

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA MARÍA

EVALUATION OF THE CONCENTRATION OF HEAVY METALS IN THE SANTA MARÍA RIVER BASIN

*Efraín Oses**. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá. efrainsaul1598@gmail.com

*Xavier Navarro**. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá. xaviernavarro1998@gmail.com

José Villarreal. Instituto de Innovación Agropecuaria (IDIAP). Panamá. jevilla38@gmail.com

Iván Ramos. Instituto de Innovación Agropecuaria (IDIAP). Panamá. iarz1103@gmail.com

*Correo de Correspondencia: efrainsaul1598@gmail.com, xaviernavarro1998@gmail.com

Recibido: 05/09/2022

Aceptado: 11/05/2023

RESUMEN. Este trabajo tiene como finalidad evaluar la concentración de metales pesados en la Cuenca del Río Santa María, ubicada en la provincia de Herrera, Coclé y Veraguas, República de Panamá en las diferentes partes de la cuenca, alta, media y baja en la época seca (2021). Se tomaron 40 muestras en fincas de 30 productores, 29 de sedimentos y 7 de agroquímicos (Herbicidas, fungicidas, insecticidas y fertilizantes). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de suelos del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Divisa. Se caracterizaron todas las muestras en general y se determinaron los niveles de los metales utilizando la metodología EPA 3051A. Para el análisis estadístico se utilizó el programa INFOSSTAT. Se realizó el análisis de regresión, de varianza y el multivariado de componentes principales. Las muestras de suelos no registraron contaminación por metales pesados, a diferencia de los sedimentos que registraron contaminación por Cu con valores que van de 50 mg/kg a 90 mg/kg y de Ni con un valor límite de 56 mg/kg. Para los agroquímicos se utilizó la referencia de Colmer y Sánchez (2000) obteniéndose valores por encima de los permisibles en el fungicida que reportó 78 mg/kg de Zn. Para los fertilizantes se utilizaron las referencias de Alloway (1995) y Kabatas y Pendias (1984) resultando valores superiores a los permisibles en la urea que registró 17,43 mg/kg de Cu, 291,50 mg/kg de Zn y 37,95 mg/kg de Ni y el abono 12-24-12 que reportó 265 mg/kg de Zn y 68 mg/kg de Ni. El análisis de varianza determinó que existen diferencias significativas.

PALABRAS CLAVE: antropogénico, biodisponibilidad, movilidad, agroquímico, contaminación, suelo, sedimento, cobre, níquel, zinc, cadmio y plomo.

ABSTRACT. The incidence of the purpose of this work is to evaluate the concentration of heavy metals in the Santa Maria River Basin, located in the province of Herrera, Cocle and Veraguas, Republic of Panama in the different parts of the basin, high, medium and low in the dry season (2021). Forty samples were taken from farms of 30 producers, 29 of sediments and 7 of agrochemicals (herbicides, fungicides, insecticides and fertilizers). The samples were analyzed at the soil laboratory of Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Divisa. All samples were characterized in general and metal levels were determined using EPA 3051A methodology. The INFOSSTAT program was used for statistical analysis. Regression analysis, analysis of variance and multivariate principal component analysis were performed. The soil samples did not show heavy metal contamination, unlike the sediments, which showed contamination by Cu with values ranging from 50 mg/kg to 90 mg/kg and Ni with a limit value of 56 mg/kg. For agrochemicals, the reference of Colmer and Sanchez (2000) was used, obtaining values above the permissible values for the fungicide, which reported 78 mg/kg of Zn. For fertilizers, the references of Alloway (1995) and Kabatas and Pendias (1984) were used, resulting in values above the permissible values for urea, which registered 17.43 mg/kg Cu, 291.50 mg/kg Zn and 37.95 mg/kg Ni, and the fertilizer 12-24-12, which reported 265 mg/kg Zn and 68 mg/kg Ni. The analysis of variance determined that there were significant differences.

KEYWORDS: anthropogenic, bioavailability, mobility, agrochemical, contamination, soil, sediment, copper, nickel, zinc, cadmium and lead.

INTRODUCCIÓN

El término metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tienen 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: mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (Lucho *et al.* 2005).

La contaminación ambiental se posiciona como uno de los más importantes problemas que afectan a la sociedad del siglo XXI. La pérdida de calidad del aire, del recurso hídrico y de suelos disponibles para actividades agrícolas se ha incrementado exponencialmente (Singh *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2013).

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).

La movilidad de un metal depende de una serie de parámetros del suelo tales como: pH, materia orgánica, carbonatos, minerales de la arcilla, entre otros. Así, no todos los cationes de cambio están igualmente disponibles, al contrario, depende del mineral o minerales de los que están formando parte como complejo de cambio (González *et al.* 2008).

A nivel nacional se han realizado algunos estudios relacionados a la determinación de metales pesados en diferentes lugares, donde se realizan actividades agropecuarias e industriales cercanas a la zona. En la provincia de Chiriquí, 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 Zinc (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).

Santo *et al.* (2019), determinaron los metales pesados en la cuenca N° 128 del Río La Villa de las provincias de Herrera y Los Santos en la cuenca alta, media y baja de actividad agrícola y ganadera durante los meses de octubre (época lluviosa) 2016 y marzo (época seca) 2017. Se tomaron datos al azar en toda la cuenca en varias fincas donde se colectaron muestras en los principales cultivos, leche, heces de bovino y productos fitosanitarios (herbicidas y fungicidas) dentro de la zona. Las muestras de cultivos colectadas presentaron altos valores de Cu, Cr, Cd, As. En el agua había altas concentraciones de Cd, Cr, Mn, Zn y Pb. En leche muestreada los resultados arrojaron altas concentraciones de Arsénico en la cuenca media y baja. En los productos fitosanitarios como herbicidas y fungicidas los valores de Cu, Zn, Ni y Cr sobrepasaron los límites permitidos (USEPA 1993).

Debido a esta problemática, se realizó el presente estudio con el fin de recolectar información de carácter ambiental sobre la cuenca del río Santa María y contribuir al diagnóstico y por consiguiente, a facilitar la toma de decisiones sobre todo de carácter gubernamental, que sean de ayuda a especialistas para resolver problemas de contaminación, lo que beneficiará a los productores y consumidores de productos agrícolas y pecuarios. El objetivo de esta investigación fue determinar la concentración de metales pesados en suelos, sedimentos y agroquímicos de zonas de importancia en la producción agropecuaria en la Cuenca del Río Santa María en la provincia de Herrera, Coclé y Veraguas (Panamá).

El estudio se realizó en la Cuenca del Río Santa María, identificada como la N° 132 en el sistema hidrológico de América Central. Se ubica en la vertiente del Pacífico en las provincias de Veraguas, Coclé y Herrera (8°05'25"N 80°29'01"O). El área de drenaje total de la cuenca es de 3,079.38 km² y la longitud del río principal es de 173.0 kilómetros.

La elevación media de la cuenca es de 200 msnm, y el punto más alto se encuentra en la Cordillera Central con una elevación de 1,528 msnm.

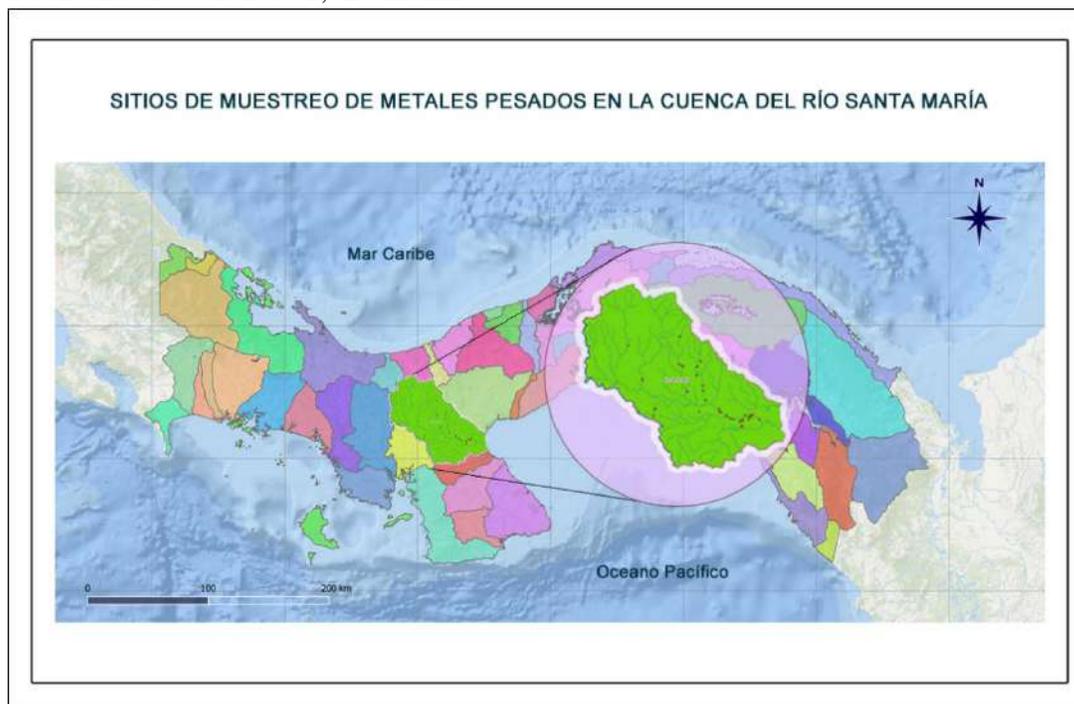


Figura 1. Ubicación de la Cuenca del Río Santa María.

El trabajo consistió en tomar muestras de suelo, sedimentos y agroquímicos en dicha cuenca, utilizando un muestreo al azar en el campo buscando la mayor homogeneidad y representatividad del área de estudio. En cada punto muestreado se tomaron las coordenadas para su localización, utilizando el programa Fields area Measure PRO que permite la ubicación exacta de cada sitio.

El muestreo de suelo se hizo en base a la metodología SEMARNAT (2010), para suelos contaminados, la cual consistía en tomar un área de la finca a muestrear, preferentemente rectangular de aproximadamente 10 x 30 metros, luego al realizar la toma de muestras se utilizó

el método sistemático o de rejilla que consiste en seleccionar puntos de muestreos a distancias uniformes en zig zag, diagonal o cuadrícula (Mason 1992), tomando un total de sub muestras de 10 a 15 con una profundidad de 0-30 cm, obteniendo una muestra compuesta homogénea. Se tomaron muestras en áreas de producción agropecuaria intensiva y a la vez, en áreas de poca o nula actividad agrícola y pecuaria, para su posterior comparación. (Ver figura 2)

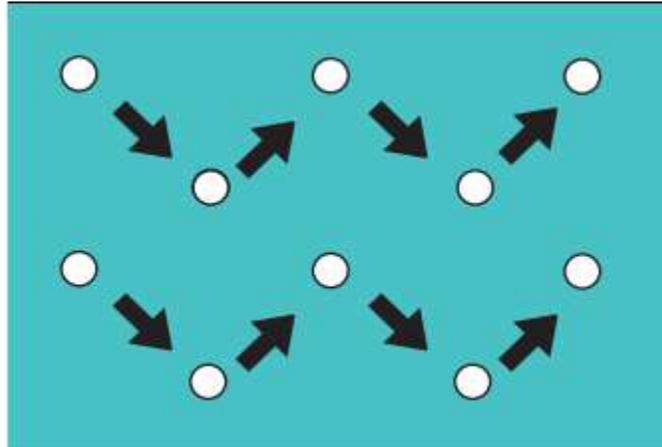


Figura 2. Muestreo en zigzag para suelos contaminados según SEMARNAT, 2010.

En el muestreo de sedimento se tomaron cuatro sub-muestras superficiales a 15 cm de profundidad, en cada sitio se tomó sus respectivas coordenadas, a la ribera del río en un radio de tres metros, obteniendo una única muestra compuesta. Posteriormente, fueron llevadas y procesadas en el laboratorio de Fertilidad de Suelos del IDIAP (Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá).

El muestreo de fertilizante y agroquímicos se basó en una encuesta realizada a los productores de la cuenca, seleccionando los productos más utilizados y con mayor frecuencia para sus respectivos análisis en el laboratorio. En la tabla 1 se observan los productos seleccionados para la investigación y que son comúnmente utilizados por los productores de la zona de la Cuenca del Río Santa María.

Tabla 1. Productos seleccionados para los análisis en el laboratorio.

Fertilizantes	
Nombre comercial	Formulas
Abono completo	12-24-12
Urea	46 %
Agroquímicos	
Nombre comercial	Ingrediente activo
Glifopro	Glifosato
AGROQUAT 20 sl	Gramoxone
Terrano	Aminopyralid y 2,4-D
Arrivo 20 ec	Cipermetrina
Panomil 72 sc	Benzonitrilo Halogenado, Chlorothalonil

Los metales pesados que se evaluaron en esta investigación en muestras de suelo, sedimentos, fertilizantes y plaguicidas, fueron el Cd(cadmio), Cu(cobre), Ni(níquel), Pb(plomo), y Zn(zinc), por ser algunos de los más importantes y estar mayormente asociados a la acción antropogénica.

Para determinar las concentraciones de metales pesados en suelo, sedimentos y fertilizantes se utilizó el método EPA 3051A el cual consiste en preparar una solución con 0.50g de muestra con ácido nítrico y clorhídrico (Agua regia), para posteriormente tomar las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica de llama con fuente continua. Mientras en los plaguicidas se utilizó el método de la plancha caliente (Villarreal, 2018). Las muestras fueron envasadas y almacenadas una nevera para conservarlas hasta realizarle los análisis. Del total de muestras, se procesaron 40 muestras de suelos, 29 de sedimentos y 7 de agroquímicos.

Para evaluar las concentraciones de los metales pesados en las muestras se utilizó la norma US EPA (1993), y valores de referencias según Aguilar *et al.*, (1999), mientras en agroquímicos se utilizaron tablas de referencias según Alloway (1995), Kabatas - Pendias y Pendias (1984) y Colmer y Sánchez (2000).

Para realizar el análisis estadístico en esta investigación se utilizó el programa InfoStat para evaluar las concentraciones de metales pesados con las variables estudiadas. Se realizaron análisis de regresión, varianza y el multivariado para ver las relaciones entre las concentraciones de metales pesados y propiedades físico-químicas (Materia orgánica, pH, textura, minerales, entre otros), de las variables estudiadas (suelos, sedimentos y agroquímicos).

En la Tabla 2 se presenta la información de las muestras de suelos y en la Tabla 3 la información de las muestras de sedimentos. En ambas se dan las coordenadas geográficas y la cuenca la que pertenecen.

Tabla 2. Ubicación geográfica del muestreo de suelos en la cuenca del Río Santa María.

NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	CUENCA
Gatú 1	8.273297	-81.00194	Parte Alta
Gatú 2	8.273258	-81.00105	Parte Alta
Santa Fe	8.400035	-81.05308	Parte Alta
La Yeguada	8.431504	-80.86117	Parte Alta
Guías Arriba	8.231462	-80.77418	Parte Media
La Botijuela	8.250994	-80.7747	Parte Media
El Puente	8.322959	-80.84992	Parte Media
La Corocita	8.32153	-80.79545	Parte Media
La Raya 1	8.229121	-80.83313	Parte Media
La Raya 2	8.228351	-80.83236	Parte Media
Los Limones 1	8.342507	-80.78273	Parte Media
Los Limones 2	8.341488	-80.78298	Parte Media
Anón 1	8.1378979	-80.95792	Parte Media
Guías Abajo	8.197989	-80.76336	Parte Media
Anón 2	8.1642311	-80.95365	Parte Media
Anón 3	8.1624758	-80.95357	Parte Media
Anón 4	8.1623095	-80.954	Parte Media

NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	CUENCA
Capellanía 1	8.325056	-80.85143	Parte Media
Capellanía 2	8.325131	-80.85194	Parte Media
El Bajo	8.330043	-80.86345	Parte Media
Las Tetas	8.288465	-80.79701	Parte Media
Arrozal 1	8.118105	-80.63658	Parte Baja
Arrozal 2	8.118529	-80.637448	Parte Baja
Santa Rita	8.123541	-80.62347	Parte Baja
La Ciénega	8.125266	-80.56341	Parte Baja
Santa María 1	8.10476	-80.62865	Parte Baja
Santa María 2	8.103747	-80.6288	Parte Baja
Cañazas 1	8.151123	-80.70695	Parte Baja
Cañazas 2	8.15165	-80.70746	Parte Baja
El Rincón	8.121736	-80.3577	Parte Baja
El Torno 1	8.138695	-80.5989	Parte Baja
El Torno 2	8.138773	-80.59206	Parte Baja
El Torno 3	8.143707	-80.58769	Parte Baja
El Torno 4	8.13256	-80.60222	Parte Baja
El Cañal	8.129592	-80.67197	Parte Baja
El Mangal	8.140335	-80.61581	Parte Baja
La Cebolla	8.126844	-80.62347	Parte Baja
Jagüito	8.155002	-80.71286	Parte Baja
Lechería	8.164569	-80.71303	Parte Baja
Divisa	8.13867	-80.68624	Parte Baja

Tabla 3. *Ubicación geográfica del muestreo de sedimentos en la cuenca del Río Santa María.*

NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	CUENCA
Gatú	8.274824	-81.00022	Parte Alta
Santa Fe	8.39988	-81.0532	Parte Alta
La Yeguada	8.431778	-80.86007	Parte Alta
Guías Arriba	8.231462	-80.77418	Parte Media
La Botijuela	8.250507	-80.7753	Parte Media
El Puente	8.322575	-80.85038	Parte Media
La Corocita	8.321166	-80.79586	Parte Media
La Raya	8.229323	-80.83154	Parte Media
Guías abajo	8.197376	-80.76386	Parte Media
Anón	8.164681	-80.95165	Parte Media
Capellanía	8.32452	-80.85068	Parte Media
El Bajo	8.097027	-80.62863	Parte Media
Las Tetas	8.289322	-80.79722	Parte Media
El Arrozal	8.123541	-80.62347	Parte Baja
Santa Rita	8.12249	-80.6233	Parte Baja
La Ciénega	8.126563	-80.56313	Parte Baja
Santa María	8.097027	-80.62863	Parte Baja
Cañazas	8.153014	-80.78895	Parte Baja
El Rincón	8.125105	-80.60237	Parte Baja

NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	CUENCA
El Torno 1	8.138849	-80.59901	Parte Baja
El Torno 2	8.13812	-80.59184	Parte Baja
El Torno 3	8.143707	-80.5876	Parte Baja
El Torno 4	8.13256	-80.60222	Parte Baja
El Cañal	8.129979	-80.67012	Parte Baja
El Mangal	8.140629	-80.61584	Parte Baja
La Cebolla	8.127639	-80.65945	Parte Baja
Jagüito	8.154541	-80.71328	Parte Baja
Lechería	8.16416	-80.71424	Parte Baja
Divisa	8.321166	-80.79586	Parte Baja

RESULTADO Y DISCUSIÓN

El resultado del análisis de metales pesados en suelos en este estudio se aprecia en la Tabla 4, en un resumen de los promedios de todas las muestras analizadas, donde se resaltaron algunas con más y menos contenido respectivamente, para su posterior comparación y evaluación con los límites permitidos por la norma US EPA (1993). Como se puede apreciar, el contenido de metales pesados no superó los límites máximos permitidos por la normativa internacional expresados en mg/kg e igualmente no sobrepasan los límites máximos de tablas de referencias propuestas de investigaciones realizadas por otros autores (Aguilar *et al.*, 1999). En los resultados obtenidos sobresalió el Cu en la parte alta y media de la cuenca, con 134.75 mg/kg en la parte alta y 137.7 mg/kg en la parte media. Esto puede estar relacionado con la minería clandestina que se practica en la parte alta de la Cuenca. Muchas personas se dedican a extraer oro, lo que puede liberar metales pesados en el agua del río, luego son acumulados en sedimentos y posteriormente en suelos de la cuenca.

Aunque las concentraciones de metales pesados en suelos no sobrepasaron los límites permitidos, se encuentran en valores altos y cerca de superar lo recomendado por las normas internacionales (USEPA, 1993). Esto quiere decir que, su presencia se asocia con la aplicación de productos químicos, puesto que los contenidos de metales pesados en algunos fungicidas y fertilizantes más que todo, son altos y sobrepasan lo permitido según los valores de referencias.

Tabla 4. Promedios del contenido total de metales pesados en suelos de la Cuenca del Río Santa María en la parte alta, media y baja.

Cuenca	Parte Alta		Parte Media					Parte Baja						
Lugar	Gatú 1	Santa Fe	La Raya 1	Los Limones 1	El Anón 3	Capellania 1	Las Tetas	Lechería	Cañazas 1	El Torno 2	El Arrozal 2	Santa María 1	(Aguilar, 1999) pH <7	USEPA, 1993
mg/kg														
Cu	34.22	134.75	54.24	64.55	128.8	64.78	137.75	7.97	67.92	72.35	15.05	13.27	150-300	750
Zn	101.28	95.27	178	60.48	174.63	128.85	136.45	1.55	101.81	87.02	45.64	22.86	300-600	1400
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3-7	20
Ni	22.84	32.65	10.34	10.17	28.02	18.75	37.74	23.54	19.34	11.79	4.76	2.1	80-200	210
Pb	3.17	6.84	7.55	7.49	2.73	5.03	2.3	8.81	8.32	2.42	1.56	7.05	250-350	150
pH	5.4	6.3	6.2	4.8	5.2	6.4	5.6	6.2	6.3	6.1	5.4	6.7		
Cuenca	Parte Alta		Parte Media					Parte Baja						
Lugar	Gatú 1	Santa Fe	La Raya 1	Los Limones 1	El Anón 3	Capellania 1	Las Tetas	Lechería	Cañazas 1	El Torno 2	El Arrozal 2	Santa María 1	(Aguilar, 1999) pH <7	USEPA, 1993
mg/kg														
Cu	34.22	134.75	54.24	64.55	128.8	64.78	137.75	7.97	67.92	72.35	15.05	13.27	150-300	750
Zn	101.28	95.27	178	60.48	174.63	128.85	136.45	1.55	101.81	87.02	45.64	22.86	300-600	1400
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3-7	20
Ni	22.84	32.65	10.34	10.17	28.02	18.75	37.74	23.54	19.34	11.79	4.76	2.1	80-200	210
Pb	3.17	6.84	7.55	7.49	2.73	5.03	2.3	8.81	8.32	2.42	1.56	7.05	250-350	150
pH	5.4	6.3	6.2	4.8	5.2	6.4	5.6	6.2	6.3	6.1	5.4	6.7		

En cuanto a sedimentos en la Tabla 5 se presentan los valores arrojados. Se encontraron elevadas concentraciones de Cu (91.59 mg/kg) comparadas con los valores de referencias (<25 >50 mg/kg) de la US EPA (1993). Tanto en la parte alta, media y baja de la cuenca. De igual manera, el zinc presentó una alta concentración (193.85 mg/kg) en la parte media, pero no sobrepasó los límites permitidos (<90>200 mg/kg). El Cu encontrado en sedimento está relacionado con la presencia en suelos, ya que en el sedimento quedan los mismos cuando son arrastrados por los ríos e igualmente cuando se dan las inundaciones, quedando acumulados.

En las muestras de suelos se encontró presencia de Cu que no sobrepasaban los límites permitidos, pero se encuentran en alto contenido (137.75 mg/kg), según los valores de referencias según Aguilar, 1999 (150-300 mg/kg), mientras en sedimentos si sobrepasaron los límites (91.59 mg/kg), según los valores de referencias de US EPA, 1993 (<25>50 mg/kg), de allí la relación del contenido en sedimento – suelo.

En la parte media en los análisis realizados en sedimentos se encontró presencia de Ni superando los límites permitidos (55.92 mg/kg), al igual que en la parte baja (76.17 mg/kg) según los valores de referencias de la norma US EPA, 1993 (<20>50 mg/kg). Se puede atribuir al ingreso de desechos no ordinarios, como electrodomésticos y baterías, que emplean aleaciones de níquel en su fabricación, y a productos líquidos usados en la industria metalmecánica, como aceites, pinturas y lubricantes procedentes del lavado de calles por la lluvia o que ingresan en forma directa al cauce (Marrugo *et al.*, 2006).

En caso de aceites y lubricantes en estas zonas se practica mucho la agricultura bajo riego en cucurbitáceas y cultivos industriales, en la época seca la mayoría tiene bombas de agua de motor en las orillas de los ríos, estos usan muchos lubricantes y combustible, el derrame de esto provoca la contaminación favoreciendo la presencia de Níquel en el sedimento.

Tabla 5. Promedios del contenido total de metales pesados en sedimentos de la Cuenca del Río Santa María en la parte alta, media y baja.

Cuenca	Parte Alta		Parte Media				Parte Baja						
Lugar	Gatú	Santa Fe	La Raya	El Anón	Capellania	Las Tetas	Lechería	Cañazas	El Torno 2	El Arrozal	Santa María	Cebolla	USEPA
Cu	45.16	67.12	50.57	86.17	59.03	91.59	53.08	68.39	46.48	22.89	90.03	53.65	< 25>50
Zn	114.24	109.93	193.85	178.85	149.23	174.10	136.73	125.66	73.86	83.08	118.40	112.26	<90>200
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	>6
Ni	13.80	10.53	8.60	37.89	11.54	55.92	16.73	48.18	31.08	12.21	76.17	12.53	<20>50
Pb	4.57	5.48	6.23	0.85	8.63	4.06	5.50	6.49	5.91	6.62	6.97	1.28	<40>60

En la tabla 6 se muestra el resultado total de metales pesados encontrados en los diferentes agroquímicos utilizados en labores agropecuarios dentro cuenca del Río Santa María. Los herbicidas e insecticidas no se encuentran por encima de los niveles máximos permitidos, a excepción de la muestra de fungicida que sobrepasó los límites permitidos de zinc (78.39 mg/kg) según los valores de referencia de Colmer y Sánchez, 2000 (1.3 – 35 mg/kg), lo que indicaría que probablemente no sean los responsables de la detección de estos elementos en suelos y demás, sin embargo, la continuidad y uso excesivo de estos productos por un largo periodo, es algo que puede provocar la presencia y posterior incremento del contenido de muchos metales pesados en áreas de producción agropecuarias.

De igual manera, es necesario mencionar que en este estudio sólo se realizó el análisis a siete productos, los usados más comúnmente, sin embargo, en el mercado existe una gama de productos con diferentes principios activos y diferentes formulaciones, que son utilizados a gran escala y que contienen altos contenidos de metales pesados en su composición y son asociados a la presencia en suelos, sedimentos, aguas y cultivos. Es decir que, para tener una mayor representatividad o evidencia de la asociación de estos productos con la presencia de metales pesados en dichos componentes, se deben analizar una mayor cantidad de agroquímicos, incluyendo los más tóxicos, los más usados, los más residuales y persistentes, que no pueden ser degradados con facilidad, para comprobar los resultados encontrados en todas las investigaciones futuras.

En cuanto a los fertilizantes, en la Tabla 6 se muestran los valores encontrados. Se puede ver que, en la Urea los elementos Cu, Zn y Ni reportaron valores de 17.43 mg/kg, 291.50 mg/kg y 37.95 mg/kg consecutivamente, superando los límites máximos permitidos según los valores de referencias de Alloway, 1995) y Kabatas - Pendias y Pendias, 1984 (1 – 15 mg/kg, 1.3 – 25 mg/kg, 0.8 – 14 mg/kg), para fertilizantes nitrogenados y se puede relacionar con la presencia de metales pesados, puesto que la urea es un fertilizante muy utilizado en las actividades agrícolas y pecuarias. De igual manera, para el caso del abono 12-24-12 el Zn reportó 264.80 mg/kg y el Ni reportó 68.03 mg/kg, ambos superando los límites máximos permitidos según los valores de referencias de Alloway (1995) y Kabatas - Pendias y Pendias (1984).

Tabla 6. Contenido total de metales pesados en agroquímicos en la cuenca del Río Santa María en la parte alta, media y baja.

Muestras	Plaguicidas y fertilizantes	Cu	Zn	Cd	Ni	Pb
		mg/kg				
Herbicida	Gramoxone	0.16	12.25	ND	0.22	0.04
Fungicida	Panomil 72 Sc	0.48	78.39	ND	3.35	0.12
Herbicida	Glifosato	0.09	11.76	0.37	ND	ND
Insecticida	Cipermetrina	0.33	13.50	ND	1.00	0.16
Herbicida	2,4-D	0.67	13.18	ND	ND	0.19
Valor de referencia según Colmer y Sánchez 2000		12-50	1.3-35	60		0.8-14
Fertilizante	Urea	17.43	291.50	ND	37.95	3.75
Fertilizante	Abono completo	8.61	264.80	0.36	68.03	2.43
Valor de referencia de fertilizantes nitrogenados		1-15	1.3-25	0.05-8.5	0.8-14	
Valor de referencia de fertilizantes fosforados		1-300	50-1450	0.1-170	7-38	7-225

ANÁLISIS DE VARIANZA

En la Tabla 7, se observa que el cobre total presentó diferencia altamente significativa (<0.001) entre los sitios muestreados (localidad), igualmente entre las muestras y las diferentes partes de la cuenca (alta, media y baja) estando por debajo de 0.05 (95% de probabilidad).

En la Tabla 8 sobre el análisis de varianza de zinc se observa que presentó diferencias altamente significativas entre los puntos de muestreos (localidades) y significativa entre las partes de la Cuenca (alta, media y baja), en cambio entre las muestras (suelos y sedimentos) no hubo diferencias significativas

En el análisis de varianza del cadmio en suelo y sedimento (Tabla 9), el resultado arrojó que solo existe diferencia altamente significativa entre los sitios muestreados (localidad).

En el análisis de varianza del níquel en suelo y sedimento (Tabla 10), se observa que existe diferencias altamente significativas entre las localidades solamente, indicando que los contenidos de este metal en los diferentes sitios de muestreo varían entre si notablemente.

En el análisis de varianza del plomo en suelo y sedimento (Tabla 11), los resultados arrojan que en las tres variables estudiadas (localidad, cuenca, muestra) hubo diferencias altamente significativas.

Tabla 12. *Análisis de correlación de características físico-químicas y minerales disponibles del suelo con minerales y metales pesados totales.*

	Mg-total	K-total	Cu-total	Zn-total	Cd-total	Ni-total	Pb-total
Arena	-0.03	0.25	0.22	0.00	0.03	0.03	0.12
Limo	-0.10	-0.13	-0.10	-0.03	-0.01	0.09	0.15
Arcilla	-0.22	-0.18	-0.14	-0.03	0.03	-0.01	0.06
MO	0.01	-0.09	-0.18	-0.04	-0.10	0.18	0.07
pH	0.22	0.11	0.08	-0.06	-0.02	0.05	-0.11
P-disponible	0.38	0.39	0.15	0.08	-0.06	0.10	0.08
K-disponible	0.18	0.08	-0.09	-0.06	-0.11	0.07	0.02
Ca-disponible	0.22	0.26	0.20	0.03	-0.05	0.02	0.12
Mg-disponible	0.13	0.16	0.16	0.08	-0.08	0.14	0.09
Al-disponible	-0.12	-0.09	-0.04	0.13	-0.06	-0.10	-0.02
Mn-disponible	-0.06	-0.09	-0.29	-0.35	-0.15	-0.06	-0.08
Fe-disponible	-0.05	-0.07	0.00	-0.06	-0.06	-0.02	-0.05
Zn-disponible	-0.04	-0.02	-0.17	-0.10	-0.09	-0.02	0.13
Cu-disponible	0.06	-0.05	-0.16	-0.02	-0.07	0.18	-0.05

En la Tabla 12 se observa que las características físico-químicas más importantes y minerales disponibles de los suelos analizados, no presentaron correlación con los minerales y metales pesados totales en esta investigación.

ANÁLISIS MULTIVARIADO DE COMPONENTES PRINCIPALES

En este análisis se muestra un resumen de las variantes evaluadas, sin tomar en cuenta la unidad de medida.

En la figura 3 se muestra un resumen del análisis estadístico en las gráficas y cuadros previos, es decir que se relaciona cada uno de los componentes estudiados sin tomar en cuenta sus unidades de medidas. Está dividido según las partes de la cuenca (alta, media y baja). La parte alta es la que menor relación guarda con respecto a las características físico-químicas y tiene sentido puesto que, se puede erosionar el suelo y producirse arrastre de los sedimentos en aguas hasta acumularse en la parte media y baja. Igualmente, con este análisis no solo se relacionan las partes de la cuenca con todos estos componentes, sino también entre ellos puede existir relación. Es decir que, el análisis multivariado de componentes principales reúne todos los componentes que están relacionados uno con otro.

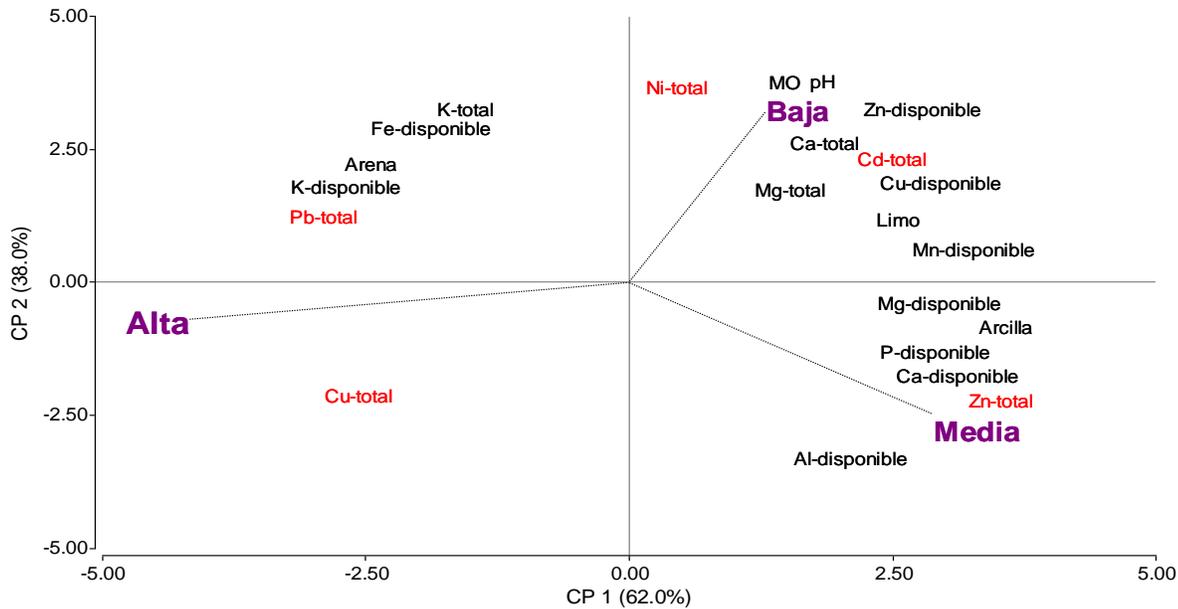


Figura 3. Análisis multivariado de componentes principales en suelos y sedimentos.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la norma USEPA (1993) en la cuenca del Río Santa María no se encontró contaminación por metales pesados en la matriz suelo, a diferencia de la matriz sedimento que reportó contaminación por los metales pesados Ni y Cu.

Aunque en el análisis de los insumos utilizados por los agricultores se encontraron algunos elementos que superaban los límites máximos permisibles, en el suelo no hay contaminación. De los 7 agroquímicos analizados, se encontró que en el fungicida el contenido de Zn supera los límites permisibles, de igual forma los fertilizantes superan los niveles permisibles: la urea con el Cu, Zn y Ni y el abono 12-24-12.

Los resultados obtenidos en este trabajo sobre la concentración de metales pesados demuestran que realizar este estudio es muy importante para aportar antecedentes y datos sobre las zonas de producción agrícola y pecuaria, más que todo las que se encuentran dentro de las cuencas del país, que se puede relacionar a la acción antropogénica, con el fin de encontrar posibles soluciones para mejorar dichas áreas que benefician a toda la población productora y consumidora del país.

RECOMENDACIÓN

Es necesario seguir ampliando el área de investigación relacionada con metales pesados en suelos, sedimentos, aguas, cultivos y agroquímicos, puesto que es un tema de suma importancia para el ambiente y la población, en vista de que en el país son escasas las investigaciones sobre este tema y que serán de mucha utilidad para resolver problemas de contaminación ambiental por concentración de metales pesados.

Es de suma importancia tener presente para futuras investigaciones sobre concentración de metales pesados en agroquímicos, aumentar la cantidad de muestras de estos productos, puesto que en el mercado existe una alta gama de estos. Esto aumentaría la precisión en los resultados ya que, a mayor número de muestras, más probabilidad existe de encontrar metales pesados en los diferentes productos, por lo tanto, el estudio tendrá una mayor exactitud en la interpretación de los resultados de los agroquímicos en relación con suelo, agua, sedimento y cultivos.

REFERENCIAS

- 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. Consultado: https://www.researchgate.net/profile/Jose-Villarreal-2/publication/334041592_contaminacion_de_suelo_y_sedimentos_del_rio_La_Villa/links/5d13841692851cf4404ef787/contaminacion-de-suelo-y-sedimentos-del-rio-La-Villa.pdf
- Aguilar, J; Dorronsoro, C.; Galán, E. & Gómez Ariza, J.L. (1999): Los criterios y estándares para declarar un suelo como contaminado en Andalucía y la metodología y técnica de toma de muestras y análisis para su investigación. In "Investigación y Desarrollo Medioambiental en Andalucía". OTRI. Universidad de Sevilla, 61-64.
- Alloway B.J. 2013 Heavy Metals in Soils, Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability (3ra Ed.) United Kingdom.
- Alloway, B. J. (1990). "Soil processes and the behaviour of inerals " en "Heavy Metals in Soils ". B.J. Alloway (et.), Blackie and Son, Ltd., Gran Bretaña.
- Curtis, D.; Watkins J. 2001 Manual de Toxicología. 5ta Ed. Ed McGraw-Hill Interamericana. México
- Espinosa, J. *et al.* 1987. Residuos Cúpricos y de Metales Pesados en el Área de Barú. Hortalizas, Raíces y Tubérculos, Frutales; IDIAP, Panamá. Consultado: https://www.researchgate.net/profile/Jose-Villarreal-2/publication/334041592_contaminacion_de_suelo_y_sedimentos_del_rio_La_Villa/link/5d13841692851cf4404ef787/contaminacion-de-suelo-y-sedimentos-del-rio-La-Villa.pdf

- González, I.; López, M.; Romero, A.; FernándezCaliani, J.C.; Aparicio, P. & Galán E. (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.
- José E Villareal, e.al (2018). determinaron 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.
- Kabata-Pendias A, Pendias H, 2001. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Kabata-Pendias A. Soil-plant transfer of trace elements—an environmental issue. *Geoderma*. 2004; 122(2):143-149.
- Lucho, C.A., Álvarez, M., Beltrán, R.I., Prieto, F. and Poggi, H. 2005a. A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environmental International*, On Line: 0160- 4120-D 2004 doi:10.1016/j.envint.2004.08.002. Consultado: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Marrugo, J., Lans, E., Doria, G., Bello, L., Castillo, M., Cortes, F. & Pinedo, J. (2006). Impacto ambiental por contaminación con níquel, mercurio y cadmio en aguas, peces y sedimentos en la cuenca del Río San Jorge, en el Departamento de Córdoba. Universidad de Córdoba, Centro de Investigaciones – CIUC. Monteiro, Colombia, 109 p. Consultado el 4 de febrero del 2022: <file:///D:/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeMetalesPesadosEnLosSedimentosSuperfici-4835669.pdf>.
- Mason, B. 1992. Preparation of soil sampling protocols: Sampling techniques and strategies. United States Environmental Protection Agency, Washington. 169 p. consultado: https://www.researchgate.net/publication/215910302_Muestreo_con_fines_de_caracterizacion_y_evaluacion_de_propiedades_de_los_suelos
- Santo-Pineda, A. (2018). *METALES PESADOS EN SUELOS Y SEDIMENTOS*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jose-Villarreal-2/publication/334041592_contaminacion_de_suelo_y_sedimentos_del_rio_La_Villa/links/5d13841692851cf4404ef787/contaminacion-de-suelo-y-sedimentos-del-rio-La-Villa.pdf
- Sauerbeck, D. 1991. Plant, element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. *Water Air Soil Pollut.* 1, 57-58.
- SEMARNAT (Secretaria 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.

- Singh, A. *et al.*, (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*, 51(2 SUPPL.), pp.375–387. Available at: DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.041>.
- 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.
- Walton, R. C., McCrohan, C. R., Livens, F., White, K. N. (2010). Trophic transfer of aluminium through an aquatic grazer–omnivore food chain. *Aquatic toxicology* 99(1), 93-99.