

# Evaluación de las concentraciones de metales pesados en los ríos Auqui y Paria en la región Ancash, Perú

## “Evaluation of heavy metal concentrations in rivers Auqui and Paria in the Ancash region, Peru”

<sup>1</sup>Alejandro Napoleón Barba Regalado<sup>a</sup>, <sup>1</sup>Edgar Pedro Olivera De La Cruz<sup>a</sup>,

<sup>2</sup>Manuel Emilio Milla Pino<sup>b</sup>, <sup>1</sup>Ernesto Filomeno Narváez Pomiano<sup>c</sup>,

<sup>1</sup>Walter Percy Giraldo Ramírez<sup>a</sup>, <sup>1</sup>José Alejandro Narváez Soto<sup>b</sup>,

<sup>1</sup>Edgar Reinaldo Mena Sánchez<sup>d</sup>.

Recibido, abril 2017

Aceptado, junio 2017

### RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito determinar las concentraciones de metales pesados, específicamente, Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Manganeso, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc; en los ríos Auqui y Paria, en la región Ancash, Perú y compararlo con los límites máximos permisibles, establecidos, por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

A objeto de obtener muestras representativas, se diseñó un plan de muestreo en espacio y tiempo, esto es, en cada una de las cuatro (4) estaciones (invierno, primavera, verano y otoño) se tomaron muestras en cinco (5) puntos (1000 m y 500 m aguas arriba del punto de captación, en el punto de captación, a la entrada y a la salida de la planta de tratamiento) en tres (3) momentos (inicio, intermedio y fin de la estación).

La respuesta obtenida indica que en el Río Auqui la concentración de Manganeso está por encima del límite máximo permitido (0,5 mg/L) y en el Río Paria existen evidencias que conducen a pensar que las concentraciones de metales pesados obtenidas son inferiores a los límites máximos permitidos, lo que indica que el agua es apta para el consumo humano.

<sup>1</sup> Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo". Huaraz, Perú

<sup>2</sup> Universidad Nacional Especializada de Yaracuy. San Felipe, Venezuela

<sup>a</sup> Ing. químico

<sup>b</sup> Ing. Agrícola

<sup>c</sup> Lic. Comunicación

<sup>d</sup> Lic. Sociología

Palabras clave: Metales pesados, límites máximos permitidos, intoxicación.

## ABSTRACT

This paper aims to determine the concentrations of heavy metals, specifically, arsenic, cadmium, copper, chromium, manganese, mercury, nickel, lead and zinc; in Auqui and Paria rivers in Ancash, Peru and compare it with the permissible maximum established limits by the World Health Organization (WHO) region.

In order to obtain representative samples, a sampling plan in time and space was designed, that is, in each of the four (4) seasons (winter, spring, summer and fall) samples points were taken at five (5) (1000 m and 500 m upstream of the point of collection, the collection point at the entrance and exit of the treatment plant) in three (3) times (beginning, middle and end of the season). The response indicates that the Auqui River manganese concentration is above the maximum allowed limit (0,5 mg/L) and the Paria River

there is evidence that lead to think that heavy metal concentrations obtained are below the maximum limits allowed, indicating that water is suitable for human consumption.

Key Words: heavy metals, maximum permissible limits, intoxication.

## INTRODUCCION

La contaminación de los ríos tiene lugar, ya sea por la presencia de compuestos o elementos que por lo general no estarían presentes sin la actividad humana, o por un aumento o disminución de la concentración de las sustancias debido a la actividad del hombre.

Entre las sustancias químicas potencialmente más tóxicas tenemos a los metales pesados, entre ellos, arsénico, cadmio, cobre, cromo, manganeso, mercurio, níquel, plomo, zinc.

El aporte de estos metales al ciclo hidrológico procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de origen litogénico o geoquímico a partir de los minerales que por causas de erosión provocada por vientos, lluvias, etc., son arrastrados al agua.

Sin embargo, en la actualidad la mayor concentración de contaminantes en las

aguas, es por causas de origen antropogénico o debido a la actividad del hombre.

Los procesos industriales, la explotación minera, el desarrollo de la agricultura y los desechos domésticos, constituyen fuentes importantes de contaminación, que fundamentalmente aportan metales pesados al aire, agua y suelo (Sotelo, 2013).

Sobre este tema existen antecedentes muy interesantes como el de Blanco, Ángel y otros, que estudiaron los niveles de Pb, Cd, As, y Zinc en aguas de consumo humano en Salamanca-España, en el año 1998.

Asimismo el estudio sobre la evaluación de As, Cd, Pb y Hg en aguas destinados al consumo humano realizado en Cuba por el Comité Estatal de Normalización en el año 1996.

Los ríos Auqui y Paria están ubicados en la región Ancash, muy cerca de la ciudad de

Huaraz, la cual, tiene estaciones climáticas muy diferenciadas durante el año.

Las estaciones de otoño e invierno son épocas de estiaje o sequía, caracterizadas por la ausencia de lluvias, y comprende los meses de abril a agosto. Las estaciones de primavera y verano época de lluvias, entre los meses

de setiembre a octubre las lluvias son escasas y los meses de enero a marzo son lluvias intensas.

Recibe de 500 a 1000 mm o L/m<sup>2</sup> de lluvia anual, siendo mayor en la zona de Cordillera Blanca. A continuación se presenta un gráfico que muestra la ubicación de las cuencas de ambos ríos:

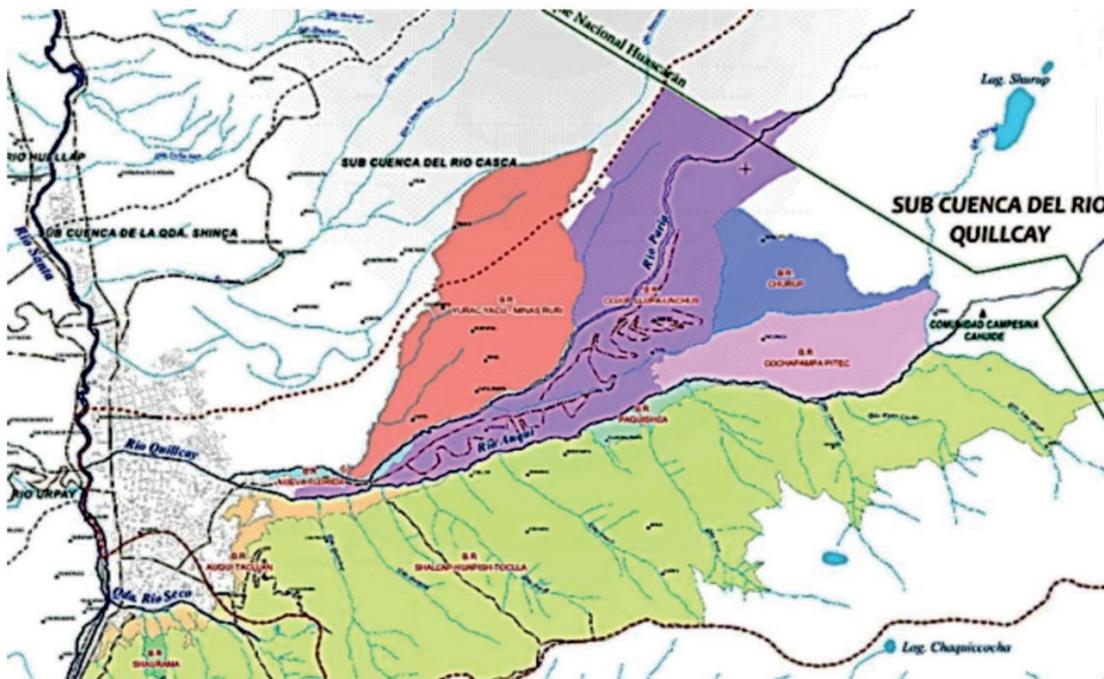


Figura 1. Cuencas de los Ríos Auqui y Paria

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación es de tipo experimental y en ella se desarrolló un plan de muestreo en espacio y tiempo, en aras de garantizar la representatividad de las muestras, lo que en consecuencia, incide en la confiabilidad de los resultados. Este plan consideró además de los dos ríos en estudio, que en cada una de las cuatro

estaciones (invierno, primavera, verano y otoño) se tomaron muestras en cinco puntos (a 1000 m y 500 m aguas arriba del punto de captación, en el punto de captación, a la entrada y a la salida de la planta de tratamiento) en tres momentos (inicio, intermedio y fin de la estación) y se presenta a continuación:

TABLA 1: Plan de muestreo

PUNTOS DE MUESTREO	ESTACIÓN	MOMENTO DEL MUESTREO			SUBTOTAL	TOTAL
		INICIO	MEDIO	FINAL		
1 (1000 m aguas arriba del punto de captación)	1	3	3	3	9	36
	2	3	3	3	9	
	3	3	3	3	9	
	4	3	3	3	9	
2 (500 m aguas arriba del punto de captación)	1	3	3	3	9	36
	2	3	3	3	9	
	3	3	3	3	9	
	4	3	3	3	9	
3 (punto de captación)	1	3	3	3	9	36
	2	3	3	3	9	
	3	3	3	3	9	
4 (entrada a la planta de tratamiento)	1	3	3	3	9	36
	2	3	3	3	9	
	3	3	3	3	9	
	4	3	3	3	9	
5 (salida de la planta de tratamiento)	1	3	3	3	9	36
	2	3	3	3	9	
	3	3	3	3	9	
	4	3	3	3	9	
<b>TOTAL</b>		<b>60</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>180</b>	<b>180</b>

Fuente: Propia

Para evitar la contaminación de las muestras de agua durante el período experimental, se tomaron todo tipo de precauciones para garantizar que las mismas mantuvieran las mismas características que tenían en su lugar de origen.

Para ello, se utilizaron recipientes de polietileno y se siguió un adecuado procedimiento para evitar cualquier contaminación accidental, transportando correctamente las muestras al laboratorio y conservándolas satisfactoriamente (Tebbut, 1999).

El muestreo se realizó en una zona de máxima corriente de agua, evitando en todo momento remover el fondo o provocar agitación del agua (Vega y Reynaga, 1990).

La toma de la muestra de agua se realizó en recipientes de polietileno de

alta densidad, lavados previamente con ácido nítrico diluido y tres veces con el agua de río a muestrear (Batley y Gardiner, 1977).

Las muestras se trasladaron al laboratorio en nevera a una temperatura de 4°C, para evitar alteraciones químicas hasta su análisis en el laboratorio (Kennedy et al, 1974).

Luego de la filtración, se acidifica a un pH 2 con ácido nítrico concentrado para determinar metales pesados, la acidificación permite evitar el intercambio de iones y la precipitación de hidróxidos (Taylor, 1989 y Jarvis et al; 1992). Las muestras se mantienen refrigeradas a 4°C.

En el proyecto de investigación se consideró el estudio de nueve metales pesados: Arsénico, cadmio, cobre, cromo,

manganeso, mercurio, níquel, plomo y zinc.

Sin embargo, es preciso aclarar que el arsénico no es un metal pesado sino un metaloide, pero con la finalidad de simplificar la terminología, a todos los elementos analizados, les denominamos metales pesados.

Los nueve elementos químicos que indicaron antes, son considerados de

mayor interés por su elevado grado de toxicidad según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y los límites máximos permisibles se presentan en la Tabla 2.

Las determinaciones de las concentraciones de los metales pesados se realizaron en el laboratorio de calidad ambiental de la UNASAM.

TABLA 2: Límites máximos permisible (LMP) de metales pesados en aguas de consumo humano según la OMS

Elemento	Símbolo	LMP (mg/L)
Arsénico	As	0,010
Cadmio	Cd	0,003
Cromo	Cr	0,050
Cobre	Cu	2,000
Manganeso	Mn	0,500
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,020
Plomo	Pb	0,010
Zinc	Zn	3,000

Fuente: Boletín OMS (Génova, 1993)

## RESULTADOS

Una vez obtenidos los resultados de las determinaciones de las concentraciones de metales pesados, se efectuaron un conjunto de pruebas estadísticas, orientadas hacia la comparación entre ríos, estaciones, puntos de muestreo y momento del muestreo, con respecto a las concentraciones de metales pesados,

con énfasis en la comparación de las concentraciones de metales pesados obtenidas con respecto a los límites máximos permitidos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los siguientes cuadros resumen los valores obtenidos para cada una de las pruebas estadísticas realizadas:

TABLA 3: Resultados de comparación de la concentración de metales pesados con los límites establecidos por la OMS

Metal Pesado	OMS (Límites máximos permitidos)	Río Auqui				Río Paria			
		Media	Desviación Típica	T	P	Media	Desviación Típica	T	P
Arsénico	0.0100	0.0010	0.0000	**	0.000	0.0010	0.0000	- 2558.6 **	0.0000
Cadmio	0.0030	0.0004	0.0000	**	0.000	0.0004	0.0000	**	0.0000
Cobre	2.0000	0.0047	0.0018	- 11353 **	0.000	0.0010	0.0000	- 79748 **	0.0000
Cromo	0.0500	0.0005	0.00005	- 934.28 **	0.000	0.0013	0.0002	- 254.54 **	0.0000
Manganeso	0.5000	0.5690	0.0191	3.60 **	0.0002	0.0595	0.0048	-91.77 **	0.0000
Mercurio	0.0010	0.0009	0.00002	- 3.43**	0.000	0.0009	0.0000	-5.06 **	0.0000
Níquel	0.0200	0.0153	0.0023	- 2.06ns	0.021	0.0004	0.0000	-3110 **	0.0000
Plomo	0.0100	0.0024	0.0004	- 20.7**	0.000	0.0011	0.0001	- 152.29 **	0.0000
Zinc	3.0000	0.2259	0.0072	- 385.83 **	0.000	0.0116	0.0004	- 6741.5 **	0.0000

Fuente: Propia

TABLA 4: Resultados de la comparación de los ríos con respecto a la concentración de metales pesados

Parámetro	Río Auqui		Río Paria		Estadístico T	Probabilidad P
	Media	Desviación Típica	Media	Desviación Típica		
Arsénico	0.0010	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000 ns	0.9999
Cadmio	0.0004	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000 ns	0.9999
Cobre	0.0047	0.0018	0.0010	0.0000	20.87 **	0.0000
Cromo	0.0005	0.00005	0.0013	0.0002	-4.18 **	0.0000
Manganeso	0.5690	0.0191	0.0595	0.0048	25.81 **	0.0000
Mercurio	0.0009	0.00002	0.0009	0.0000	1.17 ns	0.2416
Níquel	0.0153	0.0023	0.0004	0.0000	6.59 **	0.0000
Plomo	0.0024	0.0004	0.0011	0.0001	3.21 **	0.0017
Zinc	0.2259	0.0072	0.0116	0.0004	29.75 **	0.0000

Fuente: Propia

TABLA 5: Resultados de la comparación de las estaciones en cada río con respecto a la concentración de metales pesados

Parámetros	Río Auqui			Río Paria		
	T	P	Estación (valor mayor)	T	P	Estación (valor mayor)
Arsénico	0.00	0.9999	Igual	1.00	0.3942	Igual
Cadmio	ns 0.00	0.9999	Igual	ns 0.00	0.9999	Igual
Cobre	** 3.21	0.0080	1.2	ns 3.22	0.0242	Igual
Cromo	ns 185	0.0261	Igual	ns 4.71	0.0035	1.2
Magnesio	** 6.76	0.0000	1.2	** 18.6	0.0000	1
Mercurio	** 13.0	0.0003	1.2	** 9.78	0.0000	1
Níquel	** 12.4	0.0000	1.2	** 13.0	0.0000	1.2
Plomo	** 30.7	0.0000	1.2	ns 26.4	0.4961	Igual
Zinc	**	0.0000	1.2	**	0.0000	1.2

Fuente: Propia

TABLA 6: Resultados de la comparación de los puntos de muestreo en cada río con respecto a la concentración de metales pesados

Parámetros	Río Auqui			Río Paria		
	T	P	Punto de muestreo (valor mayor)	T	P	Punto de muestreo (valor mayor)
Arsénico	0.00 ns	1.0000	Igual	1.00 ns	0.4091	Igual
Cadmio	0.00 ns	1.0000	Igual	0.00 ns	1.0000	Igual
Cobre	** 43.1	0.0000	1	** 46.6	0.0000	1, 2
Cromo	ns 3.34	0.0391	Igual	** 51.3	0.0000	3
Manganeso	ns 1.30	0.2770	Igual	** 15.1	0.0000	1, 2
Mercurio	ns 0.70	0.4991	Igual	ns 1.07	0.3744	Igual
Níquel	ns 0.81	0.4481	Igual	** 4.10	0.0034	2
Plomo	ns 0.50	0.6068	Igual	** 124	0.0000	1
Zinc	** 8.15	0.0015	1	** 26.2	0.0000	1, 2, 4, 5

Fuente: Propia

TABLA 7: Resultados de la comparación de los momentos de muestreo en cada río con respecto a la concentración de metales pesados

Parámetros	Río Auqui			Río Paria		
	T	P	Momento de muestreo (valor mayor)	T	P	Momento de muestreo (valor mayor)
Arsénico	0.00 ns	1.0000	Igual	1.00 ns	0.3699	Igual
Cadmio	0.00 ns	1.0000	Igual	0.00 ns	1.0000	Igual
Cobre	0.79 ns	0.4558	Igual	0.28 ns	0.7573	Igual
Cromo	1.48 ns	0.2317	Igual	0.25 ns	0.7822	Igual
Manganeso	0.41 ns	0.6658	Igual	0.76 ns	0.4703	Igual
Mercurio	5.49 **	0.0054	3	35.4 **	0.0000	2, 3
Níquel	1.94 ns	0.1483	Igual	3.68 ns	0.0271	Igual
Plomo	0.22 ns	0.8068	Igual	1.31 ns	0.2728	Igual
Zinc	1.19 ns	0.1901	Igual	1.32 ns	0.2696	Igual

Fuente: Propia

## DISCUSIÓN

En virtud de estar trabajando con agua para el consumo humano los contrastes de hipótesis se realizaron tomando en consideración un nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 0,01, lo que se traduce en un nivel de confiabilidad de 0,99; en tal sentido se usa la siguiente nomenclatura, ns: no significativo ( $P > 0,01$ ; se acepta la hipótesis nula) y \*\*: significativo ( $P < 0,01$ ; se rechaza la hipótesis nula). Bajo estas premisas el análisis e interpretación de resultados se presenta a continuación:

**a)** Resultados de comparación de la concentración de metales pesados con los límites establecidos por la OMS (Tabla 3):

Se realizó una prueba estadística de contraste de hipótesis para una muestra, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3, en la cual la hipótesis nula ( $H_0$ ) fue el límite máximo permitido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para cada

una de las concentraciones de metales pesados y la hipótesis alterna ( $H_a$ ) fue que la concentración del metal pesado presente es inferior al límite máximo permitido, salvo en el caso del Manganeso en el Río Auqui que la  $H_a$  fue que la concentración del metal pesado presente es superior al límite máximo permitido.

La respuesta obtenida indica que en el Río Auqui las concentraciones de metales pesados medidas son inferiores a los límites establecidos por la OMS, aunque en el caso del níquel (Ni) se observa un ligero acercamiento al límite permitido, pero aún se mantiene por debajo, exceptuando al manganeso cuya concentración está por encima del límite máximo permitido.

Es oportuno hacer notar, que las altas concentraciones de manganeso presentes en el ser humano pueden afectar grave e irreversiblemente al sistema nervioso

central, conduciendo a patologías, tales como, demencia senil, alzheimer y párkinson.

El ser humano tiene un constante suministro de manganeso a través de la ingesta diaria de alimentos, de donde obtiene las concentraciones requeridas para suplir sus exigencias metabólicas.

Con respecto al Río Paria podemos decir que existen evidencias que conducen a pensar que las concentraciones de metales pesados obtenidas son inferiores a los límites máximos permitidos, lo que indica que no hay problemas con las concentraciones de metales pesados y que el agua es apta para el consumo humano.

**b)** Resultados de la comparación de los ríos con respecto a la concentración de metales pesados, determinaciones "in situ" y de laboratorio (Tabla 4):

A objeto de comparar los Ríos Auqui y Paria con respecto a los niveles de concentración de metales pesados, se procedió a aplicar una prueba de hipótesis para dos muestras independientes, obteniéndose los resultados que se presentan en el Tabla 50 (Trabajo completo), siendo la hipótesis nula ( $H_0$ ) que las concentraciones medidas son iguales y la hipótesis alterna ( $H_a$ ) que las concentraciones son diferentes para los dos ríos en estudio.

En la Tabla 40 (Trabajo completo), se puede observar que en cuanto a As, Cd y Hg no existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos ríos, mientras que con respecto a los otros metales pesados evaluados existen diferencias altamente significativas, siendo que en el Río Auqui se presentan mayores concentraciones

de Cu, Mn, Ni, Pb y Zn, y en el Río Paria se evidencian mayor concentración de Cr, aunque la misma es menor que el límite máximo permitido.

**c)** Resultados de la comparación de las estaciones en cada río con respecto a la concentración de metales pesados, determinaciones "in situ" y de laboratorio (Tabla 5):

Al revisar el comportamiento de las concentraciones de metales pesados en cada una de las estaciones evaluadas, se procedió a ejecutar una prueba de hipótesis para dos o más muestras independientes, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 5, en esta prueba la hipótesis nula ( $H_0$ ) es que las concentraciones medidas en cada una de las estaciones son iguales y la hipótesis alterna ( $H_a$ ) es que al menos dos son diferentes.

En el Río Auqui se observa que las concentraciones de As, Cd y Cr son iguales en todas las estaciones, mientras que las concentraciones de Cu, Mn, Hg, Ni, Pb y Zn son diferentes en cada una de las estaciones, siendo las estaciones de invierno y primavera donde se presentan las mayores concentraciones.

En el Río Paria se evidencia que las estaciones presentan iguales concentraciones de As, Cd, Cu y Pb, y diferentes concentraciones de Cr, Mn, Hg, Ni y Zn, siendo las estaciones con mayores concentraciones invierno y primavera.

Lo antes expuesto refleja que las concentraciones de Mn, Hg, Ni y Zn, son mayores en las estaciones de invierno y primavera, tanto en el Río Auqui como en el Río Paria, esto puede ser debido a que

en la estación de verano, las continuas precipitaciones hacen que se disuelvan estos componentes, disminuyendo así sus concentraciones.

**d)** Resultados de la comparación de los puntos de muestreos en cada río con respecto a la concentración de metales pesados, determinaciones "in situ" y laboratorio (Tabla 6):

En cuanto al comportamiento de las concentraciones de metales pesados en cada uno de los puntos de muestreo, se realizó una prueba de hipótesis para dos o más muestras independientes, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 6, en esta prueba la hipótesis nula ( $H_0$ ) es que las concentraciones medidas en cada uno de los puntos de muestreo son iguales y la hipótesis alterna ( $H_a$ ) es que al menos dos son diferentes.

En el río Auqui se evidencia uniformidad de los puntos de muestreo con respecto a las concentraciones de metales pesados, exceptuando Cu y Zn, en los cuales se aprecia mayores niveles de concentración de estos metales en el punto ubicado a 1000 m aguas arriba del punto de captación.

En lo referente al Río Paria, los resultados indican homogeneidad en cuanto a As, Cd y Hg, mientras que para Cu, Cr, Mn, Ni, Pb y Zn, hay heterogeneidad en las concentraciones observadas para cada uno de los puntos muestreados, siendo los puntos ubicados aguas arriba del punto de captación, los que presentan mayores concentraciones de metales pesados.

Esto pareciera indicar que cuanto más lejos del punto de captación este el sitio de muestreo, es decir, cuanto más cercano a

la naciente del río este el sitio de muestreo, mayores son las concentraciones de metales pesados.

**e)** Resultados de la comparación de los momentos de muestreo en cada río con respecto a la concentración de metales pesados, determinaciones "in situ" y laboratorio (Tabla 7):

En lo que respecta a los momentos de muestreo, al inicio, intermedio y final de cada una de las estaciones evaluadas, se efectuó una prueba de hipótesis para dos o más muestras independientes, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 7, en esta prueba la hipótesis nula ( $H_0$ ) es que las concentraciones medidas en cada uno de los momentos son iguales y la hipótesis alterna ( $H_a$ ) es que al menos dos son diferentes.

En ambos ríos se evidencia un comportamiento similar, esto es, que en cuanto a la mayoría de las concentraciones de metales pesados en estudio, los momentos de muestreo no tienen diferencias estadísticamente significativas, excepto en el caso del Hg que si presenta diferencias altamente significativas, siendo el momento final el de mayor concentración en el río Auqui, y los momentos intermedio y final los de superior concentración en el Río Paria.

Estos resultados conducen a pensar que la concentración de los metales pesados mantiene su comportamiento a lo largo de toda la estación, es decir, que el muestreo puede hacerse en cualquier momento.

## CONCLUSIONES

Se demuestra que en las aguas del Río Paria las concentraciones de metales pesados

son inferiores a los límites máximos permisibles establecidos por la OMS, lo cual, la hace apta para el consumo humano.

En tanto en el Río Auqui se evidencia concentraciones de manganeso superiores a los límites máximos permisibles establecidos por la OMS, lo que indica que su consumo es nocivo para la salud.

Es necesario desarrollar una evaluación exhaustiva en el recorrido del río Auqui, para profundizar en la evaluación de manganeso, ya que la presencia de altas concentraciones de este metal en el ser humano tiende a causar alteraciones en el sistema nervioso central.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Batley, G. T. y Gardiner, D. (1977). Sampling and storage of natural water for trace metal analysis. *Water Res.* 11, 745-756.

Blanco, A. (1998). Estudio de los niveles de Pb, Cd, Zn y As en las aguas de la provincia de Salamanca. Salamanca.

Comité Estatal de Normalización. (1996) «Agua potable, requisitos sanitarios y muestra». N C-93-02/85.Cuba.

Jarvis, K. E. Gray, A. L y Houk, R. S (1992). Handbook of inductively coupled plasma mass spectrometry. Blackie, glas gow and London. New York, 380.

Kennedy V.C., Zellweger G.W. y Blair F. J. (1974). Filter pore size effects on the analysis of Al, Fe, Mn, Ti in water. *Water research* 10, 785-790.

Organización Mundial de la Salud-OMS. (1993). Boletín informativo. Génova.

Sotero Solís, V., & Alva Astudillo, M. (2013). Contenido de metales pesados en agua y sedimento en el bajo Nanay. Universidad Científica del Perú.

Tebbut, T. H. (1999). Fundamentos de control de la calidad del agua. Limusa Noriega editores. México, 239.

Taylor. (1989). Zinc In: Guidelines for Surface Water Quality». Vol. 1 Inorganic Chemical Substances, Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa, 92-99.

Vega, S. y Reynaga, J. (1990). Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales. Ed. Noriega Limusa. México, 727.

#### **CORRESPONDENCIA**

Barba Regalado, Alejandro  
alejonap11@gmail.com