

Artículo Original

***CONCENTRACIÓN DE METALES EN SEDIMENTOS, SU
CORRELACIÓN Y CAUSALIDAD EN AGUAS DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS; EL CASO DEL ARSÉNICO***

***CONCENTRATION OF METALS IN SEDIMENTS, ITS CORRELATION AND
CAUSALITY IN WATER BASINS; THE CASE OF ARSENIC***

Carlos Eduardo Dueñas Valcárcel^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-1141-6218>

¹ Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, Universidad Nacional del Callao, Lima, Perú.

Recibido: Junio 13, 2023; Revisado: Julio 20, 2023; Aceptado: Julio 31, 2023

RESUMEN

Introducción:

Se evalúa la concentración de metales en sedimentos, su correlación y causalidad en las aguas superficiales de cuencas hidrográficas. Se utilizó la información de monitoreos de seis cuencas hidrográficas del Perú, realizadas en agua superficial como en sedimentos, obteniendo la concentración de 31 metales en cada punto muestreado.

Objetivo:

Evaluar la concentración de metales en sedimentos y advertir si existe causalidad en la concentración de metales en aguas superficiales, respecto de algún metal de relevancia ambiental.

Materiales y Métodos:

Se utilizaron monitoreos realizados por la Autoridad Nacional del Agua de Perú. Se utilizó el *software* IBM Statistics SPSS V.29.

Resultados y Discusión:

De 31 metales evaluados tanto en sedimentos como en agua superficial de los ríos, solo existe una correlación moderada en cuatro metales. Respecto a la causalidad, solo existe una tendencia alta de arsénico con un R^2 de 0,729. Esto indica que el 72,9% de la concentración de arsénico en agua es causada por la concentración de arsénico presente en los sedimentos, siendo el 27,1% atribuible a otros factores como el antrópico en las áreas específicas de estudio.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Carlos E. Dueñas, Email: cduenas.ing.amb@gmail.com



Conclusiones:

Se demuestra que la presencia del arsénico en las aguas se debe principalmente a que esta se encuentra en los sedimentos en el área de estudio. Por lo tanto, es necesario tomar acciones para controlar los efectos que esta pueda tener en el medio ambiente y el ser humano, en caso sea utilizada para consumo o actividades productivas como la agricultura.

Palabras clave: agua superficial; cuencas hidrográficas; metales; sedimentos.

ABSTRACT

Introduction:

The concentration of metals in sediments, their correlation and causality in the surface waters of hydrographic basins are evaluated. Monitoring information from six Peruvian watersheds was used, carried out in surface water as well as in sediments, obtaining the concentration of 31 metals in each sampled point.

Objective:

To evaluate the concentration of metals in sediments and warn if there is causality in the concentration of metals in surface waters, with respect to any metal of environmental relevance.

Materials and Methods:

Monitoring carried out by the National Water Authority of Peru was used. IBM Statistics SPSS V.29 software was used.

Results and Discussion:

Of 31 metals evaluated in both sediments and surface water from rivers, there is only a moderate correlation in four metals. Regarding causality, there is only a high trend for arsenic with an R^2 of 0.729. This indicates that 72.9% of the arsenic concentration in water is caused by the concentration of arsenic present in the sediments, with 27.1% attributable to other factors such as anthropic factors in the specific study areas.

Conclusions:

It is shown that the presence of arsenic in the waters is mainly due to the fact that it is found in the sediments in the study area. Therefore, it is necessary to take actions to control the effects that it may have on the environment and the human being, if it is used for consumption or productive activities such as agriculture.

Keywords: surface water; hydrographic basins; metals; sediments.

1. INTRODUCCIÓN

Según De la Cruz (2019) las cuencas hidrográficas son grandes unidades naturales donde se plasma el ciclo hidrológico en los continentes, siendo el agua el elemento central. Teniendo en cuenta el criterio natural del drenaje, la cuenca hidrográfica está estructurada por una red de corrientes o cauces y a su vez se pueden clasificar u ordenar. En ese sentido, una cuenca hidrográfica se estructura en una determinada cantidad de subcuencas que serían sus contribuyentes o afluentes. Es decir, en una cuenca o subcuenca existirá solo un curso de agua de mayor nivel que recibe aportes de otras

corrientes.

Una cuenca hidrográfica alto andina normalmente consta de tres partes. Las partes altas comprenden altitudes superiores a los 3000 metros sobre el nivel del mar (msnm), llegando en algunos casos hasta los 6500 msnm. Las partes medias son las comprendidas entre los 800 y 3000 msnm. Por su parte las partes bajas abarcan desde el nivel del mar hasta los 800 msnm. En estas zonas se ubican los grandes proyectos de irrigación con importantes sistemas de embalse. El potencial de aguas subterráneas de estas zonas es alto (Vásquez y col., 2016).

Dentro de una cuenca hidrográfica se desarrolla las principales actividades económicas y productivas como la agricultura, ganadería, minería, entre otras industrias que utilizan las aguas de los ríos en sus diferentes procesos, siendo el agua fundamental en la obtención de la materia prima o en la transformación de esta. Sin embargo, en algunos casos no hay tratamientos adecuados para devolver estas aguas residuales de forma óptima a los cuerpos naturales, ocasionando una contaminación en los ríos que va a ser caracterizada por las diferentes actividades socioeconómicas que las generan, así como de otras condiciones propias del medio.

Entre los principales vectores de impactos ambientales causados por las actividades económicas se encuentran los cambios en la cantidad y calidad de los flujos continentales de agua, sedimentos y sus constituyentes químicos hacia el océano a través de los ríos. Asimismo, los ríos representan el principal vínculo entre el continente y el mar en la mayoría de los ciclos biogeoquímicos. Por otro lado, los ríos también son la principal vía de contaminación de las zonas costeras y estuarinas por los contaminantes generados en el continente (De Oliveira y Marins, 2011).

Esta situación podría complejizar la fragilidad ambiental de este ecosistema y los servicios que los ríos podrían brindar en las comunidades en el uso del agua y/o también como fuente de recursos hidrobiológicos como algas, peces, crustáceos, entre otros, que son aprovechables por las personas en muchos casos para consumo directo.

Ante este contexto, es importante realizar monitoreos de agua superficial en los ríos conjuntamente con el monitoreo de los sedimentos, para tener una visión completa de la calidad de este cuerpo natural, y plantear las estrategias integrales para la toma de decisiones en pos de lograr una conservación y/o recuperación del medio.

En esa línea es importante distinguir que, en el caso de los metales, especialmente los metales traza, estos se encuentran entre los contaminantes ambientales más comunes y su comportamiento en varios compartimentos ambientales merece atención, principalmente porque no son degradables, permaneciendo por largos períodos en el ambiente, principalmente en sedimentos y, por lo tanto, representan una amenaza potencial para la biodiversidad, así como para los ecosistemas (De Oliveira y Marins, 2011).

Un metal contaminante importante a mencionar es el arsénico, el cual es un elemento químico que tanto en su estado elemental como sus compuestos son extremadamente tóxicos, especialmente el arsénico inorgánico, que resulta de la combinación del arsénico con el oxígeno, cloro y azufre. Está en la naturaleza en distintas formas (en la tierra y en las rocas); muy pocas veces se lo encuentra en forma sólida. Se puede dispersar en el medio ambiente a través de acción volcánica, erosión de rocas y a través de actividades humanas como la minería o fundición de minerales que contengan

arsénico o el desecho de pesticidas (Cabrera y col., 2013).

La norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS) permite una concentración máxima de arsénico en aguas destinadas para el consumo humano de 10 µg/L. En Latinoamérica, se estima que por lo menos 4,5 millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud. La cantidad de arsénico en el agua, especialmente en el agua subterránea, llega en algunos casos a superar la concentración de 1 000 µg/L. En Perú, su presencia en las fuentes de agua para consumo humano se puede deber a factores naturales de origen geológico, a la explotación minera y a la refinación de metales por fundición (Medina-Pizzali y col., 2018).

Las concentraciones de arsénico en el agua, sobre todo en el agua subterránea, presentan niveles que llegan en algunos casos hasta 1000 µg/L. En otras regiones del mundo como India, China y a la información obtenida, en India existen alrededor de 6 millones de personas expuestas, de las cuales más de 2 millones son niños. En Estados Unidos más de 350000 personas beben agua cuyo contenido es mayor que. 0,5 mg/L de arsénico, y más de 2,5 millones de personas están siendo abastecidas con agua con tenores de arsénico mayores a 25 µg/L (Cabrera y col., 2013).

Asimismo, el arsénico (As) es un elemento muy común en la atmósfera, en rocas y suelos, en la hidrosfera y la biosfera. Es movilizado al ambiente a través de una combinación de reacciones que incluyen tanto procesos naturales (meteorización, actividad biológica, emisiones volcánicas), así como procesos antropogénicos (actividad minera, uso de combustibles fósiles, pesticidas, herbicidas, desecantes, conservadores de la madera, aditivos de alimento de ganado, semiconductores, pigmentos, entre muchos otros) (Alarcón y col., 2014).

Se han identificado cinco mecanismos naturales de contaminación de fuentes naturales debido al arsénico: actividad volcánica o hidrotermal; meteorización oxidativa de sulfuros arsénicos, típicamente piritita y arseno-piritita; desorción de As desde superficies minerales a pH alto; reducción de oxi-hidróxidos de hierro sedimentario y concentración evaporativa. La presencia de As en aguas de consumo humano en ciertos ríos de México, Nicaragua, Perú, Argentina y Chile e incluso Ecuador se atribuye a factores geológicos (Aveiga y col., 2020).

La presencia de altos niveles de As en el agua es un tema prioritario de preocupación ambiental, que limita el uso del recurso para agua potable y otros propósitos e impide el crecimiento socioeconómico, la sostenibilidad del uso racional de los suelos y el desarrollo sostenible de la agricultura (Falchi y col, 2018).

En ese sentido, se hace necesario estudiar cual es el grado de correlación entre la concentración de metales en los sedimentos y su causalidad en la concentración en aguas superficiales, con el objetivo de determinar si existe algún metal pesado que presente una alta causalidad en la zona. De esta manera se determinara si en un área en específico la concentración del metal en agua se debe mayormente a la presencia de sedimentos que obedecería principalmente a factores geológicos propios de la zona en estudio, sin desconocer que el aporte de concentración de los metales pesados también se pueden originar por otros factores como las fuentes antrópicas.

Es preciso indicar que el presente estudio, no tiene la finalidad de averiguar cuáles son las causas de la presencia de metales pesados en los sedimentos o en las aguas

superficiales, solo se limita a identificar si existe correlación y causalidad entre la concentración de sedimentos y el agua superficial de cada metal pesado de relevancia ambiental.

En ese sentido es importante realizar mayores estudios en el área con la finalidad de corroborar que la concentración del arsénico presente en los sedimentos influye en la concentración de arsénico de las aguas en los ríos estudiados.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es evaluar la concentración de metales en sedimentos y advertir si existe causalidad en la concentración de metales en aguas superficiales, respecto de algún metal de relevancia ambiental.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente estudio se utilizó los seis monitoreos de calidad de agua y sedimentos realizados por la Autoridad Nacional del Agua de Perú (en adelante ANA), entre los años 2013 y 2014, cuyos informes son de acceso abierto a través del internet (Política de repositorio ANA, 2019).

Es preciso indicar que los informes de monitoreo de libre acceso del ANA respecto solo a la calidad de las aguas de los ríos se publican periódicamente, sin embargo, los informes que realizaron en calidad de agua y sedimentos en conjunto no se volvieron a publicar desde el año 2014 a la actualidad. La población estará conformada por los sedimentos de seis cuencas hidrográficas de los ríos; Huarmey, Huamansaña, Chicama, Moche, Santa y Virú.

La selección de las muestras para el presente trabajo de investigación ha sido de la forma no probabilística y por conveniencia. Para el criterio de selección de datos, los parámetros a considerar serán 31 metales monitoreados por la ANA, los cuales son: plata, aluminio, arsénico, boro, bario, berilio, calcio, cadmio, cerio, cobalto, cromo, cobre, hierro, mercurio, potasio, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, selenio, sodio, níquel, fosforo, plomo, antimonio, estaño, estroncio, titanio, talio, vanadio y zinc.

Para verificar la existencia de correlación entre la calidad del agua superficial y la calidad de sedimento, se utilizó una prueba estadística, determinando en primera instancia si los datos tienen una distribución normal, para elegir una prueba paramétrica o no paramétrica. Para el desarrollo de las pruebas estadísticas mencionadas se hará uso del *software IBM SPSS Statistics V.29*.

Para las pruebas de correlación bivariadas se utilizó la prueba de Pearson en caso las variables cumplan las condiciones paramétricas, o la prueba de Spearman en caso las variables cumplan las condiciones de no paramétricas. Los resultados se pueden clasificar en correlación débil, media y buena conforme se aprecia a continuación en la tabla 1 (Roy-García y col., 2019).

Es preciso indicar que la correlación entre concentración de metales en sedimentos y agua o viceversa, no indica una causalidad.

Tabla 1. Rangos de correlación

<i>Valor</i>	<i>Descripción</i>
0	Sin correlación
$\pm 0,20$	Correlación débil

± 0,50	Correlación moderada
± 0,80	Correlación buena
1	Correlación perfecta

Para determinar la existencia o no de causalidad de los metales que presentaron un factor de correlación mayor a la correlación moderada de +- 0,50, se les aplicó la regresión polinomial por ser los datos no paramétricos. Se procedió a evaluar el R² y el p valor. El indicador del R² brindó el porcentaje de los puntos de muestreo en donde la concentración del metal en agua es influenciada por la concentración del metal presente en los sedimentos, entendiéndose que mientras el valor de R² se acerque más a uno (100%) la causalidad será mayor. Para realizar las pruebas estadísticas se usó del *software IBM SPSS Statistics V.29*.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron 113 resultados tanto en calidad de agua superficial como de calidad sedimentos para los 31 metales evaluados. Estos datos se consiguieron de los seis Informe de monitoreos del ANA; cuenca del río Aija- Huarmey (Villegas y col., 2014), cuenca del río Chao (Malpica y col., 2014), cuenca del río Chicama (Polo y Serpa., 2014), cuenca del río Moche (Salbatier y col., 2014), cuenca del río Santa (Alfaro y col., 2014), y cuenca del río Viru (Verastegui y col., 2014). En los cuales se consignaron los puntos establecidos con coordenadas de los cuales se obtuvieron muestras de agua superficial y a su vez de sedimentos en el mismo punto o ubicación.

Esta base de datos se obtuvo consignando los valores de concentración en ppm de los 31 parámetros de metales en sedimento (mg/kg) y agua superficial (mg/l), a partir de los seis informes de monitoreo publicados por el ANA, a modo de ejemplo se muestra la base de datos elaborada para el Arsénico en la Tabla 2. De los cuales, se observa que los sedimentos presentan una concentración promedio de arsénico en ppm (mg/l o mg/kg) mucho más elevada que la del agua, siendo la concentración en sedimentos el 610466,667% de concentración del agua, por lo que en la presente investigación se delimitará en la concentración de arsénico en los sedimentos y su influencia en la concentración de arsénico en el agua.

Tabla 2. Concentración de arsénico en sedimentos y agua en ppm (mg/l o mg/kg)

Metal As	Cuenca del río Aija-Huarmey		Cuenca del río Chao		Cuenca del río Chicama		Cuenca del río Moche		Cuenca del río Santa		Cuenca del río Viru	
	Agua (mg/l)	Sediment o (mg/kg)	Agua (mg/l)	Sedimen to (mg/kg)	Agua (mg/l)	Sediment o (mg/kg)	Agua (mg/l)	Sedime nto (mg/kg)	Agua (mg/l)	Sedime nto (mg/kg)	Agua (mg/l)	Sedime nto (mg/kg)
1	0,001	148,1	0,001	36,2	0,001	6,2	0,001	182,4	0,002	176	0,001	36,2
2	0,026	647,8	0,001	11,8	0,005	8	0,001	24,3	0,005	279,5	0,001	11,8
3	0,001	290,1	0,001	6,1	0,001	5,5	0,042	756,6	0,001	38,7	0,001	6,1
4	0,001	52,5	0,001	20,7	0,007	26,4	0,055	281,9	0,0204	982	0,001	20,7
5	0,011	119	0,001	2,1	0,009	40,6	0,152	366,4	0,037	28,3	0,001	2,1

6	0,024	221,8	0,001	1,4	0,01	39,3	0,001	14,1	0,022	85,1	0,001	1,4
7	0,103	806,9	0,049	17,9	0,009	38,7	0,017	22,1	0,0477	31,8	0,049	17,9
8	0,08	306,6	0,035	17,8	0,009	30,2	0,02	317,4	0,0195	70,4	0,035	17,8
9	0,036	2732,1	0,025	15	-	-	0,001	16,7	0,001	16,9	0,002	14,8
10	0,748	1486,4	0,001	8	-	-	0,001	24,603	0,058	52,1	0,002	6,4
11	1,427	18927,4	0,002	7,4	-	-	0,002	18,5	0,0537	81,1	0,002	9,3
12	0,01	231,2	0,001	14,8	-	-	0,001	17	0,0493	95,8	0,001	8
13	0,397	3055,3	0,002	9,3	-	-	0,003	5,1	0,015	48,2	0,002	7,4
14	0,21	991,9	0,002	6,4	-	-	0,007	8,8	0,01	41,7	0,001	11
15	0,001	10,3	0,001	11	-	-	0,02	193,9	0,0333	33,5	0,054	30,8
16	0,001	10,3	0,054	30,8	-	-	0,02	80,4	0,0103	74,2	0,001	6,7
17	0,235	282,3	0,001	6,7	-	-	0,001	4,2	-	-	0,001	6,6
18	0,001	210	0,001	6,6	-	-	0,002	18,3	-	-	0,002	5,9
19	0,002	133	0,002	5,9	-	-	0,001	48,9	-	-	0,001	3,6
20	0,043	168,3	0,001	3,6	-	-	0,006	21,4	-	-	-	-
21	0,025	169,4	-	-	-	-	0,025	47,5	-	-	-	-
22	0,0001	11,2	-	-	-	-	0,001	14	-	-	-	-
23	0,004	23,2	-	-	-	-	0,001	111,7	-	-	-	-
24	0,0001	13,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	0,487	110,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	0,281	51,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	0,211	27,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Una vez que se contó con esta base de datos, se procedió en aplicar la prueba no paramétrica de Kolmogorov, para verificar si los datos cumplen con la característica de normalidad, obteniendo como resultado que todos los metales evaluados tienen un p valor menor a 0,05, por lo que se confirma la no normalidad y las condiciones no paramétricas en los datos de los 31 metales evaluados. A continuación, se procedió a aplicar la prueba de correlación de Spearman para estadística no paramétrica a los 31 metales evaluados respecto a las variables calidad de sedimentos y calidad de agua superficial, siendo que de los 31 metales solo dieron resultado superior a una correlación moderada cuatro metales: As, Na, Ni y Zn, tal como se aprecia en la tabla 3.

Tabla 3. Metales que presentan correlación mayor a 0,5

<i>Metal</i>	<i>Coefficiente de Correlación</i>
As	0,605
Na	0,545
Ni	0,591
Zn	0,637

Por lo tanto, considerando como una de las maneras de definir el término “metal pesado”, como un elemento químico comprendido entre 63,55 (Cu) y 200,59 (Hg) (Duffus, 2002), se tiene que de los cuatro metales que están correlacionados, dos son metales pesados siendo estos el arsénico y el zinc con pesos atómicos de 74,92 y 65,38 respectivamente. En el caso del sodio y del níquel estos no podrían ser considerados metales pesados bajo esta clasificación dado que tienen pesos atómicos de 22,99 y 58,69

respectivamente.

Posteriormente, se procedió a calcular la causalidad para lo cual se utilizó una prueba de regresión no paramétrica polinomial, mediante la estimación curvilínea en los 4 metales, para visualizar el porcentaje de causalidad a través del R^2 que tiene la variable dependiente (calidad de agua) con la variable independiente (calidad de sedimentos), para este análisis se utilizó el *software IBM SPSS Statistics V.29*. En la estimación curvilínea se consideró la ecuación cubica por ser regresión polinómica, la cual mostró los mejores resultados para el R^2 y p valor, tal como se verifica en las tablas 4 y 5.

Para el arsénico:

Tabla 4. Valor de R^2 para el arsénico

<i>R</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado ajustado</i>	<i>Error estándar de la estimación</i>
0,854	0,729	0,724	0,086
La variable independiente es As_Sedimentos			

Tabla 5. Tabla ANOVA con p valor (Sig.) para el arsénico

	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
Regresión	2,205	2	1,103	147,932	0,000
Residuo	0,820	110	0,007		
Total	3,025	112			
La variable independiente es As_Sedimentos					

De los resultados se obtiene un p valor de 0,000 que confirma la causalidad, asimismo se obtuvo un valor de R^2 de 0,729 con tendencia alta, lo que indica que el 72,9% de la concentración de arsénico en agua es causada por la concentración de arsénico presente en los sedimentos. Lo cual se puede advertir en la figura 1.

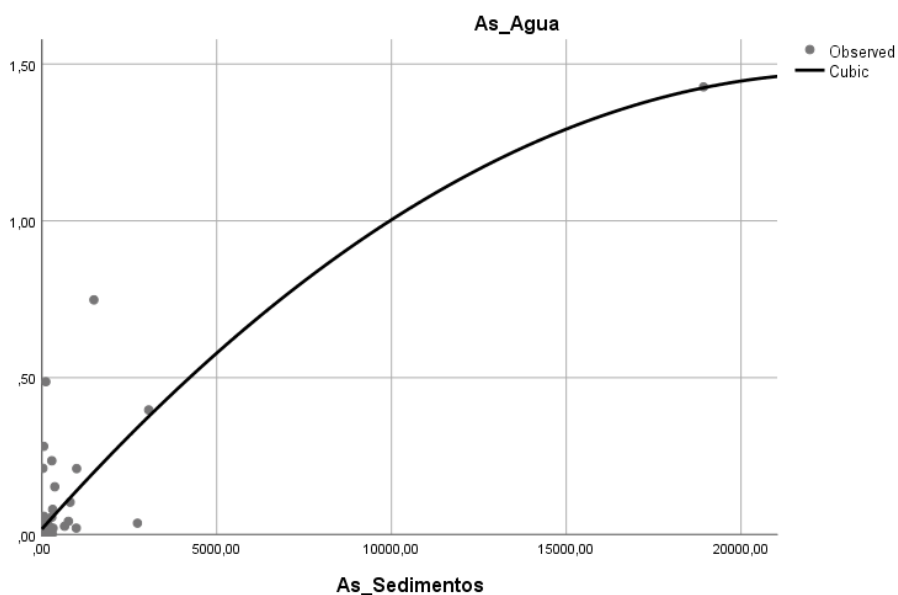


Figura 1. Gráfica de la curva para arsénico

Para el sodio:

De la tabla 6, se obtuvo un p valor de 0,000 que confirma la causalidad, asimismo se obtiene un valor de R^2 de 0,600 con tendencia media, lo que indica que el 60,0% de la concentración de sodio en agua es causada por la concentración de sodio presente en los sedimentos. Tal como se advierte en la figura 2.

Tabla 6. Valor de R^2 y p valor (Sig.) para el sodio

Variable dependiente: Na_Agua				
<i>Ecuación</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>F</i>	<i>gl</i>	<i>Sig.</i>
Cúbica	0,600	53,911	3	0,000
La variable independiente es Na_Sedimentos				

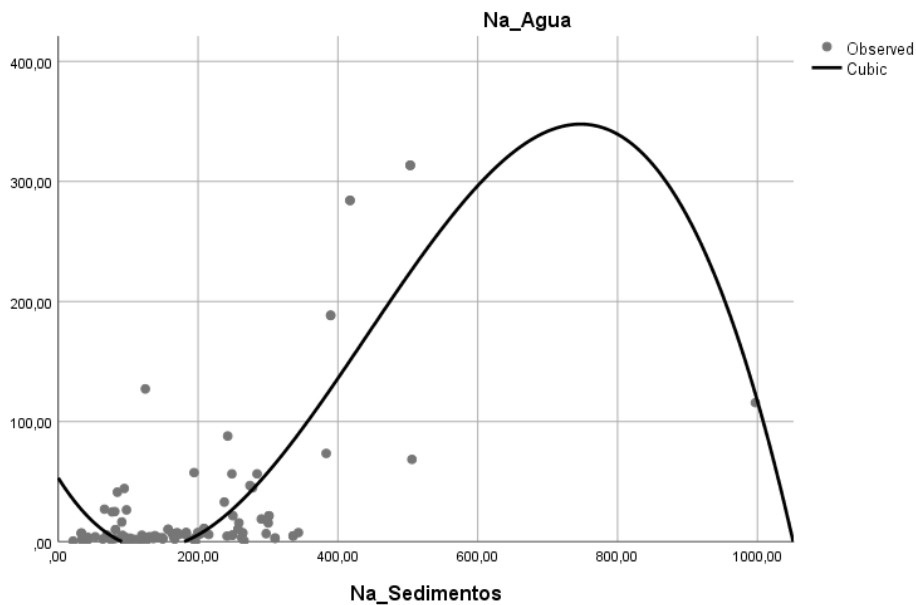


Figura 2. Gráfica de la curva para sodio

Para el níquel:

De la tabla 7, se obtuvo un p valor de 0,000 que confirma la causalidad, asimismo se obtiene un valor de R^2 de 0,166 con tendencia muy baja, lo que indica que el 16,6% de la concentración de níquel en agua es causada por la concentración de níquel presente en los sedimentos. Lo mencionado se advierte de la figura 3.

Tabla 7. Valor de R^2 y p valor (Sig.) para el níquel

Variable dependiente : Ni_Agua				
<i>Ecuación</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>F</i>	<i>gl</i>	<i>Sig.</i>
Cúbica	0,166	7,228	3	0,000
La variable independiente es Ni_Sedimentos				

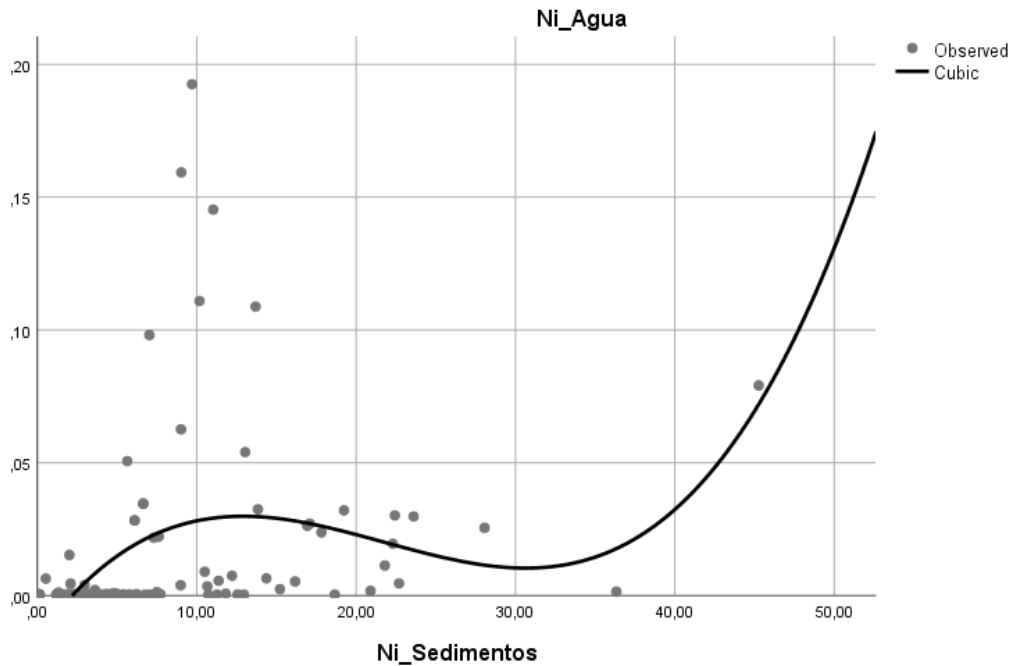


Figura 3. Gráfica de la curva para el níquel

Para el zinc:

Para el zinc, de la tabla 8, se obtuvo un p valor de 0,218 y 0,209 para la ecuación cuadrática y cúbica respectivamente por lo que no se confirma la causalidad.

Tabla 8. Valor de R² y p valor (Sig.) para el Zinc

Variable dependiente : Zn_Agua				
<i>Ecuación</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>F</i>	<i>gl</i>	<i>Sig.</i>
Cuadrática	0,027	1,545	2	0,218
Cúbica	0,041	1,535	3	0,209
La variable independiente es Zn_Sedimentos				

4. CONCLUSIONES

1. De los 31 metales evaluados se advierte que, para las 6 cuencas hidrográficas los valores de calidad en sedimentos y agua superficial cumplen la estadística no paramétrica.
2. De los 31 parámetros solo cuatro (As, Na, Ni y Zn) muestran una correlación moderada superior al 0,5 en el coeficiente de correlación, esto indica que en la mayoría de los metales no existe una correlación entre la calidad del agua superficial y la calidad de sedimentos, en los ríos evaluados.
3. De la verificación realizada de causalidad de estos cuatro metales (As, Na, Ni y Zn), solo se obtuvo en el As un valor de R² de 0,729 con una causalidad de tendencia alta, lo que indica que el 72,9% de la concentración de arsénico en agua es causada por la concentración de arsénico presente en los sedimentos.
4. El sodio presentó una causalidad media, el níquel una causalidad muy baja y el zinc no presentó causalidad.
5. La presencia del arsénico en las aguas del área de estudio, se debe

principalmente a que esta se encuentra en los sedimentos y por lo tanto es necesario tomar acciones conducentes a controlar los efectos que esta pueda tener en el medio ambiente y el ser humano, en caso sea utilizada en caso sea utilizada para consumo o actividades productivas como la agricultura.

REFERENCIAS

- Alarcón, M., Leal, L., Martín, I., Miranda, S., y Benavides, A., Arsénico en Agua., No. 1, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, 2014, pp. 9-10. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1056/1/Libro%202013Arsenico%20en%20el%20Agua%20con%20ISBN.pdf>
- Alfaro, O., Salbatier, M., López, R., Sánchez, C., Kaqui, L., Gonzales, S., Miñano, H., y Ocola, J., Evaluación de la calidad del agua y de los sedimentos en la cuenca del río Santa., noviembre 2013: Informe técnico, Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos., 2014, pp. 19-22. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/867>
- Aveiga, A.M., Aguilar, N., Macías, P.J., Peñarrieta, F., y Herrera, E.M., Distribución de arsénico en agua superficial y sedimento en la cuenca del río carrizal, Manabí - Ecuador., Revista de la Sociedad Química del Perú, Vol. 86, No. 3, 2020, pp. 260-275. <https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v86i3.299>
- Cabrera, M.A., Pinos, D., y Pulla, M.F., Arsénico en el agua., Galileo, 2013, pp. 128-134. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30009/1/173-635-1-PB.pdf>
- De la Cruz, J.F.M., La identificación de las cabeceras de cuencas hidrográficas: métodos y aplicaciones., Investigaciones sociales, Vol. 22, No. 40, 2019, pp. 111-120. <https://doi.org/10.15381/is.v22i40.15890>
- De Oliveira, R.C., y Marins, R.V., Dinámica de metais-traço em solo e ambiente sedimentar estuarino como un fator determinante no aporte desses contaminantes para o ambiente aquático: revisão., Revista Virtual de Química, Vol. 3, No. 2, 2011, pp. 88-102. <https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/171/174>
- Duffus, J.H., Heavy metals a meaningless term? (IUPAC Technical Report)., Pure and Applied Chemistry, Vol. 74, No. 5, 2002, pp. 793-807. <https://publications.iupac.org/pac/2002/pdf/7405x0793.pdf>
- Falchi, L., Pizzorno, P., Laquinta, F., y Cousillas, A., Relevamiento de la concentración de arsénico total en agua proveniente de varias fuentes en una zona arroceras del Uruguay., Laboratorio Tecnológico del Uruguay, No. 17, 2018, pp. 11-12. <https://doi.org/10.26461/17.07>
- Malpica, M., Chima, T., y Serpa, R., Segundo monitoreo de la calidad de agua superficial y sedimentos de la cuenca del río Chao., Informe técnico, Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, 2014, pp. 7-9. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/750>
- Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., y Torres, C., Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana., Revista Peruana de medicina experimental y salud pública, Vol. 35, No. 1, 2018, pp. 93-102. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>
- Política de Repositorio ANA., Autoridad Nacional del Agua, 2021, pp. 2-3. https://repositorio.ana.gob.pe/static/documents/Politica_RepositorioANA.pdf
-

- Polo, J., y Serpa, R., Segundo monitoreo de la calidad de agua superficial y sedimentos de la cuenca del río Chicama., Informe técnico, Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, 2014, pp. 9-10. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/2520>
- Roy-García, I., Rivas-Ruiz, R., Pérez-Rodríguez, M., y Palacios-Cruz, L., Correlación: no toda correlación implica causalidad., Revista Alergia México, Vol. 66, No. 3, 2019, pp. 354-360. <https://doi.org/10.29262/ram.v66i3.651>
- Salbatier, M., Malpica, M., Verastegui, T., y Sandoval, G., Resultado del monitoreo participativo de la calidad del agua y de los sedimentos de la cuenca del río Moche - La Libertad, octubre - 2014., Informe técnico, Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, 2014, pp. 14-15. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/869>
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., Vasquez, C., Castro, A., Tapia, M., y Alcántara, J., Manejo y gestión de cuencas hidrográficas., No. 1, Fondo Editorial-UNALM, Universidad Nacional Agraria La Molina, 2016, pp. 18-19. <https://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/CUENCAS-HIDROGRAFICAS.pdf>
- Verastegui, R., Malpica, M., y Serpa, R., Segundo monitoreo de la calidad de agua superficial y sedimentos de la cuenca del río Virú., Informe técnico, Autoridad Nacional del Agua, Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, 2014, pp. 8-11. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/751>
- Villegas, C., Villavicencio, M., y Vargas, F., Resultado del monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Aija - Huarney., Informe técnico, Autoridad Nacional del Agua, Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, 2014, pp. 19-22. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/2579>

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Carlos Eduardo Dueñas Valcárcel. Gestión de proyectos, supervisión, redacción - revisión y edición, y software.
-