

Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera

¹Honorato Hernán Flores Lozano y ²David Lara Ascorbe

¹Ing. de Minas. E-mail: h_flores2004@yahoo.com

²Profesor Principal, adscrito al Departamento Académico de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú. E-mail:

Resumen: La investigación se desarrolló en la subcuenca del río Grande, distrito y provincia de Cajamarca, Perú, entre diciembre del 2004 y noviembre del 2005. Zona con actividad minera desde 1992. El rango altitudinal osciló entre 2820 y 3500 msnm. El río Grande es la principal fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Cajamarca. Los objetivos fueron: cuantificar la presencia de metales pesados en las aguas del río Grande y; determinar si su concentración supera los estándares nacionales de calidad ambiental para agua. Se evaluó ocho metales pesados en ocho puntos predeterminados en el cauce del río Grande y algunos de sus tributarios. Las evaluaciones se hicieron cada 30 días, tanto en la estación seca como en la estación lluviosa. Si bien en todos los puntos de monitoreo se detectaron metales pesados, no se puede precisar que sea debido a la actividad minera, debido a la carencia de data previa a esta actividad. El plomo fue el único metal que en cinco puntos de monitoreo sobrepasó los Estándares de Calidad Ambiental para agua, siendo su máxima concentración en el punto RGR ($0,246 \text{ mg L}^{-1}$), donde superó en 392% al ECA. Asimismo, el manganeso excedió en la estación lluviosa en el punto RG2 ($0,591 \text{ mg L}^{-1}$) con 18% y en el punto QE3 ($0,533 \text{ mg L}^{-1}$) en la estación seca con 6.6%.

Palabras clave: metal pesado, agua, contaminación, estándar de calidad ambiental.

Abstract: The research was carried out in the Rio Grande sub basin, district and province of Cajamarca, Peru, between December 2004 and November 2005. Zone with mining activity since 1992. The altitudinal range oscillated between 2820 and 3500 masl. The river Grande is the main source of drinking water in the city of Cajamarca. The objectives were: to quantify the presence of heavy metals in the waters of the river Grande and; Determine whether their concentration exceeds national environmental quality standards for water. Eight heavy metals were evaluated at eight predetermined points in the river Grande channel and some of its tributaries. Evaluations were done every 30 days, both in the dry season and in the rainy season. Although heavy metals were detected at all points of monitoring, it can not be specified that it is due to mining activity, due to the lack of data prior to this activity. Lead was the only metal that at five monitoring points exceeded the Environmental Quality Standards for water, with its maximum concentration at the RGR point (0.246 mg L^{-1}), where it exceeded the ECA by 392%. Manganese exceeded the RG2 (0.591 mg L^{-1}) in the rainy season with 18% and in QE3 (0.533 mg L^{-1}) in the dry season with 6.6%.

Passwords: Heavy metal, water, contamination, environment standards.

INTRODUCCIÓN

A inicios de 1990, el Perú se convierte en un gran atractivo para las inversiones mineras dando origen a la vez a una serie de conflictos ambientales, centrados principalmente en la lucha por el agua. Con el auge de la mega minería en Cajamarca, es muy notoria la afectación de los diversos recursos naturales, siendo el agua el que ocasiona la mayor preocupación y conflictividad. A raíz de la minería en cabecera de cuenca, la concentración de metales pesados se ha incrementado en diversos ríos, cuyas aguas tienen influencia con esta actividad, tal como lo manifiesta SEDACAJ que en 1998 detectó la presencia de metales pesados en concentraciones muy superiores a las permitidas por ley: Cianuro 8 ppm (40 veces sobre los niveles normales); Cromo VI 375 ppm (7500 veces); Hierro 5900 ppm (17700 veces); y Manganeseo 1750 ppm (3500 veces) (Arana 2015).

Los yacimientos La Quinua, San José y Maqui Maqui, se ubican en la cabecera de cuenca del río Grande, principal afluente de la planta de tratamiento de agua "El Milagro" que abastece a la ciudad de Cajamarca, habiéndose generado conflictos entre la empresa minera y la población cajamarquina debido a que la concentración de varios metales pesados en varias ocasiones han superado los estándares de calidad ambiental.

De acuerdo a lo antedicho se planteó la siguiente interrogante ¿Qué relación existe entre la actividad minera y las variaciones en la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande?, generándose la siguiente **hipótesis**: La concentración de metales pesados en el río Grande y sus afluentes tiene relación con la actividad minera, cuyo **objetivo general fue**: Determinar la presencia de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera. Los **objetivos específicos** fueron: 1). Cuantificar la

presencia de metales pesados en las aguas del río Grande; y 2). Determinar si su concentración superan los estándares nacionales de calidad ambiental para agua para consumo humano.

Se monitorearon ocho metales pesados en el cauce del río Grande y algunos de sus tributarios. El muestreo de aguas fue cada 30 días, tanto en estación lluviosa como en seca, de acuerdo al protocolo de monitoreo de calidad de agua establecido en el Reglamento de Protección Ambiental para las actividades mineras (D.S. N° 059-93-EM). El análisis químico fue realizado en espectrofotómetro de absorción atómica por el laboratorio Envirolab Perú.

Materiales y métodos

Ubicación de la investigación. La zona de estudio se ubica en la parte alta de la cuenca del río Mashcón, conformada por las subcuencas de los ríos Grande y Porcón. La subcuenca del río Grande, está conformada por dos ríos y 25 quebradas. El río Grande se origina desde la confluencia de las quebradas Callejón y Encajón hasta su unión con el río Porcón. A lo largo de su recorrido recibe el aporte del río Purhuay, de las quebradas Quishuar Corral, Vizcachayoc, Las Torres, La Rata, Hualtipampa y la Patucha.

Las aguas analizadas fueron provenientes del río Grande y de sus tributarios (quebrada Corral Blanco-Coremayo, quebrada Encajón, quebrada Quishuar Corral, quebrada Vizcachayoc y de un punto ubicado antes de la bocatoma de la captación para la planta de tratamiento de aguas "El Milagro" (tabla 1).

Tabla 1. Puntos de monitoreo de aguas

Punto	Código	Ubicación	Coordenadas UTM	msnm
1	QCB	Quebrada Corral Blanco-Coremayo	779791E 9224083N	3430
2	RG2	Río Grande, después de la unión con la quebrada Corral Blanco-Coremayo	771359E 9224053N	3450
3	QE3	Quebrada Encajón	772708E 9224125N	3500
4	QCC	Quebrada Quishuar Corral	773041E 9222666N	3400
5	RGPM3	Río Grande, después de la unión de las quebradas Encajón, Quishuar Corral	772166E 9222041N	3380
6	QV2	Quebrada Vizcachayoc.	772214E 9221645N	3300
7	RGDS	Río Grande, después de la unión con la quebrada Vizcachayoc	772333E 9221125N	3000
8	RGR	Antes de la bocatoma de la captación de aguas para la planta de tratamiento "El Milagro"	772308E 9213470N	2820

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La toma de muestras se hizo entre diciembre del 2004 y noviembre del 2005, siguiendo el protocolo de Monitoreo de calidad de aguas, establecido por el D.S. N° 059-93-EM. Se tomaron muestras cada treinta días, tanto en la estación seca (mayo-noviembre) como en la estación lluviosa (diciembre - abril). La determinación de los metales pesados se hizo utilizando el Espectrofotómetro de absorción atómica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Concentración promedio de metales pesados de todo el ámbito de evaluación

Las aguas del río Grande y sus tributarios contienen metales pesados en diferentes concentraciones, existiendo cierta variación entre la estación seca y la lluviosa. Su presencia puede deberse a fuentes externas y a las interacciones del agua con los sedimentos y la atmósfera con la que está en contacto, produciéndose fluctuaciones en las concentraciones en el agua, como resultado de las fuerzas hidrodinámicas naturales, biológicas y químicas (Rainbow citado por Márquez *et al.* 2000).

La cabecera de la subcuenca del río Grande, tiene impacto de la actividad minera desde 1992, hecho que podría ser la causante de la

presencia de metales pesados en estas aguas, aunque comprobarlo es poco probable ante la inexistencia de estudios sobre la presencia de metales pesados en las aguas del río Grande previos a la actividad minera. Sin embargo, la presente investigación puede ser referente para estudios posteriores, en los cuales se pueda verificar si estas concentraciones han variado con el tiempo.

Tabla 2. Concentración promedio de metales pesados por estación climática en las aguas del río Grande y sus tributarios.

N°		METALES PESADOS (mg L ⁻¹)															
		ALUMINIO		ARSÉNICO		HIERRO		CADMIO		MERCURIO		PLOMO		ZINC		MANGANESO	
		DISUELTO	TOTAL	DISUELTO	TOTAL	DISUELTO	TOTAL	DISUELTO	TOTAL	DISUELTO	TOTAL	DISUELTO	TOTAL	DISUELTO	TOTAL	DISUELTO	TOTAL
1	QCB8	SECA															
	HÚMEDA	0.043	0.412	0.010	0.010	0.148	0.702	0.001	0.0003	0.0003		0.010	0.028	0.052		0.164	0.158
2	RG2	SECA															
	HÚMEDA	0.043	1.143	0.010	0.010	0.057	0.451	0.001	0.0003	0.0004		0.010	0.052	0.052		0.416	0.239
3	QE3	SECA															
	HÚMEDA	0.048	0.850	0.010	0.018	0.058	0.692	0.001	0.0003	0.0003		0.016	0.041	0.047		0.649	0.591
4	QOC	SECA															
	HÚMEDA	2.807	1.384	0.010	0.010	0.147	0.342	0.009	0.002	0.0003	0.0004	0.010	0.512	0.159		1.830	0.533
5	RGPM3	SECA															
	HÚMEDA	2.868	2.236	0.010	0.010	0.673	0.677	0.011	0.003	0.0004	0.0003	0.010	0.518	0.347		1.539	0.455
6	QVZ2	SECA															
	HÚMEDA	0.042	0.459	0.010	0.010	0.024	0.307	0.001	0.0003	0.0004		0.010	0.030	0.013		0.038	0.037
7	RGDS	SECA															
	HÚMEDA	0.082	0.542	0.010	0.010	0.073	0.442	0.001	0.0003	0.0003		0.067	0.025	0.019		0.036	0.059
8	RGR	SECA															
	HÚMEDA	0.042	0.821	0.010	0.010	0.089	0.746	0.001	0.0003	0.0004		0.010	0.107	0.045		0.492	0.225
Promedios generales		SECA															
	HÚMEDA	0.213	1.025	0.010	0.012	0.177	0.868	0.009	0.001	0.0004	0.0003	0.090	0.098	0.079		0.364	0.220
Promedios generales		SECA															
	HÚMEDA	0.044	0.596	0.010	0.014	0.288	0.936	0.001	0.0003	0.0004		0.022	0.021	0.014		0.057	0.102
Promedios generales		SECA															
	HÚMEDA	0.057	1.024	0.010	0.014	0.120	1.132	0.001	0.0004	0.0004		0.100	0.026	0.014		0.045	0.084
Promedios generales		SECA															
	HÚMEDA	0.691		0.010	0.010	0.021	0.611	0.001	0.0003	0.0004		0.010	0.072	0.042		0.418	0.271
Promedios generales		SECA															
	HÚMEDA	0.072	0.491	0.010	0.010	0.165	0.400	0.009	0.001	0.0003	0.0003	0.135	0.118	0.083		0.402	0.254
Promedios generales		SECA															
	HÚMEDA	0.042	0.705	0.010	0.010	0.021	0.586	0.001	0.0003	0.0004		0.010	0.027	0.026		0.214	0.138
Promedios generales		SECA															
	HÚMEDA	0.193	1.800	0.010	0.012	0.083	1.329	0.001	0.0003	0.0003		0.246	0.072	0.051		0.263	0.199
Promedios generales		SECA															
	HÚMEDA	0.503	0.851	0.010	0.011	0.104	0.561	0.009	0.001	0.0003	0.0004	0.012	0.125	0.051		0.508	0.212
Promedios generales		SECA															
	HÚMEDA	0.447	1.048	0.010	0.012	0.187	0.780	0.010	0.001	0.0003	0.0003	0.084	0.116	0.086		0.433	0.253

El aluminio presentó la mayor concentración tanto en la estación seca (0,851 mg L⁻¹) como en la húmeda (1,048 mg L⁻¹) seguido de cerca por el hierro (0,561 mg L⁻¹ en seca y 0,780 mg L⁻¹ en húmeda) y el manganeso (0,212 mg L⁻¹ en seca y 0,253 mg L⁻¹ en húmeda). Los de menor concentración fueron el mercurio (0,0004 mg L⁻¹ en seca y 0,0003 mg L⁻¹ en húmeda) y el cadmio (0,001 mg L⁻¹ tanto en la seca como en húmeda).

2. Concentración promedio de metales pesados disueltos y totales por estación climática

El punto RGR, fue el último punto de evaluación del recorrido del río Grande aguas abajo. Todas las aguas monitoreadas confluyen hacia este punto. En tal sentido, es el punto más importante desde el punto de vista ambiental, considerando que es el ingreso de las aguas a la planta “El Milagro” que abastece a cerca del 70% de la población urbana de Cajamarca. La toxicidad de los metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma

iónica puede absorberse más fácilmente que en forma elemental, y si ésta se halla reducida finamente aumentan las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos (Ramos y Salas 2015).

Estación seca.

- a. **Concentración de metales pesados disueltos.** El Mn presentó la mayor concentración (0,508 mg L⁻¹); seguido del Al (0,503 mg L⁻¹); el Zn (0,125 mg L⁻¹) y el Fe (0,104 mg L⁻¹). Los de menor concentración fueron: el Hg (0,0003 mg L⁻¹), el Cd (0,009 mg L⁻¹), y el As (0,10 mg L⁻¹).

- b. Concentración metales pesados totales.** El Al presentó la mayor concentración ($0,851 \text{ mg L}^{-1}$), seguido por el Fe ($0,561 \text{ mg L}^{-1}$); el Mn ($0,212 \text{ mg L}^{-1}$) y el Zn ($0,051 \text{ mg L}^{-1}$). Los de menor concentración total fueron: el Hg ($0,0004 \text{ mg L}^{-1}$), el Cd ($0,001 \text{ mg L}^{-1}$), el As ($0,011 \text{ mg L}^{-1}$), y el Pb ($0,012 \text{ mg L}^{-1}$).

Estación húmeda

- a. Concentración de metales pesados disueltos.** La mayor concentración fue del Al ($0,447 \text{ mg L}^{-1}$), seguido por el Mn ($0,433 \text{ mg L}^{-1}$), en tercer lugar el Fe ($0,187 \text{ mg L}^{-1}$) y en cuarto lugar el Zn ($0,116 \text{ mg L}^{-1}$). Los de menor concentración fueron: el Hg ($0,0003 \text{ mg L}^{-1}$), y en segundo lugar el Cd y el As ambos con $0,10 \text{ mg L}^{-1}$.

- b. Concentración de metales pesados totales.** La mayor concentración la obtuvo el Al ($1,048 \text{ mg L}^{-1}$), seguido por el Fe ($0,780 \text{ mg L}^{-1}$), en tercer lugar el Mn ($0,253 \text{ mg L}^{-1}$) y en cuarto lugar el Zn ($0,086 \text{ mg L}^{-1}$). Los de menor concentración fueron: el Hg ($0,0003 \text{ mg L}^{-1}$), el Cd ($0,001 \text{ mg L}^{-1}$), y el As ($0,012 \text{ mg L}^{-1}$).

La concentración de los metales variaron entre meses y entre estaciones, lo que podría entenderse que las fuentes aportantes son diversas. Estudios realizados por Salazar (2008) y Plasencia (2010), demuestran que las concentraciones de metales pesados son muy variables entre meses y entre estaciones climáticas.

Según Erlinch citado por Vilchez (2005), en los ecosistemas existe un aporte natural de iones metálicos que es asimilable por el medio, y muchos de estos elementos son necesarios para el

desarrollo de los seres vivos, pero a niveles traza en el medio. Sin embargo, este equilibrio ha sido afectado por el hombre, entre las que destacan las operaciones mineras y de fundición, los vertidos de aguas residuales urbanas, los vertidos industriales, los desechos de la manipulación de metales y el uso de fertilizantes y pesticidas (Vilchez 2005).

3. Concentración de metales pesados disueltos por punto de monitoreo.

a. Estación seca.

Aluminio (Al). El punto QE3, presentó la mayor concentración ($2,807 \text{ mg L}^{-1}$), seguido por el punto QVZ2 ($0,044 \text{ mg L}^{-1}$), y en tercer lugar el punto RG2, ($0,043 \text{ mg L}^{-1}$). Mientras que los puntos con las menores concentraciones fueron el RGR; el RGPM3 y el punto QQC, todos con $0,042 \text{ mg L}^{-1}$.

Comparando con los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) actuales (2015) para agua, en ningún caso los excede. Sin embargo, es necesario aclarar que, hasta diciembre de 2015, el estándar para aluminio era de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$, el mismo que con la nueva norma se incrementó en 2400%.

Arsénico (As). En todos los puntos, la concentración fue constante, alcanzando $0,01 \text{ mg L}^{-1}$. Los valores no excedieron a los actuales ECA, ni a los estándares anteriores (2008), a pesar que el incremento fue de 200%.

Hierro (Fe). La mayor concentración se presentó en el punto QVZ2, ($0,288 \text{ mg L}^{-1}$). Seguido del punto QE3 ($0,147 \text{ mg L}^{-1}$). El punto RGPM3 ocupó el tercer lugar ($0,089 \text{ mg L}^{-1}$). El cuarto se ubicó en el punto RG2, ($0,057 \text{ mg L}^{-1}$).

Los valores no excedieron los ECA actuales ni anteriores, cuyo valor pasó de 1 a 5 mg L⁻¹.

Zinc (Zn). El punto QE3 presentó la mayor concentración, (0,512 mg L⁻¹), seguido del punto RGPM3, (0,107 mg L⁻¹). En tercer lugar el punto RGDS (0,072 mg L⁻¹). El resto de puntos presentaron concentraciones entre 0,052 y 0,021 mg L⁻¹. Todos los puntos, estuvieron muy por debajo de los actuales estándares.

Manganeso (Mn). El punto QE3 presentó la mayor concentración (1,830 mg L⁻¹), seguido del punto RGPM3 (0,492 mg L⁻¹). En tercer y cuarto lugar el RGDS y RG2, (0,418 y 0,416 mg L⁻¹) respectivamente. El punto RGR alcanzó una concentración de 0,214 mg L⁻¹. En el resto de puntos variaron entre 0,057 y 0,038 mg L⁻¹. Ni la norma actual ni la anterior considera valor alguno para el Mn para la clase A3 de agua potable. Los únicos valores que posee la norma son para la clase A2 y A1.

b. Estación húmeda.

Aluminio. El punto QE3 alcanzó la máxima concentración (2,868 mg L⁻¹), seguido por el punto RGPM3 (0,213 mg L⁻¹), en tercer lugar, el punto RGR (0,193 mg L⁻¹). El resto de puntos presentaron concentraciones que variaron entre 0,082 y 0,043 mg L⁻¹. Ningún punto de monitoreo excedió a los actuales ECA, pero si excedió en 1334% a los ECA del 2008.

Arsénico. Mantuvo concentraciones constantes, cuyo valor promedio alcanzó 0,01 mg L⁻¹. Este comportamiento hace suponer que la fuente principal de este metal, es continua pudiendo encontrarse en los sedimentos o en la atmosfera y que al interaccionar con el agua manifiesta su presencia (Rainbow citado por Márquez *et al.* 2000). Los valores obtenidos

estuvieron muy por debajo de los ECA actuales

Hierro. La mayor concentración se obtuvo en el punto QE3 (0,673 mg L⁻¹), seguido por el punto RGPM3 (0,177 mg L⁻¹). Los puntos RGDS y QCBB manifestaron una concentración de 0,165 y 0,148 mg L⁻¹, respectivamente. La quinta mayor concentración se ubicó en el punto QVZ2 (0,120 mg L⁻¹). El resto de puntos presentaron concentración entre 0,083 y 0,058 mg L⁻¹. Los ECA para agua del 2015, establecen una concentración máxima de Fe de 5,0 mg L⁻¹.

Zinc. Las mayores concentraciones se presentaron en el punto QE3 (0,518 mg L⁻¹). En segundo lugar estuvo el punto RGDS (0,118 mg L⁻¹). Los puntos RGPM3 y RGR presentaron concentraciones de 0,098 y 0,072 mg L⁻¹, respectivamente; mientras que el resto de puntos presentaron concentraciones entre 0,041 y 0,025 mg L⁻¹. El ECA actual para el zinc es de 5.0 mg L⁻¹.

Manganeso. La mayor concentración se obtuvo en el punto QE3 (1,539 mg L⁻¹), seguido del punto RG2 (0,649 mg L⁻¹), y en tercer lugar el punto RGDS (0,402 mg L⁻¹). Los puntos de monitoreo RGPM3, RGR y QCBB presentaron concentración de 0,364, 0,263 y 0,164 mg L⁻¹, respectivamente; mientras que los puntos QVZ2 y QQC presentaron concentraciones de 0,045 y 0,036 mg L⁻¹, respectivamente.

Considerando que la actual norma no contiene estándares para la clase A3 de agua potable, no se puede comparar. Sin embargo, comparando con los estándares para la clase A2, cuyo valor es 0,5 mg L⁻¹, encontramos que tanto en el punto QE3 y RG2 exceden a este estándar.

4. Concentración de metales pesados totales por punto de monitoreo

a. Estación seca.

Aluminio. La mayor concentración se obtuvo en el punto QE3 ($1,384 \text{ mg L}^{-1}$), seguido del punto RG2 ($1,143 \text{ mg L}^{-1}$), el RGPM3 ($0,821 \text{ mg L}^{-1}$) y el RGR ($0,705 \text{ mg L}^{-1}$). Los puntos con la menor concentración fueron: QQC ($0,459 \text{ mg L}^{-1}$), seguido por el punto QVZ2 ($0,596 \text{ mg L}^{-1}$) y el RGDS ($0,691 \text{ mg L}^{-1}$). Ningún punto excedió los ECA actuales, pero si todos fueron largamente superiores a los ECA del 2008 ($0,2 \text{ mg L}^{-1}$).

Arsénico. Únicamente el punto QVZ2, presentó una concentración mayor al resto de puntos de monitoreo, alcanzando un valor de $0,014 \text{ mg L}^{-1}$; el resto de puntos presentaron valores promedios constantes, cuyo valor fue de $0,010 \text{ mg L}^{-1}$. Ningún punto de monitoreo excedió a los ECA actuales ni a los del 2008.

Hierro. La mayor concentración fue de $0,936 \text{ mg L}^{-1}$ en el punto QVZ2. En segundo lugar estuvo en el punto RGPM3 ($0,746 \text{ mg L}^{-1}$). El punto RGDS arrojó un valor promedio de $0,611 \text{ mg L}^{-1}$ y el punto RGR un valor de $0,586 \text{ mg L}^{-1}$. Fueron los puntos RG2, QE3 y QQC los que presentaron las menores concentraciones, con valores de $0,45$, $0,342$ y $0,307 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. El ECA actual para el Fe es de 5.0 mg L^{-1} , 400% superior al estándar del 2008.

Zinc. El punto QE3 presentó la mayor concentración ($0,159 \text{ mg L}^{-1}$), seguido por el punto RG2 ($0,052 \text{ mg L}^{-1}$) y el punto RGPM3 ($0,045 \text{ mg L}^{-1}$). El resto de puntos presentaron concentraciones entre $0,042$ y $0,013 \text{ mg L}^{-1}$. Ningún punto excedió la normatividad nacional vigente.

Manganeso. El punto QE3 alcanzó la

máxima concentración ($0,533 \text{ mg L}^{-1}$), seguido por los puntos RGDS ($0,271 \text{ mg L}^{-1}$), el punto RG2 ($0,239 \text{ mg L}^{-1}$). Los puntos RGPM3 y RGR manifestaron una concentración de $0,225$ y $0,138 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Mientras que los puntos QVZ2 y QQC alcanzaron las menores concentraciones, cuyos valores fueron de $0,102$ y $0,037 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

La norma actual no establece valor para aguas de clase A3, pero comparando con los valores de la clase A2, cuyo valor es $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, únicamente el punto QE3 ($0,533 \text{ mg L}^{-1}$) supera ligeramente a la norma actual.

b. Estación húmeda

Aluminio. El punto QE3 alcanzó la mayor concentración ($2,236 \text{ mg L}^{-1}$), seguido del punto RGR con $1,80$ y el punto RGPM3 con $1,025 \text{ mg L}^{-1}$. El punto QVZ2 alcanzó $1,024 \text{ mg L}^{-1}$. El resto de puntos presentaron concentraciones que variaron entre $0,850$ y $0,412 \text{ mg L}^{-1}$.

Arsénico. El punto RG2 alcanzó la mayor concentración ($0,018 \text{ mg L}^{-1}$), seguido del punto QVZ2 con $0,014 \text{ mg L}^{-1}$. Los puntos RGPM3 y RGR presentaron una concentración de $0,012 \text{ mg L}^{-1}$. El resto de puntos mantuvieron una concentración constante de $0,010 \text{ mg L}^{-1}$.

Hierro. La mayor concentración se obtuvo en el punto RGR ($1,329 \text{ mg L}^{-1}$), en segundo lugar el punto QVZ2 ($1,132 \text{ mg L}^{-1}$). El punto RGPM3, $0,868$; el punto QCBB, $0,702$; el punto RG2, $0,692 \text{ mg L}^{-1}$. El resto de puntos arrojaron valores entre $0,677$ y $0,400 \text{ mg L}^{-1}$.

Cadmio. Únicamente el punto QE3 presentó una mayor concentración ($0,003 \text{ mg L}^{-1}$). En el resto de puntos la concentración fue constante ($0,001 \text{ mg L}^{-1}$).

Plomo. La mayor concentración se obtuvo en el punto RGR ($0,246 \text{ mg L}^{-1}$), seguido del punto RGDS ($0,135 \text{ mg L}^{-1}$), y el punto QVZ2 ($0,100 \text{ mg L}^{-1}$). Las concentraciones del resto de puntos oscilaron entre $0,090$ y $0,010 \text{ mg L}^{-1}$. En cinco puntos sobrepasó los ECA, siendo el punto RGR el que alcanzó el máximo valor, superando al ECA en 392%. El segundo punto con un valor superior al estándar fue el RGDS con 170%. El tercer punto fue el QVZ2 con 100%. El cuarto punto el RGPM3 con 80% y el quinto, el QQC con 34% superior

Zinc. Únicamente el punto QE3 alcanzó valores promedio de $0,347 \text{ mg L}^{-1}$. El resto de puntos mantuvieron concentraciones que variaron entre $0,083$ y $0,014 \text{ mg L}^{-1}$.

Manganeso. El punto QVZ2 y QQC presentaron concentraciones de $0,084$ y $0,059 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. El punto RG2 manifestó la mayor concentración con $0,591 \text{ mg L}^{-1}$, seguido del punto QE3 con $0,455 \text{ mg L}^{-1}$, el punto RGDS con $0,254 \text{ mg L}^{-1}$, el RGPM3 con $0,220 \text{ mg L}^{-1}$. Las menores concentraciones se presentaron en los puntos RGR y QCBB con valores promedio de $0,199$ y $0,158 \text{ mg L}^{-1}$.

Ante la inexistencia de ECA de Mn para aguas de clase A3, se optó por comparar con los ECA de las aguas de clase A2 ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$). De acuerdo a ello, fue el punto RG2 el que superó en 18,2% al estándar nacional. El resto de puntos, se mantuvieron por debajo del estándar nacional.

5. Evolución mensual de los metales pesados

La concentración de la mayoría de metales pesados, variaron de un mes a otro; sin embargo, no se pudo encontrar mucha variación entre estaciones climáticas.

Es probable que los metales se encuentren en contacto permanente con las aguas del río Grande y sus tributarios, pero a la vez pueden existir fuentes externas que ingresen a estas aguas, es por ello la oscilación de su concentración, siendo más resaltante en los casos donde entre una evaluación y otra varía enormemente; mucho más teniendo en cuenta que toda la subcuenca del río Grande se ubica en contacto directo con la empresa minera Yanacocha, la cual según Acosta (2013) genera una gran cantidad de aguas ácidas, cuyos contenidos de metales en el pre tratamiento son altos tales como: Al entre 120 y 170 mg L^{-1} , Fe entre 150 y 250 mg L^{-1} , Mn entre 20 y 40 mg L^{-1} , y que luego del tratamiento final estos valores pueden descender hasta: Al entre 5 y 10 mg L^{-1} ; Fe entre 2 y 5 mg L^{-1} y Mn entre 1 y 5 mg L^{-1} , con un pH entre 2 a 4.

Por su parte Romero *et al.* (2010), manifiesta que las concentraciones de los metales pesados en partículas suspendidas medidas muestran grandes cambios en cortos períodos de tiempo, debido a que cada medición de las concentraciones en el agua equivale a una “fotografía” de la situación, la cual puede ser falseada por emisiones limitadas en el tiempo o lugar.

Las variaciones mensuales puede deberse a factores como: la concentración y distribución en la fuente de origen, el volumen de agua, el pH del agua, la presencia de fuentes externas, la precipitación, el flujo de las aguas, la remoción de suelos, la contaminación del aire, entre otros factores, los cuales de forma grupal o independiente contribuyen a la fluctuación de la concentración de cada metal. En tal sentido, los datos obtenidos no son más que el valor o dato de ese momento a lo que Romero *et al.* (2010) denominan la fotografía de la situación. Esto nos conduce a la disyuntiva que monitoreos en períodos muy prolongados no son muy realistas y por ende poco fiables.

6. Relación de los metales pesados con la actividad minera.

La actividad minera en Cajamarca data desde la colonia (Taylor 1994), sin embargo no es hasta 1992, con la nueva legislación minera, que se vira a la mega minería actual, la cual hasta ese momento era inimaginable no sólo para la región sino para el país.

El enorme auge minero generado a inicios de la década del 90, encontró al Perú con una legislación ambiental inexistente o poco acorde, es por ello que las empresas mineras, encontraron muchas facilidades y ventajas para desarrollarse libremente.

Estas falencias legislativas han provocado serios conflictos entre la sociedad y las empresas mineras, pues al no existir una legislación ambiental acorde, las empresas han provocado diversos problemas de contaminación, afectando la salud y la tranquilidad de la población, así como la afectación de los principales recursos naturales como son: el agua, el suelo, la flora y la fauna; de los cuales, el agua, ha representado el recurso natural que más conflictos ha generado.

La primera manifestación del conflicto entre empresas mineras y campesinos se relaciona al proceso de compra de tierras. La segunda, tiene su origen en los impactos sobre la calidad y cantidad de aguas, que además de la zona rural involucra a los usuarios del agua potable de la ciudad de Cajamarca (Arana 2002).

Si bien los resultados de esta investigación no tienen muchos antecedentes de comparación previa, constituirá una gran referencia para monitoreos futuros, pues al no contar con línea base con relación a los metales pesados previos a esta investigación, esta data servirá para comparar con valores que se obtengan en el

futuro.

7. Concentración de los metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con los ECA para agua

En diciembre de 2015, mediante D.S. N° 015- 2015-MINAM, se modificaron los ECA aprobados el 2008. Con el cual algunos metales pesados incrementaron su concentración de manera significativa.

Considerando que las aguas motivo del presente estudio se originan dentro de un espacio con actividad minera desde 1992, y cuyo destino principal es el uso doméstico, se creyó por conveniente comparar los resultados obtenidos en el monitoreo con los Estándares Nacionales para Agua Categoría 1, clase A3.

Al iniciarse la actividad minera en estos espacios, se dio inicio a la afectación de la cantidad y calidad de estas aguas (Arana 2015), proceso que se ha incrementado significativamente con los años y dejando como resultado la destrucción de las nacientes de las aguas del río Grande y de otros ríos aledaños.

Si bien es cierto no se tiene data de la calidad de las aguas del río Grande previo a la actividad minera, debido a la magnitud y al impacto ambiental, es muy probable que la calidad actual del río Grande y sus afluentes sea debido principalmente a esta actividad.

Aluminio total. Hasta diciembre de 2015 el ECA del Al en aguas para uso doméstico era $0,2 \text{ mg L}^{-1}$, a partir de esta fecha pasó a $5,0 \text{ mg L}^{-1}$. El incremento con relación al estándar anterior fue de 2500%.

Con la legislación anterior las aguas eran no aptas para consumo humano; sin embargo, con la modificatoria del 2015, ningún punto de monitoreo sobrepasó estos estándares.

El punto QE3 alcanzó la máxima concentración en la estación húmeda con $2,236 \text{ mg L}^{-1}$, seguido por el punto RGR con $1,800 \text{ mg L}^{-1}$, pero en ningún caso sobrepasaron los ECA vigentes.

diferentes puntos. Tampoco manifestó una variación significativa entre una y otra estación climática.

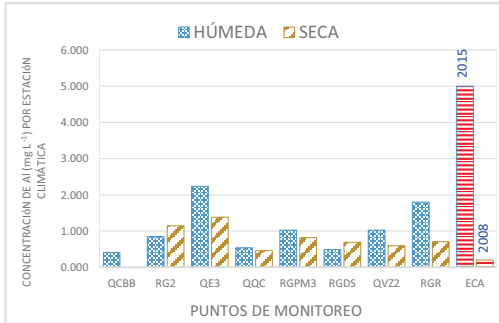


Fig. 1. Concentración de Al (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas.

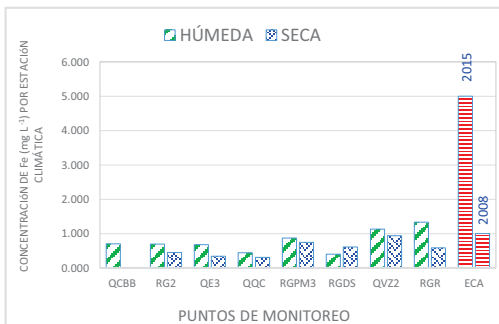


Fig. 2. Concentración del Fe total (mg L^{-1}) en las dos estaciones

Hierro total. Tampoco sobrepasó los ECA actuales ($5,0 \text{ mg L}^{-1}$); sin embargo, comparando con lo establecido hasta antes de 2015 ($1,0 \text{ mg L}^{-1}$). El RGR ($1,329 \text{ mg L}^{-1}$) y el QVZ2 ($1,132 \text{ mg L}^{-1}$), ambos en la estación húmeda, sobrepasaron dichos ECA. Con relación al Fe total en la estación seca, los puntos que manifestaron las mayores concentraciones fueron: RGDS y QVZ2, ambos con $0,936 \text{ mg L}^{-1}$ y en segundo lugar el punto RGPM3 con $0,746 \text{ mg L}^{-1}$, no sobrepasando los ECA.

Cadmio total. La normatividad actual, no ha modificado su concentración, ($0,01 \text{ mg L}^{-1}$),

valor muy superior a los encontrados en los puntos de monitoreo.

Mercurio total. En todos los puntos de monitoreo y en las dos estaciones climáticas, presentó los niveles más bajos de concentración y en ningún caso, sobrepasó los ECA. Es uno de los pocos metales cuya presencia en los diferentes puntos de monitoreo se mantuvo en valores casi constantes.

Plomo total. El Pb no ha variado con la nueva legislación ($0,05 \text{ mg L}^{-1}$). Cinco puntos de monitoreo sobrepasaron largamente los ECA en la estación húmeda. El punto RGR alcanzó la máxima concentración ($0,246 \text{ mg L}^{-1}$) en la estación húmeda. El segundo punto de mayor concentración fue el RGDS ($0,135 \text{ mg L}^{-1}$) en la estación húmeda. El punto QVZ2 manifestó una concentración de $0,10 \text{ mg L}^{-1}$ en la estación húmeda. Los puntos QCBB y QE3 presentaron las menores concentraciones ambos con $0,010 \text{ mg L}^{-1}$ en la estación húmeda.

Con relación a la estación seca, los puntos RGDS y QVZ2 manifestaron una mayor concentración ($0,022 \text{ mg L}^{-1}$) en ambos casos. El resto de puntos de monitoreo presentaron un valor de $0,010 \text{ mg L}^{-1}$, que comparado con la legislación actual, tampoco sobrepasa los ECAs.

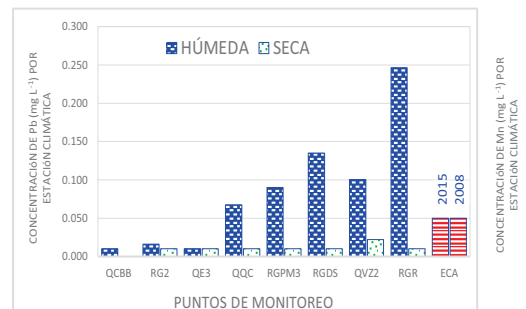


Fig. 3. Concentración de Pb total (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas.

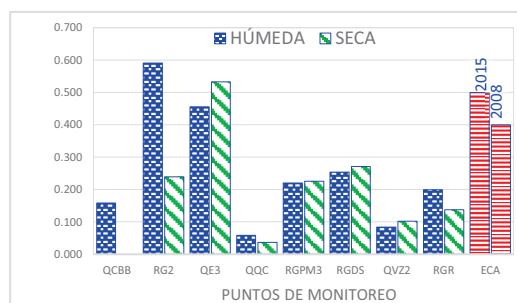


Fig. 4 Concentración de Mn total (mg L⁻¹) en las dos estaciones

La mayor concentración del Pb se presentó en la estación lluviosa, lo que indica que las fuentes pueden ser externas al cauce, que podrían provenir de los lugares por donde discurren las aguas en época de lluvia, por el arrastre atmosférico o por una fuente antropogénica (Rainbow citado por Márquez *et al.* 2000, Márquez *et al.* 2000).

Este resultado es preocupante porque la mayor concentración del Pb se ubica en el punto RGR, (ingreso a la planta de tratamiento de aguas “El Milagro”), donde la concentración fue superior en 492% al ECA actual.

Zinc total. Todos los puntos de monitoreo no sobrepasaron los ECA, que para nuestro país ha sido establecido en 5,0 mg L⁻¹, tanto en la norma actual como en la anterior.

Manganeso total. El Mn no tiene ECA para la clase A3, por lo que se tomó como referencia la clase A2 (0,5 mg L⁻¹). El punto RG2 fue el único que sobrepasó los ECA en la estación húmeda (0,591 mg L⁻¹), seguido del punto QE3 (0,455 mg L⁻¹), ligeramente por debajo del ECA. El resto de puntos están por debajo de los ECA. En la estación seca el punto QE3 sobrepasó ligeramente el ECA (0,533 mg L⁻¹). El resto de puntos, estuvieron por debajo de los ECA.

Tomando todos los puntos de monitoreo, en la estación seca, solamente el Mn sobrepasó los ECA actuales, el resto están por debajo la norma. En la estación lluviosa, solamente el Mn y el Pb sobrepasaron los

ECA.

Considerando que la investigación se desarrolló, antes de la aprobación de estos ECA, fueron tres metales los que sobrepasaron los ECA en la estación seca (Al, As y Mn) y dos en la estación húmeda (Mn y Pb).

Si bien la concentración de metales pesados encontrados son bajas, no significa que no causen graves impactos en el ecosistema acuático y por ende en el ser humano, más aun teniendo en cuenta que estas aguas son consumidas por la población cajamarquina y es más, las evaluaciones únicamente fueron de aguas mas no de sedimentos, que es donde se acumulan los metales pesados y donde la concentración siempre será mayor y de gran peligro para el ecosistema y las formas de vida que de ella dependan.

Al respecto Romero *et al.* 2010, afirman que el contenido de los elementos en los sedimentos y partículas en suspensión son varias veces mayores que en el agua. En los efluentes, producto de los procesos de la minería, sólo en caso de aguas ácidas la porción metálica en solución es alta. Algunos componentes si bien son emitidos en solución, pasan a la fase sólida muy rápidamente y son difícilmente detectadas en el agua.

Por su parte Herrera *et al.* (2013), citando a Estreves *et al.* y Bohn *et al.* sostienen que muchos de los contaminantes que ingresan a un cuerpo de agua superficial, quedan retenidos en los sedimentos que se depositan en el fondo del cauce, causando efectos tóxicos sobre los sistemas acuáticos. Estos depósitos al interaccionar con las corrientes de agua ponen en circulación los contaminantes retenidos, alterando la dinámica general de la masa de agua (Mariani y Pompêo, citados por Herrera *et al.*

2013). Así, variaciones de pH, salinidad y de las propiedades redox de las corrientes de agua pueden provocar movilización y resuspensión de especies químicas acumuladas en los sedimentos, magnificando incluso su efecto tóxico, tal como es el caso de los metales pesados (Ruiz *et al.* citados por Herrera *et al.* 2013).

Si bien a mayoría de metales están por debajo de los ECA vigentes, ello no implica que no representen ningún peligro a futuro tanto para los ecosistemas acuáticos como para la población cajamarquina. Y aún más, sabiendo que estos metales pesados se van sedimentando y acumulando en el fondo de los cauces de las fuentes de agua, convirtiéndose en un gran peligro por la posible incorporación a las cadenas tróficas, su magnificación y bioacumulación en los organismos, y en su dificultad de eliminación (Herrera *et al.* 2013).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. No se puede concluir que la presencia de metales pesados en las aguas del río Grande y sus tributarios esté directamente relacionados con la actividad minera.
2. En cinco puntos de monitoreo, el plomo sobrepasó los estándares nacionales de calidad ambiental para agua clase A3 en la estación húmeda. Siendo el punto RGR el que manifestó la mayor concentración ($0,246 \text{ mg L}^{-1}$), habiendo excedido en 392% al estándar nacional.
3. El manganeso, en el punto de monitoreo RG2 excedió en 18% al estándar nacional de calidad ambiental en la estación húmeda, y en

el punto QE3 excedió en 6.6% a dicho estándar en la estación seca.

Recomendaciones

1. Los monitoreos deben realizarse con mayor frecuencia y en mayor número de puntos.
2. Estudiar la procedencia de los metales encontrados.

LISTA DE REFERENCIAS

Acosta E. 2013. Tratamiento de agua acida en minera Yanacocha. I congreso MINER norte Trujillo, 26 - 28 de Junio de 2013.

Arana M. (2015) Impactos de la gran minería en Cajamarca-Perú. Grupo de formación e intervención para el desarrollo sostenible. Disponible en http://www.grufides.org/sites/default/files/documentos/reportes_semestrales/Art%C3%A1culo%2028%20-%20Impactos%20Ambientales%20de%20Minera%20Yanacocha.pdf. Consultado 20 de marzo 2016.

Arana M. 2002. Resolución de Conflictos Medioambientales en la Microcuenca del Río Porcón, Cajamarca 1993-2002. Pontificia Universidad Católica del Perú

Escuela de Graduados. Tesis Para Optar el Grado de Maestría en Sociología. Lima Perú. 158 pág.

Herrera J. Rodríguez J. Coto JM. Salgado V. Borbón H. 2013. Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. En Tecnología en Marcha, Vol. 26, N° 1, Enero-Marzo 2013. Pág. 27 –36.

Márquez, A. Senior W. Martínez G. 2000. Concentraciones y comportamiento de metales pesados en una zona estuarina de Venezuela. En INTERCIENCIA. VOL. 25 N° 6, pág. 284-291.

Plasencia C. 2010. Relación entre la calidad del agua y la dinámica poblacional del fitoplancton de los ríos Grande, Porcón y Mashcón, Cajamarca (Perú): 2008-2009. En fiat lux 6(1):35-44. Escuela de postgrado. UNC. Martínez compañón Editores S.R.L.

Ramos, Y. Salas, KN. 2015. Evaluación de metales pesados en aguas superficiales en el área de influencia al emisario submarino en el corregimiento de punta canoas departamento de bolívar. Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena. Facultad de Ingeniería Arquitectura Artes y Diseño. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de ingeniero químico. Cartagena-Colombia. 187 pág.

Romero AA; Flores SL., Pacheco WW. 2010. Estudio de la calidad de agua de la cuenca del río Santa. En Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol. 13, N° 25, 61-69 (2010) UNMSM ISSN: 1561-0888 (impreso) / 1628-8097 (electrónico).

Salazar R. 2008. Caracterización físico química y bacteriológica de las aguas del río Azufre (Combayo - La Encañada, Cajamarca. Tesis Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca Perú. 102 pág.

Taylor L. 1994. Estructuras agrarias y cambios sociales en Cajamarca, siglos XIX-XX. Instituto de estudios latinoamericanos. Universidad de Liverpool. Asociación "Obispo Martínez

Compañón". Cajamarca Perú. 417 pág.

Vílchez R. 2005. Eliminación de metales pesados de aguas subterráneas mediante sistemas de lechos sumergidos: estudio microbiológico de las biopelículas. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Instituto del Agua. España. 219 pág.