, son resultados parciales.

**Cuadro 18. Contenido total de metales pesados en Agroquímicos utilizados por productores dentro de la cuenca del río La Villa-Panamá-2017.**

Tipo de muestra	Nombre del Producto	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Cd	Pb	Ni	As
Fungicida	Famoxadona-Cimoxalino	35,3	36,6	358,7	55,14	13,08	0,47	0,18	0,001	0,001
Fungicida	Mefenoxan	18,2	433,0	477,9	307,60	10,8	0,94	1,24	51,44	0,001
Fungicida	Mancozeb	81,7	369,0	166,4	386,60	8,73	1,03	1,58	19,67	0,001
Fungicida	Sulfato de cobre	100,1	48,1	540,5	244,97	51,57	0,43	5,3	12,95	0,001
Fungicida	Sulfato de cobre	155,2	85,7	302,0	86,86	15,17	0,77	10,71	0,001	0,001
Herbicida	Hidrocloruro de Kasugamicyn hidratado	0,05	21,3	319,9	36,72	47,09	0,41	1,05	0,001	0,001
Herbicida	Bentazon 60%	1,0	12,0	318,4	52,58	102,6	0,4	0,16	3,40	0,001
Herbicida	Quinclorac	3,1	37,8	303,5	83,81	11,38	0,4	0,15	0,001	0,001
Herbicida	Cyhalofop Butil	14,1	13,4	181,3	56,97	19,04	0,75	0,77	0,001	0,001
Herbicida	Metil oleato palmitato 34,5%	4,1	20,2	242,4	145,91	5,72	0,45	0,001	0,001	0,001
Mezcla de Herbicidas	Picloram 2,4 D, aminopyralid	20,8	9,3	1601	319,1	10,98	0,52	2,51	0,001	0,001
Valor de Referencia*		12-50			1,3-25	1,38-1,94	60	0,8-14		22-60

\*Kabata-Pendias (2011).

En el análisis de fungicidas y plaguicidas se encontraron valores elevados de Cu, Zn y Cr en los plaguicidas utilizados en los suelos de la cuenca del río La Villa (Cuadro 18).

Se encontraron elevados valores de Zn en fungicidas a base de mefenoxan y de Cu y Zn en mancozeb y en los sulfatos de cobre. Esto se correlaciona con los valores encontrados en los suelos de la cuenca (Cuadro 5) muestreados que indican altos contenidos de Cu que sobrepasan los permitidos por la norma 126, EEC 1986 y USEPA 1993.

La Directiva 2003/2003 (EEC 2003), establece que abonos y compost clase A no deben contener más de 70 mg de Cu/kg y 210 mg de Zn/kg de materia seca. Sin embargo, para el Fe no se encontraron valores permisibles en esta Norma (Cuadro 19).

**Cuadro 19. Concentración total de metales pesados en abonos y fertilizantes utilizados en áreas productivas dentro de la cuenca del río La Villa-Panamá, 2017.**

Tipo de muestra	Ubicación	Zn	Cu	Fe	Cr	Cd	Pb	Ni
Abono	El Cedro	138,2	31,3	738,0	25,2	0,60	2,56	0,001
Estiércol de ganado	Jalisco	220,5	25,2	435,0	10,3	0,52	5,99	0,001
Estiércol de ganado	Paso Viejo	136,3	30,8	454,0	11,2	0,46	0,14	0,001
Abono	Quebrada Piedra	120,9	2,0	165,0	6,21	0,50	0,73	0,001
Abono	La Peñita	95,0	3,6	203,0	9,33	0,47	0,93	0,001
CEE 2003/2003		210-4000	70-600		70-200	0,7-1,0	70-1000	20-200
USEPA (Henri, 1991)		2800	1500		1200	39	300	420
0-30-0-40	La Villa	205,56	12,6	197,0	272,6	4,2	3,79	6,63
12-24-12	La Villa	59,9	2,6	35,0	16,92	0,69	1,27	0,01
Sulfato de Mg	La Villa	44,65	0,01	0,01	5,62	0,51	0,001	0,01
Sulfato de K	La Villa	72,83	17,2	16,0	22,43	0,51	1,49	0,01
10-10-40	La Villa	66,24	25,2	25,0	13,02	0,61	1,75	0,01
Nitrato de K	La Villa	315,85	18,2	5,0	10,41	0,5	137	0,01
Urea	La Villa	83,08	11,1	19,0	10,21	0,54	0,001	0,01
Valor de Referencia fertilizantes fosforados*		50-1450	1-300		66-245	0,1-170	7-225	7-38
Valor de referencia Fertilizantes Nitrogenados*		1-42			3,2-19	0,05-8,5	2-27	7-34

\*Alloway (1995), Council Directive 2003/2003/EEC.

Con relación a los abonos orgánicos (Cuadro 19), no se encontraron valores fuera del intervalo sugerido por Alloway (1995). Sin embargo, en los fertilizantes sintéticos se observaron valores de Zn superiores a los recomendados para los fertilizantes nitrogenados (42 mg/kg). Igualmente, el nivel de Cr encontrado en el fertilizante 0-30-0-40 fue superior al nivel considerado adecuado (245 mg/kg). El Cr es un metal que merece mayor atención y monitoreo en el suelo, sedimento y en el agua, ya que existen dos especies, el Cr III menos peligroso y el Cr VI que es muy tóxico (Montauban 2013).

## CONCLUSIONES

- El estudio demostró que se hace necesario monitorear la concentración de metales pesados en suelos, sedimentos, abonos orgánicos y agroquímicos que se utilizan comúnmente para la producción agropecuaria dentro de la cuenca del río La Villa, provincias de Herrera y Los Santos, Panamá.
- Hay fertilizantes fosforados que presentan altas concentraciones de Cr y nitrogenados con elevado contenido de Zn, lo que traer como consecuencia la acumulación de estos metales en el suelo debido al uso constante de los mismos. Igualmente, los fungicidas utilizados rutinariamente contienen altas concentraciones de Mn y Cu.
- Observando el problema, era necesario realizar un diagnóstico, que sirviera como línea base a nivel de esta importante zona productiva del país, para comprobar, el grado de contaminación de los suelos y sedimentos para beneficio de la población consumidora de todo el país. Esto redundará en la toma de mejores decisiones sobre el uso del suelo, biorremediación de áreas muy contaminadas, uso de productos más sanos para fertilizar los suelos y en la salud.

## RECOMENDACIÓN

- Se debe ampliar este tipo de estudios a otras zonas productivas del país. Además, investigar qué especie de Cr predomina en los sedimentos del río La Villa ya que de encontrarse la presencia de Cr VI representaría un peligro para la salud de la población.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abollino, O; Aceto, M; Malandrino, M; Mentasi, E; Sarzanini, C; Petrella, F. 2002. Heavy metals in agricultural soils from Piedmont, Italy. Distribution, speciation and chemometric data treatment. *Chemosphere* 49:545-557.
- Acosta, M; Montilla, J. 2012. Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo y sedimentos y análisis de impactos ambientales en la subcuenca del río Balsillas afluente del río Bogotá. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería, programa de ingeniería ambiental y sanitaria. Universidad del Valle. Bogotá, D.C. 157 p.

- Alloway, B.J. 1995. "Soil processes and the behavior of metals en "Heavy Metals in Soils". B.J. Alloway (et.), Blackie and Son, Ltd., Gran Bretaña.
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, PA). 2008. Plan de ordenamiento territorial ambiental de la cuenca del río La Villa. ANAM. Panamá. 132 p.
- ANAM (Autoridad Nacional del Ambiente, PA). 2007. Programa ambiental nacional. Consultoría para la elaboración del anteproyecto de norma de calidad ambiental de suelos para diversos usos. Contrato N° PAN-03-2006. 258 p.
- Carranza, R. 2007. Diagnóstico del uso de plaguicidas en Cerro Punta, Provincia de Chiriquí, República de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Universidad de Panamá. Publicado en la versión digital del diario Panamá América, agosto 23 de 2007.
- EEC (Economical European Commission). 2003. Council Directive 2003/2003/CEE. Relativa a los abonos y fertilizantes minerales. DOUE-L-2003- 81869. p. 1 – 194.
- EEC (Economical European Commission). 1986. 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. N° L186/6-12, 4/7/1986.
- Espinosa, T; Espinosa, L. 2005. Impacto de la minería en la calidad del agua en la microcuenca del río Artigas. Énfasis en metales pesados. Tesis de maestría, Universidad Centroamericana (UCA). Departamento de Ciencias Ambientales y agrarias. 279 p.
- Espinosa, J. 1990. Degradación de plaguicidas en el trópico: degradación de paraquat en suelo del cultivo de maíz. Los Santos. Hortalizas, Raíces y Tubérculos, IDIAP. Panamá.
- Espinosa, J. *et al.* 1987. Residuos Cúpricos y de Metales Pesados en el Área de Barú. Hortalizas, Raíces y Tubérculos, Frutales; IDIAP, Panamá.

- Galan, E; Romero, A. 2008. Contaminación de suelos por metales pesados. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía. Macla 10. noviembre 2008, 48-60.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo, PA). 2018. Contraloría General de la República. Panamá. Panamá en Cifras: 2011-2016 (en línea). Consultado 22 jun. 2018. Disponible en <http://www.contraloria.gob.pa/inec/publicaciones>
- Kabata-Pendias A. 2011. Trace elements in soils and plants. 4a. Edition. CRC Press, Boca Raton, FL., USA.
- Lucho, CA; Prieto, F; Del Razo, LM; Rodríguez, R; Poggi, H. 2005. Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. Agriculture, Ecosystems and Environment 108:57-71.
- Montauban, R. 2013. Determinación de cromo III y cromo VI mediante técnicas electroquímicas de análisis. Tesina de grado. Facultad de Ciencias. Universidad de La República. Montevideo, Uruguay. 121 p.
- Rueda, G; Rodríguez, JA; Madriñán, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas. Perspectiva para Colombia. Acta Agronómica 60(3):203-218.
- Ruíz, A. 1882. Estudio geológico del Montuoso. Universidad Popular de Azuero. Litho Impresora La Villa. Los Santos, Panamá. p. 31.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MX). 2010. Guía Técnica para orientar en la Elaboración de Estudios de Caracterización de Sitios Contaminados. Ministerio del Ambiente. México, 217 p.
- USEPA (United States Environment Agency). 1996. Method 3050B, acid digestion of sediments, sludges, and soils. United States Environmental Protection Agency (USEPA), 12 p.

USEPA (United States Environment 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.

Villarreal, J; Ramos, I; Villalaz, J; Santo, A. 2017. Clasificación taxonómica y caracterización físico-química de los suelos de la región de Azuero-Panamá. *In IX Congreso de suelos de Costa Rica*. 25 al 27 de octubre de 2017, San José, CR. Disponible en [www.sueloscr.com/congreso](http://www.sueloscr.com/congreso)

Villarreal, JE; Amaral Sobrinho, NMB; Mazur, N. 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, JE; Amaral Sobrinho, NMB; Palmieri, F; Alcantara, A. 1999. Consecuencias de diferentes sistemas de preparación del suelo sobre la contaminación del suelo y agua por metales pesados. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*. Viçosa: 23(4):981-990.

Villarreal, J; Name, B. 1996. Técnicas analíticas del laboratorio de suelos. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Divisa. 110 p.