

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



ESCUELA DE POSTGRADO



MAESTRÍA EN CIENCIAS

MENCIÓN: PLANIFICACIÓN PARA EL DESARROLLO

LÍNEA: DESARROLLO Y MEDIO AMBIENTE

TESIS APROBADA

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

Por : Honorato Hernán Flores Lozano

Asesor : M.Cs. David Lara Ascorbe

Cajamarca, Perú

Diciembre 2016

COPYRIGHT © 2016 by

Honorato Hernán Flores Lozano

Todos los derechos reservados

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POSTGRADO**



MAESTRÍA EN CIENCIAS

MENCIÓN: PLANIFICACIÓN PARA EL DESARROLLO

LÍNEA: DESARROLLO Y MEDIO AMBIENTE

TESIS APROBADA

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

Por: Honorato Hernán Flores Lozano

Comité Científico:

**Dr. Nilton Deza Arroyo
Presidente del Comité**

**Dra. Consuelo Plasencia Alvarado
Primer Miembro Titular**

**M. Cs. Ramiro Salazar Salazar
Segundo Miembro Titular**

**M. Cs. Crispín Zenón Quispe Mamani
Miembro Accesorio**

**M. Cs. David Lara Ascorbe
Asesor**

2016

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
LISTA DE ILUSTRACIONES	x
Tablas	x
Figuras	xi
LISTA DE ABREVIACIONES	xii
GLOSARIO	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación	4
Antecedentes de contaminación	6
a. En el mundo	6
b. En el país	8
c. En la región	9
2.2. Bases teóricas	12
a. La actividad minera en el Perú	12
b. La contaminación	17
c. Contaminación de aguas	18
d. Impacto ambiental de la minería	23
e. Contaminación del agua por la actividad minera	26
f. Metales pesados	29
g. Fuentes de contaminación de metales pesados	38
2.3. Definición de términos básicos	38
CAPÍTULO III	41
DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	41

	Pág.
3.1. Ubicación de la investigación	41
3.2. Técnica e instrumentos de recolección de datos	43
3.3. Variables en estudio y su operacionalización	44
3.4. Tratamiento y análisis de la información	44
CAPÍTULO IV	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1. Concentración promedio de metales pesados de todo el ámbito de evaluación	45
4.2. Concentración promedio de metales pesados disueltos y totales por estación climática en todo el ámbito de evaluación	47
a. Concentración de metales pesados disueltos en la estación seca	48
b. Concentración total de metales pesados en la estación seca	48
c. Concentración de metales pesados disueltos en la estación húmeda	49
d. Concentración total de metales pesados en la estación húmeda	49
4.3. Concentración de metales pesados disueltos por punto de monitoreo	50
a. Concentración de metales pesados disueltos estación seca	50
b. Concentración de metales pesados disueltos estación húmeda	52
4.4. Concentración de metales pesados totales por punto de monitoreo	54
a. Concentración de metales pesados totales durante la estación seca	54
b. Concentración de metales pesados totales durante la estación húmeda	56
4.5. Concentración diferenciada de metales pesados por punto de monitoreo	58
a. Estación seca	58
b. Estación húmeda	58
4.6. Evolución mensual de los metales pesados que presentaron la mayor concentración	62
a. Río Grande, después de la unión con la quebrada Corral Blanco- Coremayo (RG2)	62
b. Quebrada Encajón (QE3)	64
c. Quebrada Quishuar Corral (QQC)	66
d. Río Grande, después de la unión de las quebradas Encajón, Quishuar-Corral (RGPM3)	68

	Pág.
e. Río Grande, después de la unión con la quebrada Vizcachayoc (RGDS)	70
f. Quebrada Vizcachayoc (QVZ2)	72
g. Bocatoma de la captación de agua para la planta de tratamiento “El Milagro”	74
4.7. Relación de los metales pesados con la actividad minera.	76
4.8. Concentración de los metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua	78
CAPÍTULO V	92
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
5.1. Conclusiones	92
5.2. Recomendaciones	92
LISTA DE REFERENCIAS	93
APÉNDICES	98

DEDICATORIA

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento es, ante todo a Dios, por estar siempre conmigo, en los momentos difíciles que a veces tenemos a lo largo de nuestra vida, por bendecirme y guiarme para llegar hasta donde he llegado y por hacer realidad este sueño anhelado, por eso te digo Gracias Dios Mío.

A la Universidad Nacional de Cajamarca por darme la oportunidad de estudiar la presente Maestría, a mis profesores y especialmente a mi Asesor el M.Cs. David Lara Ascorbe quien ha dedicado tiempo y esfuerzo para asesorarme en la elaboración de la presente Tesis.

*Ni la sociedad, ni el hombre, ni ninguna otra cosa
debe sobrepasar los límites establecidos por la
naturaleza”.*

Hipócrates

LISTA DE ILUSTRACIONES

Tablas

	Pág.
Tabla 1. Puntos de monitoreo de aguas	41
Tabla 2. Operacionalización de variables	44
Tabla 3. Concentración promedio de metales pesados (mg L^{-1}) por estación climática en las aguas del río Grande y sus afluentes.	46
Tabla 4. Concentración de metales pesados en la estación seca en los diferentes puntos de monitoreo	60
Tabla 5. Concentración promedio de metales pesados en la estación húmeda en los diferentes puntos de monitoreo	61
Tabla 6. Concentración promedio de metales pesados por punto de monitoreo y por estación climática y su relación con los Estándares de Calidad Ambiental	81
Tabla 7. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, Categoría 1: poblacional y recreacional (D.S. N° 002-2008-MINAM, modificado por D.S. N° 015-2015-MINAM).	82

Figuras

	Pág
Figura 1. Mapa de la cuenca del río Grande y puntos de monitoreo de acuerdo a la tabla 1	42
Figura 2. Zona de toma de muestra en el río Grande	43
Figura 3. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe y Mn en la quebrada Corral Blanco-Coremayo (RG2)	63
Figura 4. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe, Zn y Mn en la quebrada Encajón (QE3).	65
Figura 5. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe, Zn y Mn en la quebrada Quishuar - Corral (QQC).	67
Figura 6. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe, Zn y Mn en el río Grande, después de la unión de las quebradas Encajón, Quishuar -Corral (RGPM3).	69
Figura 7. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe, Pb, Zn y Mn en el río Grande, después de la unión con la quebrada Viscachayoc (RGDS).	71
Figura 8. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe, Pb y Mn en la quebrada Viscachayoc (QVZ2).	73
Figura 9. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe, Pb y Mn en la bocatoma de la captación de agua para la planta de tratamiento “El Milagro” (RGR).	75
Figura 10. Concentración de aluminio (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas	83
Figura 11. Concentración de arsénico total (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas	84
Figura 12. Concentración del hierro total (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas.	85
Figura 13. Concentración de cadmio total (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas	86
Figura 14. Concentración de mercurio total (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas	87
Figura 15. Concentración de plomo total (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas	88
Figura 16. Concentración de zinc total (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas	89
Figura 17. Concentración de manganeso total (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas.	90
Figura 18. Imagen satelital del recorrido del río Grande y su vinculación con la actividad minera, la planta de tratamiento de agua “El Milagro” y la ciudad de Cajamarca.	99
Figura 19. Punto de monitoreo en quebrada Corral Blanco-Coremayo (QCBB)	100
Figura 20. Algunos instrumentos para el monitoreo del agua	101
Figura 21. Punto de monitoreo en después de la unión de las quebradas Encajón y Quishuar Corral (RGPM3).	101
Figura 22. Punto de monitoreo después de la unión del río Grande con la quebrada Viscachayoc (RGDS).	102
Figura 23. Trabajo de rutina en la toma de muestras.	102

LISTA DE ABREVIACIONES

AWTP:	Planta de Tratamiento de Agua Ácida
DAM:	Drenaje Ácido de Mina
DBO:	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DIGESA:	Dirección General de Salud Ambiental
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
E.P.S. SEDACAJ:	Empresa prestadora de servicios de Saneamiento de Cajamarca Sociedad Anónima.
ECA:	Estándar de Calidad Ambiental
EIA:	Estudio de impacto ambiental.
EWTP:	Plantas de Tratamiento de Agua en Exceso
INRENA:	Instituto Nacional de Recursos Naturales
LMP:	Límite Máximo Permisible
MINAM:	Ministerio del Ambiente
mnsn	metros sobre el nivel del mar
PAMA:	Programa de Adecuación y Manejo Ambiental
PNUMA:	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ppm:	Partes por millón

GLOSARIO

Agua potable. Se denomina agua potable al agua "bebible" en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. El término se aplica al agua que ha sido tratada para el consumo humano, según las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales. El agua potable es aquella que debe cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, es apta para consumo humano se utiliza en bebidas directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal (OMS 2010).

Calidad de agua. Es un conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas del agua, determinadas básicamente por los valores establecidos en el Reglamento respectivo de concentraciones máximas admisibles y las establecidas en las guías de calidad, que aseguran la inexistencia de algún tipo de riesgo o peligro de carácter sanitario.

Concentración. Es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente (agua), donde el soluto es la sustancia que se disuelve, el disolvente es la sustancia que disuelve al soluto, y la disolución es el resultado de la mezcla homogénea de las dos anteriores. A menor proporción de soluto disuelto en el solvente, menos concentrada estará la solución.

Contaminación. Es la introducción de sustancias en un medio que provocan que este sea inseguro o no apto para su uso. El medio puede ser un ecosistema, un medio físico o un ser vivo. El contaminante puede ser una sustancia química, energía (como sonido, calor, luz o radiactividad). Es una alteración negativa del estado natural del medio, y por lo general, se genera como consecuencia de la actividad humana considerándose una forma de impacto ambiental.

Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua. Nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

Límite Máximo Permisible (LMP). Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente

Metal pesado. Es un miembro de un grupo de elementos no muy bien definido que exhibe propiedades metálicas. Se incluyen principalmente metales de transición, algunos semimetales, lantánidos, y actínidos. Muchas definiciones diferentes han propuesto basarse en la densidad (mayor a $6,0 \text{ g cm}^{-3}$), otras en el número atómico o peso atómico, y algunas en sus propiedades químicas o de toxicidad.

Monitoreo ambiental. Es la observación del medio ambiente para recoger información relacionada con la contaminación. Por lo general se establecen estaciones fijas que registran a diario los niveles de agentes extraños en la atmósfera, y unidades móviles que se encargan de tareas tales como la vigilancia y la inspección de diversas zonas. En el caso del monitoreo del agua, algunos de los parámetros que se miden son la temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbidez, metales pesados y oxígeno disuelto.

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

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. La importancia de la investigación reside en que el río Grande es la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano 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 los resultados demuestran que en todos los puntos de monitoreo existen metales pesados, no se puede concluir que sea debido a la actividad minera. 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.

Evaluation of the concentration of heavy metals in the waters of the river Grande and its relation with the mining activity

ABSTRACT

The research was developed in the river Grande sub-basin, district and province of Cajamarca, Peru, between December 2004 and November 2005. Zone with mining activity since 1992. The altitudinal range ranged between 2820 and 3500 masl. The importance of the research is that the river Grande is the main source of water for human consumption 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 along the river and some of its tributaries. Evaluations were done every 30 days, both in the dry season and in the rainy season. Although the results show that there are heavy metals at all points of monitoring, it can not be concluded that this is due to the mining activity. Lead was the only metal that at five monitoring points exceeded national environmental quality standards for water, with its maximum concentration at the RGR point (0.246 mg L^{-1}), where it exceeded the national standard by 392%. Manganese exceeded national standards in the rainy season at point RG2 (0.591 mg L^{-1}) with 18% and at point QE3 (0.533 mg L^{-1}) in the dry season with 6.6%.

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

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Todas las actividades humanas generan impactos en el ambiente, los cuales pueden ser negativos, y dependiendo de su magnitud y permanencia, resultar poco o muy perjudiciales al ambiente.

La actividad minera en Cajamarca data desde la colonia, y a través del tiempo ha tenido momentos de gran auge, así como momentos de estancamiento. Hasta antes de la década del 90, esta actividad en la región fue poco significativa, pues en su totalidad era de pequeña y mediana magnitud.

A inicios de 1990, con la nueva legislación nacional como el D.L. 109 (Ley General de Minería); el D.L. N° 662 (Ley de promoción de las inversiones extranjeras); el D. L. N° 757 (Ley marco para el crecimiento de la inversión privada); la Ley 27342 (ley que regula los convenios de estabilidad jurídica al amparo de los D.L. N° 662 y 757); la Ley 27343 (Ley que regula los contratos de estabilidad con el estado); el D.L. N° 708 (Ley de Promoción de Inversiones en el Sector Minero); D.S. N° 014-92-EM (Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería); entre otras leyes, convierten al Perú en un gran atractivo para las inversiones mineras y ello dio paso también a una serie de conflictos ambientales, centrados principalmente en la lucha por el agua tanto por la calidad como por la cantidad.

Con el auge de la mega minería en el Perú, y especialmente en Cajamarca, es muy notoria la afectación de los diversos recursos naturales como el agua, el suelo, la flora y la fauna. De todos ellos, el que ocasiona la mayor preocupación y conflictividad, es sin duda alguna el agua, que por diversos hechos a raíz de la minería en cabecera de cuenca, la concentración de metales pesados se ha incrementado en las aguas de los diversos ríos, cuyas aguas tienen influencia directa e indirecta con esta actividad, tal como lo manifiesta SEDACAJ que en 1998 detectó la presencia de metales pesados en concentraciones mucho más elevadas que las permitidas por ley: Cianuro 8 ppm (40 veces sobre los niveles normales); Cromo VI 375 ppm

(7500 veces sobre los niveles normales); Hierro 5900 ppm (17700 veces sobre los niveles normales); y Manganeseo 1750 ppm (3500 sobre los niveles normales) (Arana 2015).

Los metales pesados se han convertido en una gran preocupación tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil, a estos elementos tóxicos.

Recientemente, ha llamado la atención el conflicto entre la comunidad cajamarquina y Sociedad Minera Yanacocha S.R.L., empresa que viene explotando los yacimientos mineros del cerro La Quinua, San José, Maqui Maqui, cerro Negro, Carachugo y otros, que se ubican en la cabecera de cuenca de la región Cajamarca.

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 potable (planta El Milagro) que abastece a la ciudad de Cajamarca, habiéndose generado a la fecha enfrentamientos entre la empresa minera y la población cajamarquina por la calidad y cantidad de agua.

El conflicto surge porque la concentración de varios metales pesados de las aguas que ingresan a la planta El Milagro en varias ocasiones han superado los estándares de calidad ambiental, hecho que podría ser provocado por la actividad minera ubicada en las subcuencas que abastecen a esta planta. Dentro de los metales pesados destacan el aluminio, el arsénico (no metal), el hierro, el cadmio, el mercurio, el plomo, el zinc y el manganeso, de los cuales el plomo, el cadmio, el mercurio y el arsénico, presentan el mayor peligro ambiental (Baird 2001).

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?, dando origen a la siguiente **hipótesis**: La concentración de metales pesados por encima de los Estándares nacionales de calidad ambiental tiene relación con la actividad minera.

La presente hipótesis tuvo como **objetivo general**: Determinar la presencia de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera que se lleva a cabo en la cabecera de cuenca y dentro de los **objetivos específicos** planteados se tuvo: 1).

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

La investigación consistió en el monitoreo de ocho metales pesados en ocho puntos predeterminados en el cauce del río Grande y algunos de sus tributarios, ubicados en el distrito y provincia de Cajamarca durante el periodo 2004 – 2005.

La toma de muestras de agua fue cada 30 días, tanto en estación lluviosa como en estación seca, siguiendo el 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 de las aguas fue realizado en espectrofotómetro de absorción atómica por el laboratorio Envirolab Perú, el mismo que es un laboratorio ambiental especializado en muestreo, monitoreo y análisis de agua.

El procesamiento de la información fue mediante la estadística descriptiva, medidas de tendencia central, de dispersión y tablas de distribución de frecuencia y el análisis de correlación.

El documento consta de cinco capítulos, el primero corresponde a la introducción, que detalla de forma general el contenido de la investigación; el segundo capítulo está referido al marco teórico, donde se describen los diversas antecedentes y teorías relacionados con la investigación; el tercer capítulo se refiere a la contrastación de la hipótesis; el cuarto capítulo se refiere a los resultados y discusiones y el quinto capítulo a las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

La minería se viene desarrollando en latinoamericana desde siglos atrás que ineludiblemente generan residuos. Las viejas prácticas mineras y el manejo inadecuado de estos residuos como también la inexistencia de normas precisas ha devenido en la acumulación de pasivos ambientales mineros provocando contaminación de recursos naturales cuyo uso puede poner en riesgo la salud pública (Yupari s.f.).

Uno de los aspectos más cuestionados de estas inversiones es el impacto ambiental que tendrían, ya que dichos proyectos se ubican en zonas donde se originan los cursos de agua, principalmente en ecosistemas de alta montaña (Red Muqui 2014). La nueva minera a tajo abierto compromete un uso abundante de los recursos naturales, específicamente tierra y agua, que luego de ser procesados, se trasforman en relaves. Así este tipo de minería compite por los recursos necesarios para el desarrollo de actividades agropecuarias (Zavaleta 2013).

La empresa Minera Yanacocha S.R.L. desarrolla sus actividades en la provincia de Cajamarca, sobre la divisoria entre la vertiente del Pacífico y la vertiente del Amazonas, a una altitud aproximada de 4000 msnm, tiene una extensión de 100 km² y corresponde al nacimiento de varios ríos de importancia regional (Ingetec S.A. 2003).

La ciudad de Cajamarca tiene dos plantas de tratamiento de agua: Santa Apolonia (1940) y El Milagro (1980) que suministran agua a aproximadamente 150 000 personas. La planta de Santa Apolonia suministra el 30% del agua para la ciudad de Cajamarca, cuyas aguas se originan en el río Ronquillo (cuenca Porcón), ubicado fuera del área de influencia minera. La planta El Milagro suministra el 70% del agua para la ciudad de Cajamarca, aguas originadas en la cuenca Porcón. Dos grandes captaciones suministran

agua a El Milagro, una en el río Porcón y una en el río Grande. La captación del río Grande es actualmente la única captación de agua potable para Cajamarca con instalaciones mineras en su nacimiento (Atkins *et al.* 2005).

El proyecto minero La Quinoa es la quinta mina de MYSA, es una vena coluvial que alberga 5 millones de onzas de oro, ubicada en el divortium aquarum de los valles Jequetepeque y Cajamarca, drena sus aguas superficiales y subterráneas a estos valles. La subcuenca del río Grande, (cuenca Porcón) alberga la mayor parte de este yacimiento, cuyas aguas abastecen a la planta El Milagro. La ubicación de la mina en las partes altas de Cajamarca, hace vulnerable a esta ciudad. Los análisis de aguas que abastecen el agua potable de la ciudad, y de los peces muertos por efecto de la contaminación en estos ríos, han dado en varios análisis niveles altos de cianuro, Cr, Cd, Hg, Pb, Mn, Al y otros elementos peligrosos. En junio del 2002, el sector salud informó sobre la presencia de Cr y Cd en niveles altos en el río Grande (Deza 2002).

Según (Ingetec S.A. 2003) las actividades de minera Yanacocha están ubicadas en las siguientes posiciones:

Por el norte, la zona drena hacia la quebrada Honda de la cuenca del río Llaucano, el cual pasa por la ciudad de Bambamarca para desembocar en el río Marañón.

Por el oriente y el sur-oriente, drena hacia los ríos Azufre, Paccha y San José, afluentes del río Chonta.

Por el sur, drena hacia los ríos Grande y Porcón (cuenca Porcón). Los dos ríos convergen al norte de Cajamarca para formar el río Mashcón (Ingetec S.A. 2003, Atkins *et al.* 2005). Por el oeste, drena hacia el río Rejo que aguas abajo se junta con el río San Miguelino, antes de caer al río Jequetepeque (Ingetec S.A. 2003).

Las instalaciones mineras ubicadas en la cuenca Porcón incluyen parte de los complejos Yanacocha, Carachugo, San José, y La Quinoa, todas ubicadas en la sub cuenca del río Grande. La sub cuenca quebrada Encajón contiene las operaciones Carachugo, incluyendo el tajo abierto Carachugo y el botadero de desmonte Carachugo Norte; las operaciones de Yanacocha, incluyen partes del tajo abierto Yanacocha Sur; las operaciones San José, incluye parte del tajo San José y parte del botadero de desmonte San José; las instalaciones de La Quinoa, incluyen el tajo La Quinoa la planta de

oxidación y botadero de desmonte de La Quinua que están en la sub cuenca quebrada Callejón. La planta de tratamiento de agua ácida (AWTP) La Quinua descarga agua a la quebrada Callejón (Atkins *et al.* 2005).

Tanto, comunidades rurales como urbanas están preocupadas por la calidad y cantidad de agua asociados con la mina. Aproximadamente 30 000 personas viven en zonas rurales dentro del área que rodea el distrito minero, numerosos canales de irrigación transportan agua para uso agrícola y doméstico, y algunos de éstos se originan en propiedad de la mina. El agua en los canales es usada para irrigación, lavado y bebida de ganado, podría ser usada como fuente de agua potable por algunos pobladores (Atkins *et al.* 2005).

Hoy todas las empresas mineras del mundo, se ufanan de usar tecnología de punta en la explotación de minerales. La empresa Yanacocha, desde sus inicios, también se ha ufano de usar esta tecnología, incapaz de generar impactos negativos al ambiente, criterio avalado por los gobiernos de turno, incluso, en varias oportunidades ha sido premiada por el estado peruano como una empresa responsable social y ambientalmente; sin embargo, en 23 años de actividad ha generado diversos impactos negativos al ambiente y a la sociedad, generando una serie de desavenencias con la población, cuyos orígenes se remontan a 1992 cuando se inicia el proceso de compra de tierras y se potencia con los numerosos accidentes como: el derrame de sustancias tóxicas, el descuido en el tratamiento de los relaves y la contaminación de aguas que ha generado una serie de denuncias (Zavaleta 2013).

Antecedentes de contaminación

a. En el mundo

Lamentablemente ambiente y minería siempre se ubican en las antípodas. En Norteamérica los efluentes de mina han contaminado más de 18 mil km de ríos y 80 mil ha de lagos. Lo que fue la más grande mina de oro de Colorado en los ochenta, hoy es la más desastrosa contaminación de ese estado. Jerd Greer (The Ecologist, mayo, 1993) afirma que la historia de lixiviación en Estados Unidos debería de servir de escarmiento a los países del sur que son víctimas de la promoción de esta práctica procedente del norte (Deza 2002).

Según (Yupari s.f.), en el mundo han ocurrido muchos accidentes mineros, tales como:

1. Cilfynd Common, Gales del Sur (mina de Carbón), 1939, se produjo el deslizamiento de 180 000 t de residuos hacia el río Taff.
2. El Teniente, Chile, (mina de cobre), 1965, se registró la falla de la presa de relaves debido a un terremoto, más de dos toneladas de residuos se diseminaron generando una gran contaminación.
3. El Cobre, Chile, 1965. La falla de una presa de relaves debido a un terremoto sepultó a un poblado. Se recuperaron más de 400 cadáveres, pero se estima que la cifra supera los 500.
4. Florida (fosfatos), 1971, la falla de una presa de relaves, generó contaminación del río Peace extendiéndose a lo largo de 120 km.
5. Mike Horse Dam Lincoln, Montana, 1978, la presa de relaves falló generando contaminación del río Blackfoot.
6. Stava (Trento, Italia), 1985, un dique de escombreras de flurita vertió 200 000 m³ de escombreras. 268 personas murieron y 62 edificios resultaron destruidos.
7. Mina de Summitville, 1986, mina de oro en Colorado donde ocurrió un derrame de cianuro y de metales pesados vertiéndose hacia los cursos de agua de la región, afectando 17 millas del río Alamosa.
8. Vancouver Ridge, (Ok Tedi) Papua New Guinea, 1989 la mina de oro y cobre lanzó cerca de 80 000 t/día de estériles y relaves al río Ok Tedi, tributario de uno de los ríos más importantes de Papua (Fly River).
9. Mina Marcopper, 1995, mina de oro de la Placer Dome localizada en las Filipinas, se produjo un derrame de la presa de relaves de 15 millones de t de residuos impactando los ríos Makulpnit y Boac, y las áreas costeras.
10. Mina Omai, 1995, la mina de oro de la empresa Cambior, en Guyana se rompió la presa de residuos contaminados con cianuro que fueron a parar al río Essequibo.

11. Mina El Porco, (Bolivia), 1996, cerca de Potosí, se produjo un accidente, 400 000 t de relaves que fueron a parar a los ríos Pilaya y Pilcomayo.
12. Aznalcóllar, la rotura de la balsa de decantación de lodos de la mina de Aznalcóllar el 25 de abril de 1998, cubrió 2600 ha y quedaron retenidos unos 3 hm³ de agua contaminada con metales pesados, se inundaron pozos y cesó toda actividad agrícola. No se produjeron daños personales, pero afectó grandes extensiones de cultivos, captaciones de agua para consumo humano y agrícola, amenaza para el hábitat marino y riesgo para la fauna de los Parques Nacional y Natural Doñana de una de las regiones mineras antiguas de España.
13. Derrame en Baia Mare, Planta de oro de Aural, Rumania, 2000, la rotura de un dique de una balsa de escombreras provocó el vertido de 100 000 m³ de aguas residuales con un contenido de hasta 120 t de cianuro y metales pesados en el río Lapus que fluyó aguas hasta los ríos Somes y Tisa en Hungría antes de entrar en el Danubio. En Baia Borsa se vertieron 20 000 t de escombreras al río Noval, un afluente de los ríos Viseu y Tisa.
14. Rotura de presa de relaves de Samarco (5 nov 2015), que destruyó el distrito de Bento Rodrigues en la ciudad de Mariana, estado de Minas Gerais, cuyo derrame se calcula es de 50 y 60 millones de m³. Causó la muerte de por lo menos 15 personas y decenas de desaparecidos, además de centenares de viviendas destruidas y toda la flora y fauna desaparecida. El hecho fue ocasionado por las empresas Vale (Brasil) y BHP Billiton Brasil (australiana).

b. En el país

La Plataforma de contrapartes NOVIB Grupo temático medio ambiente (2000) sostiene que dentro de los casos de contaminación de suelos y aguas superficiales y subterráneas causadas por aguas ácidas, relaves y sustancias tóxicas (mercurio y cianuro) en Perú destacan:

1. Yanacocha en Choropampa, Compañía Minera Volcan en Huayhuay y Yauli, Buenaventura en Julcani y Sipán en Llapa.
2. La contaminación del río San Juan y el lago Chinchaycocha por el impacto causado por las empresas Paragsha, Brocal y Aurex.

3. La contaminación del aire y su potencial impacto en la salud humana provocada por el complejo metalúrgico de La Oroya al liberar dióxido de S, As, Pb, Cd y otros en magnitudes que en conjunto impactan 12 veces más que toda la industria del cobre de los EE UU. El otro caso es la fundición de Ilo (Southern).
4. El impacto provocado por el uso del cauce de un río como zona de desmonte. Teniendo como ejemplo el río Torata en la expansión de Cuajone (Southern) en Moquegua.
5. El impacto de polvo, ruidos y vibraciones en la población de Cerro de Pasco causado por la empresa Paragsha (Volcan). Asimismo, el impacto de los ruidos y vibraciones en las poblaciones aledañas a la mina Pierina (Barrick Gold) en Huaraz, Ancash.

c. En la región

La minería en Cajamarca data de más de 500 años, es por ello que en gran parte de la región existen pasivos ambientales, que si bien hoy constituyen vestigios de la antigua minería, en su momento fueron considerados como una tecnología moderna. De 45 muestras colectadas de botaderos de desmonte y depósitos de relaves en la provincia de Hualgayoc, 73% tienen potencial para continuar generando acidez y disolver metales; el 11% es neutro para generar acidez o basicidad y el 16% tienen capacidad para producir soluciones con pH básico. Hay generación de metales en solución; algunos con valores sobre los LMP. Debe ser motivo de atención la producción de Cd (0,40 ppm), Fe (148 ppm), Pb (4 ppm), Mn (83,22 ppm), Zn (90,08 ppm), sulfatos (1940 ppm). La concentración puede incrementarse y el pH (2,56) puede descender con el tiempo.

Los botaderos de desmonte de mina más contaminados son: Las Negras y quebrada Honda, con mayor capacidad de generación de aguas acidas y de disolución de metales. De 14 botaderos analizados, nueve son altamente ácidos, dos moderadamente ácidos, dos ligeramente ácidos y uno es neutro. Siete de los ocho depósitos de relaves se clasifican como altamente ácidos. Estos son los más peligrosos por la generación de acidez, el pH que es muy bajo y hay metales en solución (Guzmán y Deza 2009).

Con la minería llamada moderna, a nivel local existen varias evidencias sobre la contaminación del agua proveniente del área de operaciones de minera Yanacocha, al respecto Deza (2002) sostiene que la empresa SEDACAJ ha incrementado desde el tercer año de inicio de las operaciones mineras, los costos de tratamiento del agua de la planta El Milagro, debido a la presencia de metales pesados, cuyos costos han sido cargados a los usuarios.

El mismo autor sostiene que esta empresa ha eliminado los peces y sapos de varios ríos de su influencia como Tinte-Rejo, Grande y Porcón; ha contaminado poblaciones enteras en San Juan, Choropampa, Magdalena y Tembladera, sea con As, Hg, hidrolina o petróleo.

Minera Yanacocha utiliza cianuro para la extracción del oro. Este método fue ideado en Escocia en 1887 y probado en Sudáfrica y no fue hasta los años 70 del pasado siglo que empezó a ser económicamente rentable. La solución cianurada baña las canchas de lixiviación por goteo o aspersion para extraer el oro, la plata y otros metales pesados (sales de plomo y arseniatos). Casi el 50% del cianuro es reciclado, el 25% se destruye naturalmente, y otro tanto permanece peligrosamente en las capas profundas del material en el pad (Deza 2002).

Según Zavaleta (2013), dentro de los casos más resaltantes de contaminación provocados por Yanacocha destacan:

1. Noviembre de 1993, derrame de sustancias químicas en campos de exploración en el Quilish.
2. Setiembre de 1998, se detecta en la quebrada Encajón, altas concentraciones de metales pesados en aguas que abastecen la planta El Milagro.
3. Diciembre de 1998, relaves mineros de Sipán sobre el río Llapino en las provincias de San Pablo y San Miguel, causando muerte de peces en 20 km del río Llapino.

Al respecto (Deza 2002), sostiene que la primera quincena de octubre de 1997, minera Sipán dejó escapar un derrame de cianuro por el río Ojos, que atraviesa la villa San Antonio de Ojos y mató todas las truchas y anfibios del río Yanahuanga, a donde el Ojos desemboca, en un recorrido de 20 km. Los

peces muertos llegaron hasta el río Jequetepeque. En el último trimestre de 1998, minera Sipán repitió un segundo derrame de solución cianurada sobre el río Yanahuanga.

4. Diciembre de 1998, derrame de nitrato de amonio en accidente de transporte en la ruta Tembladera-Chilete, ocasionando la muerte de peces.
5. Enero 2000, relaves de Yanacocha con arsénico, en la granja Porcón hasta Gallito Ciego, causando la muerte de peces en 180 km de la cuenca del Jequetepeque.
6. Enero 2000, relaves de Yanacocha en la cuenca del río Llaucano, causando la muerte de truchas en este río.
7. Junio 2000, derrame de mercurio entre Choten, San Juan, Choropampa y Magdalena, intoxicando a más de 1200 personas.
8. Agosto 2000, mercurio en viviendas del Jr. Ayacucho y el CE Rafael Loayza, causando la intoxicación de 40 personas.
9. Enero 2001, relaves de Yanacocha en la cuenca del río Llaucano, causando la muerte de 10 000 truchas en la piscigranja El Ahijadero y el río Llaucano.
10. Enero y marzo 2001, dos derrames de petróleo e hidrolina en la cuenca del río Jequetepeque.
11. Marzo 2001, presencia de metales pesados a la altura de Puruay, en río Grande y pH ácido en aguas que abastecen a Cajamarca, causando la muerte de truchas de río Grande y piscigranja de la Posada Puruay.
12. Agosto 2001, fuerte acidez de aguas en la piscigranja Porcón, causando la muerte de truchas.

Por otro lado Atkins *et al.* (2005), sostiene que de 675 muestras de agua recolectadas en la cuenca Porcón entre Julio de 2004 y Agosto de 2005, la calidad de agua cumple con los estándares Clase II de la Ley General de Aguas. En la parte alta del río Grande ocasionalmente excedían las Guías Internacionales para agua potable en Cd y Pb. Estos contaminantes son removidos en la planta de tratamiento de El Milagro y la

calidad del agua que llega a la ciudad de Cajamarca cumple con las Guías Internacionales.

En un estudio sobre la relación entre la calidad del agua y la dinámica poblacional del fitoplancton de los ríos Grande, Porcón y Mashcón realizado por Plasencia (2010), donde se evaluaron metales pesados como: As, Cd, Pb y Cr, se determinó en un primer muestreo que los valores de As, Cd y Pb sobrepasaron los ECAs para aguas de tipo A1 y A2 (As = 0,01 mg L⁻¹, Cr 0.05 mg L⁻¹, Cd 0,003 mg L⁻¹ Pb 0,01 mg L⁻¹. Con relación a la turbiedad se determinaron valores por debajo de los ECAs para tipo A1: ≥ 6 mg L⁻¹ y para tipo A2: ≥ 5 mg L⁻¹; quedando establecido que existe una relación entre la contaminación de los ecosistemas acuáticos de estos ríos y las actividades domésticas, agrícolas, pecuarias, mineras, artesanales y la respuesta de los diferentes componentes biológicos de las comunidades acuáticas como el fitoplancton, considerando sus efectos negativos en su dinámica poblacional.

2.2. Bases teóricas

a. La actividad minera en el Perú

La minería en el Perú se remonta a siglos atrás, las culturas Pre-Inca y los Incas ya usaban la plata y el oro para sus ceremonias religiosas. En la colonia se inicia la explotación comercial de estos metales a la par que se propicia el surgimiento de ciudades mineras, en cuyas minas los trabajadores eran expuestos a los efectos nocivos del As, Hg y sulfuro. En la República se expande la producción de otros metales y actualmente la minería es uno de los sectores más importantes de la economía nacional, pues representa casi el 45% de las exportaciones a pesar de que su contribución al PBI sólo llega 4 a 5 % (Yupari s.f.).

Tras la conquista, la minería se convirtió en el gran soporte económico del virreinato. Entre los siglos XVI y XVII se acumularon grandes cantidades de oro y plata, que constituyeron la fuente de riqueza española. En el proceso de emancipación, esta actividad se detuvo para resurgir luego con la República (Benavides 2012).

Según Taylor (1994), la minería desempeñó un papel sumamente importante en la economía de la provincia de Hualgayoc. Durante las últimas décadas de la colonia, Hualgayoc era la principal productora de plata en el virreinato del Perú. Durante casi

todo el siglo XIX esta actividad decayó hasta la depresión. Después de la retirada de los mineros españoles como consecuencia de la independencia, los mineros criollos no dispusieron de suficiente capital para hacer las grandes inversiones, llegando a cerrar muchas minas y a disminuir la producción. Para mediados de siglo, Hualgayoc producía 40 000 marcos de plata piña (8 onzas cada marco). Esta producción había decaído un 50%, a 20 000 marcos para 1871, y dos años más tarde se redujo entre 10 000 y 12 000 marcos.

La minería en los distritos aledaños, estuvo paralizada por similares motivos: hacia 1873, la única actividad reseñada fuera del distrito de Hualgayoc que todavía funcionaba, era las cuatro minas de plata en Cushuro, ubicadas en el distrito de San Miguel (hoy distrito de Calquis, provincia de San Miguel). El sector minero de Hualgayoc recibió otro fuerte golpe durante la guerra del Pacífico (1879-1882), por cuanto el ejército invasor chileno impuso cupos sobre la explotación local y practicó el pillaje. Este estancamiento continuó hasta 1890, cuando se introdujo la lixiviación, que aumentó la producción hasta por lo menos 40 000 marcos de plata cada año entre 1890 y 1904. En este resurgimiento, varias minas pequeñas comenzaron a operar en otros distritos de la provincia. En 1891 se abrió una mina de plata cerca al pueblo de San Miguel y otra en la hacienda Chala. En 1893 se abrió una pequeña mina en la hacienda Quilcate (Taylor 1994).

En las memorias mineras de 1886, se contabilizan 500 concesiones mineras en Hualgayoc (Taylor 1994). Esto confirma que la minería, data desde la colonia y que a pesar de haber sufrido grandes reveses se mantuvo vigente durante los últimos 500 años.

En la actualidad, la minería es la columna vertebral de la economía del Perú, habiendo logrado un sitio importante en la producción mundial, ubicándose entre los primeros países productores de plata, cobre, zinc, estaño, plomo y oro. El Perú tiene un gran potencial geológico en las zonas altoandinas, gracias al cual importantes empresas desarrollan proyectos de envergadura. Nuestros minerales tienen gran demanda en Estados Unidos, China, Suiza, Japón, Canadá o en la Unión Europea (Benavides 2012).

Entre diciembre de 1992 y julio de 2000 se ha pasado de 404 mil ha de nuevos petitorios de exploración y explotación minera a 10 millones de ha, mientras los antiguos derechos redujeron su área de 10 millones a 2,5 millones de ha, lo cual ha comprometido 3326 comunidades campesinas a nivel nacional, 2978 con actividades de exploración y a 348 comunidades de producción (Plataformas de contrapartes NOVIB Grupo temático medio ambiente (2000)).

Desde que empezó el boom minero por el alza de precios de los minerales y la demanda creciente de China e India en la década de 1990, la minería se ha venido extendiendo en todo el Perú mediante la adquisición de concesiones o petitorios mineros y la ejecución de actividades de exploración y explotación. Alrededor del 20% de nuestro territorio está concesionado o con petitorios mineros, existiendo éstos en casi todas las regiones del país. Aún con la crisis internacional, este proceso no se ha detenido y ha supuesto la incorporación anual de entre 5000 y 8000 concesiones (Red Muqui 2014).

La volatilidad de los precios de los minerales ha tenido una influencia importante en la producción a corto plazo. En 1998 cayó la producción de Cu, de Zn y de Pb, siendo la de Cu la que mostró un mayor descenso. En años recientes, la subida de los precios ha generado el aumento de la producción de todos los minerales. El 2004 el Perú aportó 6% de la producción mundial de Cu, 7% de la producción de Ag y más de 16% de la producción de Zn (Glave y Kuramoto 2007).

Las inversiones de las más grandes transnacionales de Canadá, USA, Japón, Australia, Inglaterra y Sudáfrica se han orientado hacia la exploración y explotación de grandes yacimientos de Ag, Cu y Zn en América Latina y particularmente en el Perú, Chile, Brasil y México, ingresando también a países con reciente actividad minera como Argentina (Plataformas de contrapartes NOVIB Grupo temático medio ambiente 2000).

El oro ha experimentado el mayor crecimiento equivalente a 2569% entre 1980 y 2000. El nuevo marco regulatorio puso en marcha las primeras operaciones auríferas de grandes depósitos de mineral diseminado, como Yanacocha y Pierina. La promulgación del Código de Minería de 1950 generó un cambio importante en la minería. Los incentivos económicos otorgados atrajeron el capital extranjero y se

desarrolló la mina de Toquepala, en su tiempo considerada una de las más grandes del mundo. El ambiente propicio para la inversión y los altos precios también tuvieron un efecto positivo. En ese lapso se consolidaron varios grupos empresariales nacionales. El Perú, al igual que posteriormente, en la década de 1990, se convirtió en un destino atractivo para la inversión minera (Glave y Kuramoto 2007).

La prioridad del sector minero sobre las otras actividades productivas ha llevado a desarrollar un marco legal más amplio para la minería. Las normas ambientales están diseñadas para reducir o controlar la contaminación en su punto de emisión mas no se considera la evaluación del impacto ambiental en los cuerpos receptores como lagunas, ríos, pastos, el ganado y la salud humana. Dada la determinación unilateral de los LMPs ocurre que aun cuando las empresas cumplen con ellos se sigue deteriorando ríos, lagunas, pastos, etc. Un ejemplo es lo que sucede con el lago Chinchaycocha o Junín (Plataformas de contrapartes NOVIB Grupo temático medio ambiente 2000).

A diferencia de otros sectores productivos, la modernización de la minería en la década de 1990 se dio con un fuerte apoyo del Estado: no sólo saneó las operaciones mineras para venderlas, sino que además asumió la deuda y la cartera pesada del Banco Minero. Finalmente, el debilitamiento y la desaparición del movimiento sindical hicieron más atractiva la inversión privada en el sector minero (Glave y Kuramoto 2007).

La década del 90 trajo una recuperación de precios que incentivó la puesta en marcha de nuevos proyectos. Esta recuperación se vio impulsada por la promulgación de la Ley General de Minería, en 1992, que fomentó la inversión privada en el sector minero y estableció mecanismos orientados a generar una mayor seguridad jurídica para la explotación minera. Este nuevo contexto permitió poner en marcha nuevos proyectos auríferos; el más importante de ellos, la mina de Yanacocha (Glave y Kuramoto 2007).

La minería a cielo abierto como subterránea, legal e ilegal, se desarrollan en muchos casos en ecosistemas estratégicos para la conservación ambiental, como páramos, bosques, humedales, ríos, zonas de inundación, selvas, zonas de nacimiento de aguas y de recargas de acuíferos, ocasionando la pérdida de importantes áreas para la conservación ambiental y la vida de los habitantes (Negrete 2013).

La mina Yanacocha tiene tajos abiertos, pilas de lixiviación y pozas asociadas, y botadero de desmonte. Para mitigar los efectos de estas instalaciones, Yanacocha recoge, trata y descarga el agua en exceso de pilas de lixiviación, agua ácida de pozos de mina y escurrimientos en plantas de tratamiento de agua en exceso (EWTPs) y plantas de tratamiento de agua ácida (AWTPs), respectivamente (Atkins *et al.* 2005).

Además, la mina captura residuos de agua de caminos, instalaciones en terrenos descampados y otras áreas, y las envía a serpentines, los cuales decantan los sedimentos antes de descargar el agua. La mina también ha construido dos presas para retener agua superficial del sitio y permitir que el sedimento se asiente antes de ser liberado. La presa de 35 m de alto en río Rejo y la de 46 m de alto en río Grande (Atkins *et al.* 2005).

Las pilas de lixiviación en Carachugo, Yanacocha, Maqui-Maqui, y La Quinoa tienen aguas en exceso que necesitan ser recolectadas y tratadas. Las EWTPs de Carachugo y Yanacocha retiran cianuro y metales del agua de proceso en exceso de las pilas de lixiviación, en la estación lluviosa, y descargan a la quebrada Pampa Larga en la cuenca Honda. Así, agua originada en las cuencas Chonta y Rejo puede ser descargada en la cuenca Honda, resultando transferencia de agua entre cuencas (Atkins *et al.* 2005).

Las descargas de las plantas de tratamiento de agua aumentan el flujo aguas abajo. Se descarga agua tratada en la quebrada Callejón de la cuenca Porcón, aumentando los flujos en la quebrada Callejón y aguas abajo en el río Grande. También se descarga agua tratada en la quebrada Pampa Larga de la cuenca Honda. La mina no tendrá impacto negativo sobre la cantidad de agua disponible en el río Grande, porque las descargas aumentan el flujo de riachuelos y compensan cualquier reducción. (La mina no tiene influencia en la cantidad de agua del río Porcón o río Ronquillo). El único efecto negativo potencial de la descarga de instalaciones de mina, sería la contribución de flujo adicional cuando la quebrada Honda esté llena, ocasionando desbordes (Stratus Consulting Inc. 2003).

Las cuatro cuencas de drenaje contienen instalaciones mineras en sus cabeceras. Los riachuelos que se originen en la propiedad minera en vertientes con instalaciones de mina, tienen flujos suficientemente reducidos como para causar un efecto negativo. La

más grande disminución de flujo está y estará, próxima a las instalaciones mineras. Los efectos disminuirán aguas abajo a medida que el flujo de los tributarios y del agua subterránea ingrese al curso de agua. Aguas abajo de la mina, la reducción del flujo es un pequeño porcentaje del flujo total. Las reducciones pronosticadas son menores que los cambios típicos de flujo de un año a otro, causados sólo por las variaciones de precipitación. Un cambio de 10% del flujo no causa necesariamente un efecto negativo sobre la cantidad de agua disponible para los usuarios. Una reducción del 10% tendría efecto negativo en áreas donde todo el caudal del riachuelo ya está siendo usado por la comunidad. En las otras áreas, una reducción mucho mayor del flujo relacionada con la mina no tendría efecto negativo (Stratus Consulting Inc. 2003).

Es probable que las operaciones mineras causen efecto negativo sobre la cantidad del agua en los riachuelos que están muy próximos a las instalaciones mineras. La quebrada Encajón en la cuenca Porcón y el río Colorado en la cuenca Honda tienen reducciones de flujo sustanciales, pero estos efectos llegarán aguas abajo sólo hasta la confluencia con el río Grande y quebrada Honda. En la cuenca del Chonta, el río San José y la quebrada Arnacocha tienen flujos reducidos en la estación seca debido a la existencia de instalaciones mineras. En la cuenca del Rejo, el río Tinte y sus tributarios, incluyendo la quebrada del Barranco, quebrada Shilamayo, y quebrada de la Pajuela, tienen flujos reducidos en la estación seca debido a la existencia de instalaciones mineras. Algunos canales son o serán afectados por la mina, ya sea debido a una gran reducción de caudal en el riachuelo de toma (ejemplo, el canal Yanacocha con su toma en la quebrada Encajón), o debido a la construcción de instalaciones mineras en el área donde está ubicado el canal (canales Encajón, Collotan y Quishuar) (Stratus Consulting Inc. 2003).

b. La contaminación

Es un cambio indeseable en las características físicas, químicas y biológicas del aire, del agua y del suelo, que puede afectar negativamente al hombre y a las especies animales y vegetales (Adame y Salín 1993).

Hay muchas fuentes de gases y otras partículas en suspensión que contaminan nuestra atmósfera. A las sustancias que son emitidas directamente a la atmósfera se les llama contaminantes primarios, y contaminantes secundarios a los que se crean a partir de

procesos físicos y reacciones químicas que tienen lugar en la atmosfera. La mayoría de agentes contaminantes primarios entran a la atmosfera como consecuencia de la combustión, la evaporación, la molienda y la abrasión (Masters y Ela 2008).

La especiación de un contaminante no solo es determinante en cuanto a su retención en la fase sólida no coloidal versus su movilidad como fase acuosa, sino que también lo es, y esto es de gran importancia, en relación a su biodisponibilidad y toxicidad. Así, se requiere conocer no solo “cuánto”, sino también “cómo” está un metal o metaloide en el agua si se quiere evaluar el riesgo ambiental de su presencia en ésta. Como ejemplo ilustrativo basta mencionar el caso del cromo. No es lo mismo que la especie disuelta sea Cr^{3+} que Cr^{6+} . Esta última es cancerígena (Oyarzum *et al.* 2011).

Según Adame y Salín (1993) desde el punto de vista ecológico, podemos hablar de dos tipos de contaminación: una provocada por elementos biodegradables, y otra producida por materiales no biodegradables. Se consideran contaminantes biodegradables aquellos residuos que pueden ser descompuestos por la acción natural de organismos vivos, como lombrices, hongos y bacterias, permitiendo que los nuevos residuos queden disponibles para su nueva incorporación a la naturaleza de una manera útil.

Los contaminantes no biodegradables no pueden ser degradados naturalmente; o bien, si esto es posible sufren una descomposición demasiado lenta. Este factor los hace más peligrosos que los anteriores, ya que su acumulación en la naturaleza es progresiva.

c. Contaminación de aguas

En 1987 la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Comisión Brundtland) advirtió en su informe final, “Nuestro Futuro Común”, que la contaminación del agua era una realidad y que los suministros de agua se estaban sobreutilizando en muchas partes del mundo. Hoy se sabe que la cantidad y la calidad del agua superficial y subterránea y los servicios de soporte vital de los ecosistemas están en peligro, debido al impacto del crecimiento de la población, al éxodo de las poblaciones rurales hacia las ciudades, al aumento de la riqueza y del consumo de recursos, así como al cambio climático. Si esta tendencia continúa, para 2025 1800 millones de personas estarán viviendo en países o regiones con una escasez de agua

total, y dos tercios de la población mundial podrían sufrir estrés hídrico (PNUMA 2007).

En cuanto a la contaminación, uno de los problemas es que la remoción de tierras libera sustancias que al quedar expuestas al aire, producen reacciones químicas con el oxígeno y el agua. El agua ácida de mina que se forma, puede infiltrarse y contaminar los cursos de agua subterránea. En tal sentido, los pasivos ambientales vienen siendo focos de contaminación por agua ácida de mina (Red Muqui 2014).

Las aguas subterráneas pueden verse afectadas por los impactos que emanan de los pasivos. Existen diferentes vías de influencia el cual es más obvio ocurre en las minas que llegan y sobrepasan el nivel freático donde se abre un conducto directo con las aguas subterráneas. Pero también la infiltración natural de las aguas con las aguas de proceso de mina representa una fuente común de contaminación de las aguas subterráneas. Una contaminación también puede ocurrir cuando existe una conexión hidráulica entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas (Sánchez *et al.* 2015).

El bienestar del ser humano y la salud de los ecosistemas están sufriendo en muchos lugares por causa de los cambios del ciclo del agua, causados en su mayor parte por las presiones humanas. La disponibilidad y el uso de agua dulce, así como la conservación de los recursos acuáticos, son fundamentales para el bienestar humano (PNUMA 2007).

La contaminación del agua consiste en una modificación antrópica, de la calidad del agua, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas; así como para los animales domésticos y la vida natural (carta del agua. Consejo de Europa 1968 citado por Orozco *et al.* 2008).

El agua que ha sido retirada, utilizada para algún propósito y retornada, estará contaminada de un modo u otro. El agua de retorno agrícola contiene pesticidas, fertilizantes y sales; el retorno municipal arrastra desechos humanos, farmacéuticos y detergentes; las centrales eléctricas descargan aguas que están a temperaturas elevadas; y la industria contribuye en un amplio rango de contaminantes químicos y de residuos orgánicos. También entran al agua de fuentes naturales y por causas humanas por vías no acuáticas (Masters y Ela 2008).

Un agua está contaminada cuando se ve alterada en su composición o estado directa o indirectamente, como consecuencia de la actividad humana, de tal modo queda menos apta para todos los usos a que va destinada para los que sería apta en su calidad natural (C.E.E. de las naciones unidas 1961, citado por Orozco *et al.* 2008).

De acuerdo a esto se destacan tres aspectos:

- Se parte de la calidad o composición natural del agua, no de agua pura.
- Se mide la contaminación en función del uso al que el agua está destinada.
- Se considera contaminación la provocada de forma directa o indirecta por el hombre.

Los contaminantes del agua pueden ser de naturaleza física, química o biológica (Orozco *et al.* 2008).

- **Física:** calor
- **Químicas inorgánicas:**

Sales: Aniones: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , S^{2-} , Br^- , CN^- , F^- ,....

Cationes: Ca_2^+ , Mg_2^+ , Na^+ , K^+

Ácidos y bases: H_2SO_4 , HNO_3 , HCl , NaOH , KOH

Elementos tóxicos: metales: Hg, Be, Pb, Cu, Cd, Zn, Fe, Mn, Cr.

No metales: As, Sb, Se, B,.....

Elementos radiactivos: ^{226}Ra , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{230}Th

Gases: H_2S , NH_3 , Cl_2 , CO_2 , O_2

Especies minerales no disueltas: Sílice, arcillas

- **Compuestos químicos orgánicos.**

Hidratos de carbono, aminoácidos, proteínas,

Aceites y grasas.

Hydrocarburos (derivados del petróleo).

Jabones y detergentes.

Pesticidas y policlorobifenilos (PCBs).

- **Otros compuestos orgánicos:** fenoles, trihalometanos (THMs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), clorofenoles, nitrosaminas.

- **Bionutrientes:**

Compuestos nitrogenados: NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- y organonitrogenados.

Compuestos fosforados: PO_4^{3-} y organofosforados.

- **Microorganismos:** bacterias, virus, hongos, algas.

Parámetros generales indicadores de contaminación

Orozco *et al.* (2008), consideran como parámetros generales indicadores a los siguientes:

De carácter físico

Características organolépticas

Turbidez y materias en suspensión

Temperatura

Conductividad

De carácter químico

Salinidad y dureza

pH, acidez y alcalinidad

Oxígeno disuelto

Medidores de materia orgánica: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Medidores de materia inorgánica: cationes, aniones, metales.

De carácter radiactivo

Radiación alfa y beta totales

Elementos individuales

De carácter microbiológico

Bacterias, virus, hongos, algas

También se habla de parámetros indicadores de contaminación, para referirse a aquellos que dan información de la presencia o ausencia de determinadas especies contaminantes. El color, el olor o los coliformes fecales (termotolerantes) y totales son un buen ejemplo (Orozco *et al.* 2008).

En DBO en cinco días (DBO₅)

Aguas muy puras DBO₅ < 3 ppm O₂

Aguas intermedias DBO₅ 3-5 ppm O₂

Aguas contaminadas DBO₅ > 8 ppm O₂

Aguas residuales urbanas DBO₅ 100-400 ppm O₂

Industria alimentaria o semejante DBO₅ hasta 10000 ppm O₂

DQO

La relación entre la DBO₅ y la DQO nos da una idea de la naturaleza de los contaminantes orgánicos en el agua. Así los valores DBO₅/DQO < 0.2 indican presencia predominante de contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradables.

DBO₅ y la DQO > 0,6 señalan la presencia predominante de contaminantes orgánicos de naturaleza biodegradable.

La DQO de las aguas superficiales destinadas al abastecimiento debe ser menor a 30 mg O₂/l. En las aguas potables, el límite tolerable del DQO es 5 ppm del O₂.

En aguas potables y naturales se utiliza como oxidante al permanganato de potasio. En aguas residuales se usa al dicromato (Orozco *et al.* 2008).

Por otro lado, las aguas pueden transportar la contaminación por grandes distancias ya sea en cursos superficiales o subterráneos. Pero el papel que juegan las aguas puede ir más allá de lo mencionado, pudiendo además actuar como “inductoras” de un proceso de contaminación. Dos condiciones agravan el problema (Oyarzum *et al.* 2011):

- La existencia de acopios de residuos removibles por la fuerza de las aguas.
- La existencia de balsas o estanques con soluciones ácidas o cianuradas que puedan desbordarse.

Las aguas subterráneas son recargadas por la precipitación que se infiltra a través del suelo y la zona no saturada, y también por el agua que se infiltra desde los lechos de los ríos, lagos, y embalses. Pero a su vez las masas de agua superficiales pueden ser también alimentadas por los acuíferos. Se establecen así una serie de relaciones que están muy condicionadas por factores geológicos, climáticos, topográficos y por supuesto antrópicos, que existen en el área (Oyarzum *et al.* 2011).

d. Impacto ambiental de la minería

Todo cambio que se lleve a cabo en el medio ambiente es adverso para éste, puesto que altera las condiciones iniciales, y afecta a la flora y fauna del medio, o a su configuración fisiográfica o paisaje en mayor o menor grado. La minería es una de las actividades con mayor potencial para afectar al medio ambiente (Oyarzum *et al.* 2011).

La presencia de sulfuros en los residuos mineros y en las labores abiertas y la consecuente formación de drenajes ácidos de mina (DAM) con altos contenidos de metales pesados y arsénico es uno de los grandes problemas ambientales no sólo en el Perú sino en muchas regiones en el mundo (Sánchez *et al.* 2015).

Los efectos ambientales de la minería, comienzan con las excavaciones subterráneas o a cielo abierto. Las primeras, menos visibles, pueden aumentar en órdenes de magnitud la superficie de roca expuesta a reacciones químicas roca/agua/aire. En el caso de los yacimientos metálicos sulfurados, ello favorece la generación de drenaje ácido y la consiguiente solubilización de metales pesados, que pasan al drenaje subterráneo y de éste al superficial. Las excavaciones a cielo abierto, aunque exponen una superficie menor a las mismas reacciones, pueden formar lagos, que puede

convertirse en un intermediario en la contaminación del drenaje subterráneo (Oyarzún 2001).

El tratamiento de los minerales de cobre y de oro puede efectuarse por métodos de lixiviación química o por técnicas pirometalúrgicas, precedidas por su concentración por flotación. La lixiviación se utiliza para los minerales oxidados de cobre, así como para el oro "libre" diseminado en otros minerales. En el caso del cobre, se utiliza ácido sulfúrico, el que lo solubiliza en su forma iónica (Cu^{2+}), de la cual es recuperado mediante reducción con chatarra de hierro o, modernamente, por la acción de complejantes orgánicos y electro obtención. El residuo del proceso de lixiviación del cobre está constituido por residuos ácidos. Este proceso también puede ser aplicado a minerales sulfurados (no oxidados) ricos en calcosina (Cu_2S), en cuyo caso se forman pilas de mineral que se exponen a la acción oxidante de las bacterias (biolixiviación), permitiendo así su solubilización con ayuda de ácido sulfúrico (Oyarzún 2001).

A diferencia de la lixiviación del cobre, que requiere de un medio ácido, la del oro se efectúa en condiciones alcalinas, que son necesarias para la estabilidad del cianuro CN^- , agente complejante del oro. En consecuencia, sus residuos tienen reacción básica (Oyarzún 2001).

El impacto ambiental de la minería se hace ahora más evidente. Hay un avance en el cuidado ambiental de parte de las empresas, pero la actividad de éstas todavía es reactiva, al preferir incrementar su productividad y reducir sus costos y todavía no adquirir una mayor conciencia del impacto del entorno. Las comunidades a su vez no poseen información y no poseen conocimientos suficientes para tomar conciencia del impacto (Plataformas de contrapartes NOVIB Grupo temático medio ambiente 2000).

La minería a través del tiempo ha producido un gran deterioro ambiental, prueba de ello son pasivos dejados en Huancavelica, Ayacucho, Apurímac y Cuzco en donde hay alrededor de 152 minas abandonadas que han contaminado las respectivas cuencas hidrográficas, a través del drenaje ácido de rocas (Yupari s.f.), a ello debemos sumarle los pasivos ambientales de la región Cajamarca como los de Hualgayoc, Cushuro (San Miguel) y Paredones en Chilite.

Además del grave impacto que la minería generan al agua, al suelo, al aire, a la biodiversidad y al paisaje, no son objeto de un control riguroso por parte de las

entidades mineras, ambientales y territoriales, a lo que se suma que por ser consideradas de utilidad pública e interés social están ocasionando una serie de conflictos sociales en muchas regiones del país, por cuanto el estado privilegia a dichas actividades sobre los derechos fundamentales de las comunidades (Negrete 2013).

Las operaciones de procesado de minerales generan importantes emisiones de gases y efluentes químicos. En cuanto a efluentes químicos estos se relacionan preferentemente con la oxidación de sulfuros y la subsecuente lixiviación de metales pesados a partir de escombreras o balsas (relaves) de mineral (Oyarzum *et al.* 2011).

En las minas abiertas, gigantescas palas mecánicas retiran las rocas y el suelo, donde la destrucción ecológica es total. Aunque se recuperen (reforesten) estas áreas, se necesitan varias décadas para que se asemeje al ecosistema original. En las zonas áridas, la falta de agua impide el restablecimiento de los ecosistemas, por lo que las zonas de minas abiertas se convertirán en desiertos permanentes (Nebel y Wriarth 1999).

La explotación genera un gran impacto, se va generando en mayor o menor medida contaminación alrededor de la explotación. Será también la etapa durante la cual podrán producirse escapes accidentales de efluentes tóxicos, y otros eventos accidentales que generen impactos aún mayores de lo previsto (Oyarzum *et al.* 2011).

Uno de los problemas más comunes de la minería es el drenaje ácido. Es también el más caro de remediar. El solo proceso de acidez destruye ambientes acuáticos, mata peces y cualquier vida acuática y transforma el agua en no apta para beber. Un ejemplo es la piritita que se oxida formando agua ácida con pH de 3,5. Sólo como ejemplo, una mina que fue del imperio romano, ubicada en Gran Bretaña, sigue generando drenaje ácido de mina, dos mil años después de cerrada (Deza 2002).

En los 80s e inicios de los 90s se había establecido que en ocho de las 16 zonas ambientalmente críticas, las actividades mineras eran el principal factor degradante y en dos de ellas (Cerro de Pasco- La Oroya y Tambo-Ilo-Locumba) las actividades mineras y metalúrgicas eran las únicas causantes de contaminación ambiental. Especial mención merece los pasivos generados por la pequeña minería y minería artesanal de la sierra y en ecosistemas frágiles de la Amazonía (Yupari s.f.).

La formación de Drenaje Ácido de Mina (DAM) se debe a la oxidación de minerales sulfúricos en presencia del agua y oxígeno. Las aguas superficiales se pueden contaminar debido a la erosión y descarga de sedimentos y materiales provenientes de los tajos abiertos, pilas de lixiviación, tanques de relaves y desmontes, hacia los cuerpos acuáticos. Una elevada concentración de sedimentos o de contaminantes en el sedimento en el agua pueden producir efectos adversos a la vida acuática (Sánchez *et al.* 2015).

La empresa Minera Yanacocha S.R.L. inició sus actividades en Cajamarca en 1993 y desde entonces ha venido intensificando sus tasas de producción. Hasta la fecha, ha abierto las áreas de explotación denominadas Carachugo, Maqui Maqui, Yanacocha y La Quinoa, y actualmente, tiene planes para cerrar la mina de Maqui Maqui y ampliar la explotación a otras áreas aledañas. Sus operaciones incluyen la explotación del mineral y su procesamiento hasta la obtención de oro y plata en forma de Doré. La producción actual supera los dos millones de onzas de oro al año para lo cual se remueven cerca de 400 000 t diarias de materiales. Como subproducto de las operaciones se obtiene también una cantidad variable de mercurio (Ingetec S.A. 2003).

La alta tecnología aplicada en la minería actual no sólo ha reducido la posibilidad de generar empleo y realizar compras locales sino que ha ampliado la magnitud de las operaciones mineras (3 a 5 veces) y disminuido el periodo promedio de vida útil de las minas (Plataformas de contrapartes NOVIB Grupo temático medio ambiente 2000).

e. Contaminación del agua por la actividad minera

La explotación minera actual predominante es a tajo abierto, removiendo miles de toneladas de suelo, excavaciones profundas que pueden afectar aguas subterráneas y acuíferos, además de la eliminación de cobertura vegetal. El procesamiento del mineral consume grandes cantidades de energía y de agua. Las empresas señalan que el agua utilizada en sus procesos industriales se recupera y reutiliza. Sin embargo, hay agua que luego de procesada se devuelve a los ríos y otra que se requiere para garantizar las reacciones químicas necesarias (Red Muqui 2014).

La minería provoca impactos, tanto directos como indirectos, en las condiciones físicas iniciales de las aguas, que incluyen desde los más obvios como son los

descensos de niveles o desvío de cauces hasta otros menos evidentes como la alteración en la tasa de entrada de agua en el acuífero (recarga); o la variación en la facilidad con la que el agua fluye a través del acuífero (conductividad hidráulica). La alteración de las condiciones hidrológicas favorece la dispersión de material contaminante, e incrementa el área afectada. La minería, tanto subterránea como a cielo abierto, genera un problema con el aprovechamiento del agua. Las excavaciones se realizan sobre roca seca, lo que implica la necesidad de deprimir y secar los acuíferos locales (Oyarzum *et al.* 2011).

Después de remover grandes cantidades de rocas, la moderna minería usa compuestos altamente tóxicos como cianuro o ácido sulfúrico, para separar los metales por lixiviación. Consecuentemente, los relaves contienen mucho material de desecho, con metales pesados, material ácido y residuos químicos en proceso. La contaminación ocurre cuando los ríos entran en contacto con el material de mina. La contaminación por minas genera el DAM, contaminación por metales pesados, erosión y sedimentación (Deza 2002).

La contaminación del agua se debe a la liberación de contaminantes tóxicos de residuos mineros y obras mineras, los tajos abiertos y los socavones. El potencial de liberación de estos elementos y el riesgo asociado dependen de las condiciones específicas del sitio, incluyendo el diseño y la operación de extracción, del procesamiento, la gestión de los residuos, la calidad de las medidas de mitigación, aspectos ambientales como el clima y la cercanía a posibles receptores (Sánchez *et al.* 2015).

Los problemas en relación al agua y la actividad minera tienen varias aristas. Una de ellas es la desaparición de la cobertura vegetal y del suelo. Si se trata de un ecosistema donde se origina un curso de agua, la pérdida de ambos elementos puede tener impactos significativos en el ecosistema (Red Muqui 2014).

La demanda y consumo de agua en la minería, y la ocupación/colmatación de zonas de masas de agua (cauces, lagunas y lagos, o incluso glaciares) conduce a una pérdida de reservas, y con ello a una pérdida del recurso (Oyarzum *et al.* 2011).

Además de las diversas formas de contaminación de aguas, suelos y aire; la actividad minera también afecta diversos ecosistemas, incluyéndose la desaparición de lagunas.

El Reglamento de Protección Ambiental del Sector Minero-Metalúrgico (D.S. N° 016-93-EM), en su artículo 37 establece que para la construcción de depósitos de relaves y/o escorias se podrá utilizar las quebradas o cuencas naturales, siempre que los estudios demuestren que se han tomado las previsiones necesarias para evitar la contaminación de los cursos de agua (Red Muqui 2014).

La minería no sólo extrae el mineral que directamente nos interesa sino también el denominado “estéril”, aquella parte de la roca en la que encaja la mineralización y que no tiene interés económico. Incluso el “mineral” que extraemos a menudo está íntimamente unido a otros que no interesan (Oyarzum *et al.* 2011).

La minería con lixiviación de cianuro, no fue inventada para proteger el ambiente, sino para optimizar los procesos de extracción de oro y por tanto incrementar la rentabilidad de las empresas (Deza 2002).

Los principales mecanismos de transporte a las aguas superficiales y subterráneas son las descargas directas de las aguas de proceso, las aguas de mina, el escurrimiento superficial y la infiltración. Impactos adversos también al agua superficial lo conforman la descarga superficial de sedimentos contaminados, la reducción del pH, la destrucción de ecosistemas hídricos y la contaminación del agua potable (Sánchez *et al.* 2015).

El material minado contiene muchas veces Pb, Cr, Hg, As, Cd y otros metales pesados tóxicos. El cianuro y ácido sulfúrico, muy usados en la minería, disuelve los metales pesados, liberándolos peligrosamente y son capturados por los cursos de agua o las lluvias, contaminando ríos y aguas subterráneas. El drenaje ácido al entrar en contacto con los metales pesados, los disuelve y los incorpora a los ecosistemas (Deza 2002).

La remoción de suelos, según el tamaño y la profundidad del tajo y el área donde se realice, puede afectar las aguas subterráneas y los acuíferos, alterando el funcionamiento de la red de la que forma parte y que permite que el agua fluya y no escasee en temporadas secas (Red Muqui 2014). Las aguas superficiales están muy relacionadas con las subterráneas. Esto hace que tal pérdida del recurso pueda afectar notablemente a las aguas subterráneas, de manera que se produzca una alteración en las condiciones hidrogeológicas originales, tales como un descenso del nivel freático y la alteración de flujos locales. Estas modificaciones se sumarían a las ya provocadas

por la actividad extractiva de manera directa en las aguas subterráneas (Oyarzum *et al.* 2011).

No existe mina en el mundo, por más sofisticada que sea, que al término de por lo menos 20 años no contamine el agua con drenaje ácido. El drenaje ácido es más peligroso que el mismo cianuro. Los desechos mineros contienen metales pesados tóxicos y material ácido. Los relaves deberían ser cubiertos con arcillas impermeables y asegurarse totalmente que los muros no colapsen. De otra forma, todos los cursos de agua inferiores sufrirán las consecuencias (Deza 2002).

El Distrito Minero de Yanacocha contiene varios pozos abiertos que se extienden por debajo de la napa freática. Éstos deben ser desaguados para ser minados. Las dos plantas de tratamiento de agua ácida de la mina (AWTPs Quinua y Yanacocha Norte) tratan agua subterránea ácida del desaguado de pozos así como agua filtrada de escoria elevando el pH y precipitando metales. Agua tratada de los AWTPs es descargada a la quebrada Pampa Larga en cuenca Honda y quebrada Callejón en el río Grande superior en la cuenca Porcón (Atkins *et al.* 2005).

f. Metales pesados

Son aquellos elementos químicos con una densidad superior a $6,0 \text{ g cm}^{-3}$, aproximadamente. Excepciones son el titanio con una densidad inferior ($4,5 \text{ g cm}^{-3}$) y el arsénico (As) que es un no metal, y que por su elevada densidad ($5,7 \text{ g cm}^{-3}$) y por algunas propiedades de carácter ambiental, se suele clasificar como metal pesado (Doménech y Peral 2012).

Los metales pesados son de toxicidad extrema por que como iones o como ciertos compuestos, son solubles en agua y el organismo los absorbe con facilidad. Hasta dosis muy pequeñas producen consecuencias fisiológicas o neuronales graves (Nebel y Wrigth 1999). Son una amenaza para la salud humana y son acumulados en los ecosistemas. Niveles altos son cancerígenos, se acumulan en la sangre. También eliminan la vida acuática, matando o esterilizando las poblaciones (Deza 2002).

La concentración de metales pesados procedentes de la meteorización química de las rocas y capaces de entrar en los ciclos naturales se encuentra estacionaria a escalas cortas de tiempo. Sin embargo, la emisión antropogénica está dando lugar a un

aumento continuo de la concentración ambiental de algunos de estos metales. Destacando las siguientes actividades (Doménech y Peral 2012):

- Extracción de minerales
- Fundiciones
- Industria metalúrgica
- Otras industrias como: electrónica, industria química de pinturas, pigmentos, materiales plásticos, catalizadores y electrodos que emiten Cu, Sn, Cd, Ni, Hg, Pt, Ru, Pd, As, Sb, Se, Mo, Zn.
- Gestión de residuos, como la incineración y lixiviados, disposición de lodos.
- Corrosión metálica
- Agricultura y ganadería
- Industria forestal y maderera
- Quema de combustible fósiles.

La mayoría de los metales son tóxicos incluidos el Al, Ar, Be, Bi, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mn, Hg, Ni, Se, Sr, Sn, Ti y el Zn. Los metales no son degradables en absoluto, lo que significa que son prácticamente indestructibles en el medio (Masters y Ela 2008). A bajas concentraciones quedan adsorbidos como complejos de esfera interna (adsorción específica) quedando de esta manera fuertemente retenidos. A altas concentraciones se produce además la adsorción por intercambio iónico, constituyendo ésta la fracción lábil, susceptible de movilizarse de nuevo al agua (Oyarzum *et al.* 2011).

Los metales pesados al entrar en las plantas primero se almacenan en raíces, después en hojas, ramas y granos. Ejemplo de metales pesados son Cu, Fe, Pl, Zn, Ag, Au, Al, Hg, Cr, As, Cd, Ta, Va, etc. No son biodegradables. Si bien algunos como Fe, Cu, Zn, Co, son esenciales para la vida humana, como oligoelementos; la concentración de estos por sobre límites permisibles, los hace altamente tóxicos (Deza 2002).

Los metales pesados más peligrosos son el Pb, Hg, As, Cd, Sn, Cr, Zn y Cu. Son muy utilizados en la industria, en particular en los talleres de repujado y chapado y en baterías y aparatos electrónicos. También se emplean en plaguicidas y medicinas, en pigmentos, barnices, tintas y colorantes (Nebel y Wrigth 1999).

Los metales pesados (Pb, Hg, Cd, Cr) presentes en aguas residuales no se pueden eliminar sus iones metálicos disueltos ni tampoco es posible descomponer los compuestos sintéticos orgánicos no biodegradables. Tales elementos y compuestos, cuando están presentes, acabaran en los biosólidos o la composta si se adhieren a la materia orgánica, o permanecerán en solución acuosa. Como estas sustancias son muy toxicas, la contaminación con ellos impide tanto el uso del agua para riego como el empleo de biosólidos como fertilizantes (Nebel y Wrigth 1999).

Principales metales pesados

- **El plomo.**

El plomo es importante por su amplia utilización en una gran variedad de procesos industriales y su toxicidad aguda y crónica. Su resistencia a la corrosión atmosférica y a la acción de los ácidos, especialmente al sulfúrico, lo hace muy útil en la edificación, en las instalaciones de fábricas de productos químicos y tuberías y envolturas de cables (Badillo 1997).

No es amenaza como vapor y su mayor peligro cuando se halla disuelto es su forma iónica Pb_2^+ . Disuelto en la sangre se transfiere a los órganos vitales, incluidos los riñones y el cerebro y pasa rápidamente al feto. Los niños y los fetos son los que mayor riesgo corren, puesto que su masa encefálica está en rápido desarrollo y puede causar daños cerebrales importantes y permanentes (Masters y Ela 2008).

Las fuentes son los gases de escape de los automóviles que usan gasolina con plomo, las pinturas (Orozco *et al.* 2008). Es emitido a la atmosfera en forma de partículas inorgánicas. Gran parte de éste es eliminado a la atmosfera, asentándose de inmediato en las proximidades de la fuente (Masters y Ela 2008).

El contenido del plomo en casi todas las aguas varía entre 0,001 y 0,01 $\mu\text{g ml}^{-1}$, cantidad muy inferior al límite establecido por la OMS el cual es de 0,1 $\mu\text{g ml}^{-1}$. Sin embargo, en zonas de aguas blandas con pH ligeramente ácido, puede llegar a disolverse el plomo de las tuberías. La mayor parte que se encuentra en las aguas proviene de las emisiones vehiculares, precipitado de la atmosfera. En las ciudades, el transporte de Pb se lleva a cabo por la lluvia y las aguas negras (100 -

500 $\mu\text{g L}^{-1}$ en áreas industriales). Las emisiones de los procesos de minas, refinadoras y fundidoras también pueden contaminar las aguas superficiales (Badillo 1997).

Aunque la mayoría de exposiciones humanas son por inhalación, puede también ser ingeridas después que el plomo del aire se deposita en la tierra, el agua y comidas crudas como hojas, verduras y frutas. También puede ser ingerida cuando los sistemas de agua son contaminados (Masters y Ela 2008).

Llegado al suelo permanece ahí indefinidamente y sólo una pequeña parte es transportada por la lluvia. En suelos, las concentraciones varían de 2 a 200 $\mu\text{g g}^{-1}$, mientras que en suelos de sitios urbanos puede alcanzar valores entre 1600 a 2400 $\mu\text{g g}^{-1}$, constituyendo un serio problema para la salud. Estas concentraciones también suelen ser elevadas en suelos cercanos a carreteras, industrias y fundidoras (Badillo 1997).

A pesar de la eliminación de la mayoría de las emisiones de plomo en automóviles, la tierra alrededor de las carreteras todavía está sumamente contaminada y puede pasar al aire cuando se remueva. También puede encontrarse dentro de los hogares donde puede terminar concentrado en las alfombras listo para llegar al aire una vez más. Limpiarse los pies en un felpudo es una manera fácil y efectiva de ayudar a reducir este peligro (Masters y Ela 2008).

- **El cadmio**

Se encuentra en la naturaleza asociado a muchos minerales. El hombre lo ha liberado desde que empezó a fundir y refinar metales como Zn, Pb y Cu. Está presente en casi todos los concentrados de Zn, los que contienen por lo menos de 0,1 a 0,3 % de Cd. En los concentrados de Pb y Cu se puede encontrar concentraciones más bajas. Es considerado como uno de los metales más tóxicos y se acumula en los seres vivos permanentemente, por lo que ha ocasionado intoxicaciones masivas en humanos (Badillo 1997).

Las principales fuentes de contaminación son la fabricación de hierro y acero, la industria del carbón y del aceite. Alimentos como el pescado, los mariscos y el té negro. En algunas pinturas, pigmentos, tuberías galvanizadas, tubos de escape.

Las concentraciones más altas se encuentran en el humo del tabaco (Orozco *et al.* 2008).

La mayor parte que se emite a la atmosfera se deposita en la tierra y en las aguas de la región cercana a la fuente. A partir de ésta, es ingerido por los organismos y transportado a todos los eslabones de las cadenas alimenticias. En las aguas superficiales, se presenta como ion libre y en su solubilidad influyen la dureza, el pH, los complejos solubles y los sulfuros coloidales de éstas. La contaminación del agua potable puede ocurrir por la presencia de impurezas de Cd en las tuberías galvanizadas de Zn o en la soldadura, en los calentadores de agua y grifos. También ha ocurrido contaminación del agua potable por la filtración de Cd a los mantos freáticos a partir de los lodos que contengan óxidos de Cd (Badillo 1997).

- **El mercurio (Hg)**

Es un elemento que tiene compuestos o especies que son tóxicas en bajas concentraciones. No tiene un papel biológico específico, lo que hace que su incorporación al organismo no resulte necesaria, y que a partir de ciertas dosis produzca efectos adversos sobre nuestra salud (Oyarzum *et al.* 2011).

Los niveles de Hg en el ambiente han aumentado considerablemente desde el inicio de la era industrial. Se encuentra en diversos medios y alimentos (especialmente el pescado) en todas partes del mundo a niveles que afectan adversamente a los humanos y la vida silvestre. La actividad del hombre ha generalizado los casos de exposición, y las prácticas del pasado han dejado un legado de Hg en vertederos, los desechos de la minería y los emplazamientos, suelos y sedimentos industriales contaminados. Hasta las regiones donde se registran emisiones mínimas de Hg, como el Ártico, se han visto adversamente afectadas debido al transporte transcontinental y mundial del Hg (PNUMA 2005).

El mercurio procede de emisiones naturales (actividad volcánica, emisiones por suelos, emisiones durante incendios forestales) como de antrópicas (minería, metalurgia, plantas clorocáusticas, combustión de carbón, etc.), pasa a la atmósfera en forma de vapor elemental ($Hg_{0\text{gas}}$), donde tiene un tiempo de residencia de 0.5 -1.7 años (Holmes *et al.* citado por Oyarzum *et al.* 2011).

Las fuentes antropógenas provienen de los combustibles fósiles, (carbón, para la producción de energía); la industria minera y la extracción de minerales y las prácticas de eliminación de desechos. En los países en que se practica la minería del mercurio o se utiliza para la minería del oro o la plata, estas fuentes pueden ser muy importantes. Otros procesos son: la producción de cemento, la producción de hierro y acero, zinc y oro. Algunas fuentes de liberaciones que se producen a raíz de la extracción y el uso intencional comprenden la minería del mercurio; la minería del oro y la plata; la producción de cloro alcalino; el uso de lámparas fluorescentes, faros de automóviles, manómetros, termostatos, termómetros y otros instrumentos; las amalgamas dentales; la fabricación de productos que contienen mercurio; el tratamiento de desechos y la incineración de productos que contienen mercurio; los vertederos y la cremación (PNUMA 2005).

Hay tres especies mercuriales que deben preocuparnos, el mercurio en fase gaseosa (Hg_{gas}), el mercurio oxidado (Hg^{2+}) y sobre todo, el metilmercurio (CH_3Hg^+). El ión Hg^{2+} puede combinarse con el azufre del suelo para dar origen a cinabrio o metacinabrio (polimorfo del cinabrio) que se forma como consecuencia de actividad biológica (Baldi citado por Oyarzum *et al.* 2011), o puede transformarse en complejos orgánicos con grupos metil, que dan lugar al metilmercurio, complejo que le confiere al mercurio una elevadísima toxicidad. Para hablar de “contaminación” el mercurio debería estar “disuelto” en agua en su forma catiónica (oxidada) como Hg^{2+} o como metilmercurio (CH_3Hg^+).

El mercurio líquido no es muy tóxico y la mayoría de lo que se ha ingerido se excreta por el cuerpo. En forma de vapor es altamente tóxico, penetra en los pulmones donde se difunde a través del torrente sanguíneo que luego alcanza el cerebro. Las fuentes de contaminación más habituales están en ciertos alimentos, como el marisco o el atún, los cuales toman y acumulan el mercurio de entornos marinos contaminados por dicho metal; otras fuentes posibles son ciertos plásticos, los colores de impresión e insecticidas (Masters y Ela 2008).

La fuente más importante de contaminación con mercurio son las emisiones al aire, pero se producen también emisiones de diversas fuentes que van directamente al agua y a la tierra. Una vez liberado, permanece en el ambiente,

circulando entre el aire, el agua, los sedimentos, el suelo y la biota en diversas formas (PNUMA 2005).

La forma en que se libera el mercurio varía según los tipos de fuentes y otros factores. La mayoría de las emisiones al aire son en forma de mercurio elemental gaseoso, que es transportado en todo el mundo a regiones alejadas de las fuentes de emisión. Las emisiones restantes se producen en forma de mercurio gaseoso, inorgánico, iónico (como el cloruro de mercurio) o consolidado en partículas emitidas (PNUMA 2005).

El mercurio elemental en la atmósfera puede transformarse en mercurio iónico, que crea una vía importante para el depósito del mercurio elemental emitido. Una vez depositado, el mercurio puede cambiar de forma (principalmente por metabolismo microbiano) y convertirse en metilmercurio, que tiene la capacidad de acumularse en organismos (bioacumulación) y concentrarse en las cadenas alimentarias (biomagnificación), especialmente en la cadena alimentaria acuática (peces y mamíferos marinos). El metilmercurio es el que causa mayor preocupación. Casi todo el mercurio que se encuentra en los peces es metilmercurio (PNUMA 2005).

El mercurio tiene diversos efectos adversos, importantes y documentados, sobre la salud humana y el medio ambiente. El mercurio y sus compuestos son sumamente tóxicos, Especialmente para el sistema nervioso en desarrollo. El nivel de toxicidad en seres humanos y otros organismos varía según la forma química, la cantidad, la vía de exposición y la vulnerabilidad de la persona expuesta. Los seres humanos pueden estar expuestos al mercurio de diversas formas, incluido, entre otras cosas, el consumo de pescado, los usos ocupacionales y domésticos, las amalgamas dentales y las vacunas que contienen mercurio (PNUMA 2005).

El metilmercurio tiene efectos adversos en humanos y la vida silvestre. Atraviesa rápidamente la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica, y es un neurotóxico que puede afectar muy negativamente el desarrollo del cerebro. La presencia de metilmercurio en las dietas de mujeres embarazadas puede surtir efectos adversos sutiles pero persistentes en el desarrollo del niño, que se observan desde el comienzo de la edad escolar. Algunos estudios indican, además,

que los pequeños aumentos en la exposición al metilmercurio pueden afectar negativamente al sistema cardiovascular. Un número importantísimo de personas y animales silvestres están actualmente expuestos a niveles que plantean riesgos de este tipo y posiblemente otros efectos adversos (PNUMA 2005).

- **El cromo**

El cromo nunca se halla en estado libre en la naturaleza, aunque sus compuestos están muy diseminados. Algunos minerales y piedras preciosas deben su color al cromo. La fuente mineral más importante del cromo es la cromita ($\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$) y se utiliza con fines comerciales. El cromo y sus compuestos se usan en colorantes, pigmentos y mordientes de teñidos. Es primordial considerar su toxicidad en el medio laboral y en el medio ambiente, pues los polvos, humos, vapores y desechos de cromo ocasionan desde irritaciones hasta cánceres (Figuroa 1997).

El cromo siempre ha estado presente en el suelo, aire y agua. En el agua dulce está en concentraciones de $0,1$ a $6,0 \mu\text{g L}^{-1}$, en el agua de mar, de $0,2$ a $50,0 \mu\text{g L}^{-1}$; en el suelo de 5 a $1500 \mu\text{g kg}^{-1}$ (Figuroa 1997).

- **El arsénico**

Se encuentra libre y combinado en muchos minerales (más de 150 minerales lo contienen). Se encuentra frecuentemente en aguas naturales a las que llega por la erosión de las rocas superficiales y volcánicas. Por lo general las aguas superficiales tienen bajos contenidos de arsénico. En vertientes calientes, dichas concentraciones pueden ser muy elevadas. También se han encontrado concentraciones muy elevadas en aguas subterráneas destinadas para el consumo humano en Argentina, Chile, Taiwán, Estados Unidos, Inglaterra y México (Castro 1997).

La mayor parte del arsénico que existe en el agua y en el medio ambiente proviene de la actividad humana. Los productos generados por el hombre incluyen el arsénico metálico, el pentóxido y el trióxido (As_2O_5 y As_2O_3), los arseniatos de calcio y plomo, $\text{Ca}_3(\text{As}_4)_2$, $\text{Pb}_3(\text{As}_4)_2$; los arsenicales orgánicos, etc. Estas sustancias pasan al medio ambiente durante su empleo como insecticidas o

herbicidas. También se emplean en esterilizantes del suelo, como preservadores de madera o como antiparasitarios en baños para ovejas y cabras (Castro 1997).

- **El zinc.**

Este metal en las rocas de la corteza se distribuye de la siguiente forma:

- En las rocas de origen ígneo, principalmente en los basaltos.
- En las rocas de origen sedimentario es abundante en los esquistos y en los minerales de naturaleza arcillosa.

Las formas más comunes del zinc son: el sulfuro (SZn), de mayor solubilidad que el sulfuro de Cu, el carbonato (CO_3Zn) y diversos silicatos.

Entre los metales pesados, el zinc es uno de los más móviles, aunque esta movilidad varía en función de su solubilidad, que a su vez depende muy directamente del pH.

A pH bajo la solubilidad es alta, haciéndose máxima aproximadamente a pH 4; por encima de estos niveles la solubilidad va decreciendo, hasta alcanzar valores prácticamente nulos en los suelos muy básicos (Seoáñez 1999).

- **El cobre**

Como componente de los minerales de la corteza terrestre, el cobre se encuentra fundamentalmente en forma de sulfuros de naturaleza simple, o junto a otros metales, formando sulfuros complejos. Aparece también como parte de determinados carbonatos y silicatos hidratados.

La movilidad del cobre en el suelo es muy reducida, ya que casi siempre es retenido energéticamente.

La solubilidad está ligada al pH; a pH alto el contenido de Cu^{2+} , especie soluble en la solución suelo, se reduce, produciendo un descenso en la solubilidad del cobre total. Si el suelo es ácido, arenoso y muy lavado, el cobre es muy escaso.

g. Fuentes de contaminación de metales pesados

Las fuentes antropogénicas principales de metales pesados son la minería, la fundición y el refinado, que implican arrancar los metales de sus menas y fundirlos y refinarlos hasta obtenerlos y convertirlos en bienes de consumo. El vertido de aguas residuales de determinadas industrias siderometalúrgicas, tratamiento de superficies, curtidos, son ejemplos clásicos de contaminación por metales pesados (Orozco *et al.* 2008).

En algunos casos, la utilización de algunos productos implica la liberación directa de metales, por ejemplo algunos fungicidas, aditivos de gasolina.

La mayoría de los contaminantes metálicos alcanzan las aguas superficiales y subálveas. Los residuos de muchas operaciones industriales que contienen metales se encuentran en forma líquida y alcanzan rápidamente las aguas naturales. Además, se liberan al aire, cantidades significativas de muchos metales que son de nuevo transportados por las lluvias a la superficie terrestre. La escorrentía agrícola, los residuos mineros y el alcantarillado doméstico contribuyen también a las concentraciones de metales que se encuentran en las aguas naturales (Orozco *et al.* 2008).

El arsénico (As), el bario (Ba), el cadmio (Cd), el cobre (Cu), el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el selenio (Se) tienen como fuentes a la minería (Orozco *et al.* 2008). El arsénico, el antimonio y los fluoruros a menudo provienen de depósitos minerales naturales a través de corrientes subterráneas (Masters y Ela 2008).

2.3. Definición de términos básicos

Metales pesados. Son unos de los contaminantes ambientales más peligrosos, debido a que no son biodegradables y a su potencial de bioacumulación en los organismos vivos. Entre ellos destacan por su toxicidad y su mayor presencia en el medio ambiente el mercurio, el cadmio y el plomo (Orozco *et al.* 2008).

Los metales pesados (Pb, Cd y Zn) afectan al crecimiento de las plantas. El Zn y el Cd son más tóxicos que el Pb. Los metales pesados por lo general se encuentran en forma de sulfatos ($ZnSO_4$, $CdSO_4$) y las plantas los absorben con facilidad. Se ha encontrado que las paredes de las células de la raíz desempeñan un papel importante en la capacidad de absorción al compuesto metálico (Adame y Salín 1993).

Metal pesado disuelto. Aquellos correspondientes a una muestra no acidificada que se ha filtrado en el momento de la recolección a través de una membrana de 0,45 micras, acidificando posteriormente la muestra con ácido nítrico a $\text{pH} < 2$.

Metales suspendidos. Son aquellos retenidos en la membrana después de filtrada la muestra anterior.

Metales totales. Se refieren a la concentración de metales determinados en una muestra sin filtrar, después de una digestión vigorosa, o a la suma de los metales en la fase disuelta y la fracción suspendida (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater citado por Gómez 2011).

Impacto ambiental.

Un impacto ambiental se produce cuando una acción o actividad implica una alteración, negativa o positiva, en el medio o en alguno de sus componentes del medio (sistemas naturales y transformados y de sus recursos). Esta acción o actividad puede ser un programa, un proyecto de inversión, una ley o una disposición administrativa con repercusiones ambientales (Andía 2006).

También se define como el cambio en un parámetro ambiental, en un determinado periodo y en una determinada área, que resulta de una actividad dada, comparado con la situación que ocurriría si esa actividad no hubiera sido iniciada (Wathern citado por Andía 2006).

Estándar de calidad ambiental (ECA).

Es una medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente (Andía 2006). Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y políticas públicas. Es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental.

Límite máximo permisible (LMP).

Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedida puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente (Andía 2006). Es el nivel de concentración de un contaminante por debajo del cual no hay daño a la salud y el ecosistema y no afecta el bienestar de las poblaciones. Sin embargo, su establecimiento en países desarrollados es producto de negociaciones entre los generadores, el estado y los afectados por la contaminación.

Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

3.1. 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 27 cursos hídricos: dos ríos y 25 quebradas. Gran parte de esta zona está ocupada actualmente por instalaciones mineras.

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, a unos 7600 metros corriente abajo desde su nacimiento, el que se ubica a su margen izquierda. Asimismo recibe aportes de las quebradas Quishuar Corral, Vizcachayoc, Las Torres, La Rata, Hualtipampa y la Patucha. Su longitud estimada es de 12,35 km. El área que drena este río es de aproximadamente 73,25 km² (INRENA 2007).

Tabla 1. Puntos de monitoreo de aguas

Punto	Código	Ubicación	Coordenadas UTM	Altitud msnm
1	QCBB	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	QQC	Quebrada Quishuar Corral	773041E 9222666N	3400
5	RGPM3	Río Grande, después de la unión de las quebradas Encajón, Quishuar-Corral	772166E 9222041N	3380
6	QVZ2	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

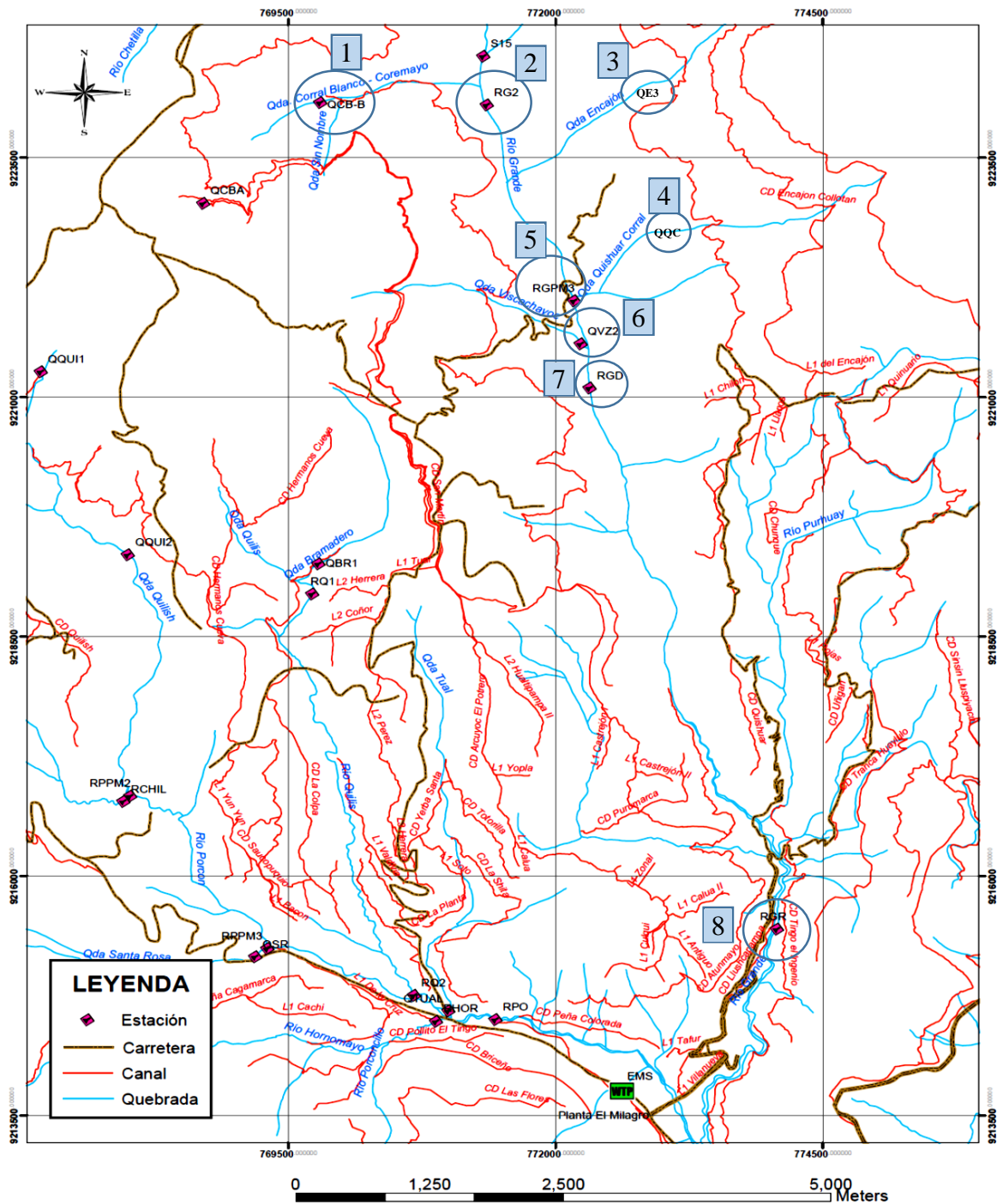


Figura 1. Mapa de la subcuenca del río Grande y los puntos de monitoreo de acuerdo a la tabla 1.

Todos los puntos de monitoreo confluyen en la planta de tratamiento de aguas “El Milagro”, siendo el punto RGR, el cual recibe las aguas provenientes del río Grande y sus afluentes, dejando ingresar únicamente el volumen autorizado a dicha planta, el resto de agua circula libremente por el río Mashcón, cuyo uso principal es el regadío (Figura 1).

3.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

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”) que tienen impacto directo de la actividad minera.

La toma de muestras se hizo de acuerdo al protocolo de Monitoreo de calidad de aguas, establecido por el D.S. N° 059-93-EM del 16 de diciembre de 1993 (Reglamento de protección ambiental para las actividades mineras).

Se prepararon los frascos de muestreo, según la lista de parámetros a evaluar. Se colectaron las muestras de agua y se preservaron de acuerdo al tipo de parámetro, siguiendo las instrucciones generales de preservación, etiquetado, embalaje y transporte de muestras. Se rotularon los frascos, usando plumón de tinta indeleble y se cubrió la etiqueta con cinta adhesiva transparente.

Las muestras de agua preservadas y rotuladas, se colocaron en un cooler con refrigerante (ice pack), para asegurar su llegada al laboratorio en condiciones de conservación.

La toma de muestra se realizó en el centro de la corriente, en dirección opuesta al flujo del agua, evitando las áreas de turbulencia excesiva y



Figura 2. Zona de toma de muestra en el río Grande. Punto RG2 considerando la profundidad y la velocidad de la corriente (figura 2).

Para la determinación de metales se usó el Espectrofotómetro de absorción atómica. Para la evaluación de la concentración de metales pesados se utilizó una tabla de doble entrada donde se registró el tipo y la muestra, de acuerdo a su concentración, teniendo en cuenta el número de muestras estudiadas.

La recolección de muestras se hizo desde diciembre de 2004 a noviembre de 2005.

En cada punto se tomó una muestra cada treinta días, tanto en la estación seca (mayo-noviembre) como en la estación lluviosa (diciembre - abril).

3.3. Variables en estudio y su Operacionalización.

Según la hipótesis planteada: La concentración de metales pesados por encima de los Estándares nacionales de calidad ambiental tiene relación con la actividad minera, las variables fueron:

Variable **independiente**. Actividad minera a cielo abierto que se viene desarrollando en la cabecera de cuenca del río Grande.

Variable **dependiente**. Concentración de metales pesados provenientes de la actividad minera.

Tabla 2. Operacionalización de variables

VARIABLES DEFINICIÓN CONCEPTUAL		INDICADORES
Independiente	<ul style="list-style-type: none"> • Conjunto de actividades, especialmente explotación y lixiviación. Los principales agentes contaminantes son: • Gran movimiento de tierras por las explosiones y la maquinaria pesada que produce un alto impacto al medio ambiente. • La utilización de grandes cantidades de cianuro de sodio que permite recuperar el oro del resto de material removido 	Distancia en metros a las operaciones mineras.
Actividad minera a cielo abierto.		
Dependiente	Cantidad de sólidos dentro del líquido de metales pesados	Nivel de concentración (ppm): Aluminio, arsénico, hierro, cadmio, mercurio, plomo, Zinc y manganeso.

3.4. Tratamiento y análisis de la información

Los resultados de laboratorio fueron ingresados al software Excel para su procesamiento, obteniéndose los promedios mensuales y anuales de cada metal pesado y la tendencia de su presencia durante el periodo de evaluación, diciembre de 2004 a noviembre de 2005.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

De acuerdo a las evaluaciones realizadas, se comprobó que las aguas del río Grande y sus tributarios, todas contienen metales pesados en diferentes concentraciones, existiendo cierta variación entre la estación seca (mayo – noviembre) y la estación húmeda o lluviosa (diciembre – abril). En la estación seca, cuatro metales pesados presentaron concentración superiores con relación a la estación húmeda, estos fueron el aluminio disuelto, el mercurio total, el zinc disuelto y el manganeso disuelto (tabla 3).

Los metales presentes en el agua constituyen elementos extraños a ella, en tal sentido su presencia debe a una fuente externa a ella 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). Esto explica el porqué de su presencia, además de la variación en su concentración en un curso de agua en diferentes momentos.

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 servir como referente para estudios posteriores, en los cuales se pueda verificar si estas concentraciones han variado con el tiempo.

Tabla 3. Concentración promedio de metales pesados (mg L⁻¹) por estación climática en las aguas del río Grande y sus tributarios.

N°	PUNTOS DE MONITOREO	ESTACIÓN	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	QCBB	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	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
		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
3	QE3	SECA	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
		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
4	QQC	SECA	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
		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
5	RGPM3	SECA	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
		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
6	QVZ2	SECA	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
		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
7	RGDS	SECA		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
		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
8	RGR	SECA	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
		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	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
		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

Las evaluaciones se hicieron cada 30 días, desde diciembre del 2004 a noviembre del 2005.

En un estudio realizado por Márquez *et al* (2000) en Venezuela, encontraron que los metales estudiados y el material en suspensión presentaron un aumento considerable en sus concentraciones en el período lluvioso debido al arrastre del río de una gran cantidad de material en suspensión. Con respecto a los metales con aportes no continuos, sugieren que puede deberse a que están siendo introducidos desde fuentes externas.

Para nuestro caso no existen metales con aportes no continuos, lo único que varió fue la concentración, lo que nos conduce a pensar que todos los metales evaluados provienen de fuentes que interactúan de forma permanente con las aguas de la zona.

De manera general, el aluminio fue el metal que presentó la mayor concentración promedio tanto en la estación seca ($0,851 \text{ mg L}^{-1}$) como en la estación húmeda ($1,048 \text{ mg L}^{-1}$) seguido de cerca por el hierro ($0,561 \text{ mg L}^{-1}$ en seca y $0,780 \text{ mg L}^{-1}$ en húmeda) y el manganeso ($0,212 \text{ mg L}^{-1}$ en seca y $0,253 \text{ mg L}^{-1}$ en húmeda). En el otro extremo encontramos al mercurio ($0,0004 \text{ mg L}^{-1}$ en seca y $0,0003 \text{ mg L}^{-1}$ en húmeda) y al cadmio ($0,001 \text{ mg L}^{-1}$ tanto en la seca como en húmeda) (tabla 3).

4.2. Concentración promedio de metales pesados disueltos y totales por estación climática en todo el ámbito de evaluación

Los puntos de monitoreo de calidad de agua se ubicaron en diferentes zonas, dos de ellos se ubicaron en el río Grande, cuatro en sus tributarios y uno, antes de la bocatoma de la planta de tratamiento de agua “El Milagro” (RGR,) que abastece de agua potable a la ciudad de Cajamarca.

El punto RGR, fue el último punto de evaluación del recorrido del río Grande aguas abajo. Todas las aguas monitoreadas confluyen hacia este punto. Tanto en los meses de lluvia como de secano, se captan 200 L s^{-1} para la planta, el resto continúa su curso como parte del recorrido del río Grande que aguas más abajo se une al río Porcón (cerca de la planta de tratamiento de agua potable “El Milagro”) formando el río Mashcón.

En tal sentido, sin dejar de ser importantes el resto de puntos de monitoreo, el punto RGR se convierte en el más significativo desde el punto de vista ambiental,

considerando que es el punto de ingreso de las aguas que luego de su tratamiento, se convierten en el agua potable que abastece a cerca del 70% de la población urbana de Cajamarca.

Las evaluaciones del monitoreo, se centraron principalmente en los metales pesados totales (Tabla 3), mas no así en los metales disueltos, en tal sentido se decidió hacer el análisis principalmente de los metales totales encontrados en las aguas del río Grande y sus afluentes durante todo el periodo de evaluación, aunque 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 estando 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).

a. Concentración de metales pesados disueltos en la estación seca.

Los metales disueltos que presentaron la mayor concentración en la época seca fueron el manganeso con $0,508 \text{ mg L}^{-1}$; en segundo lugar el aluminio con $0,503 \text{ mg L}^{-1}$; en tercer lugar el zinc con $0,125 \text{ mg L}^{-1}$ y en cuarto lugar el hierro con $0,104 \text{ mg L}^{-1}$. Mientras que los metales con la menor concentración fueron: el mercurio con $0,0003 \text{ mg L}^{-1}$, seguido por el cadmio con $0,009 \text{ mg L}^{-1}$, y en tercer lugar el arsénico con $0,10 \text{ mg L}^{-1}$ (tabla 3).

b. Concentración total de metales pesados en la estación seca

Con relación a la concentración total de los metales (tabla 3) para la misma estación, fue el aluminio el que presentó la mayor concentración con $0,851 \text{ mg L}^{-1}$, seguido por el hierro con $0,561 \text{ mg L}^{-1}$; en tercer lugar estuvo el manganeso con $0,212 \text{ mg L}^{-1}$ y en cuarto lugar el zinc con $0,051 \text{ mg L}^{-1}$. Los metales pesados con la menor concentración total fueron: el mercurio con $0,0004 \text{ mg L}^{-1}$, en segundo lugar el cadmio con $0,001 \text{ mg L}^{-1}$, en tercer lugar el arsénico con $0,011 \text{ mg L}^{-1}$. y en último lugar el plomo con $0,012 \text{ mg L}^{-1}$.

c. Concentración de metales pesados disueltos en la estación húmeda

Con respecto a la estación húmeda, el metal pesado que presentó la mayor concentración en su condición de metal disuelto fue el aluminio con $0,447 \text{ mg L}^{-1}$, seguido por el manganeso con $0,433 \text{ mg L}^{-1}$, en tercer lugar el hierro con $0,187 \text{ mg L}^{-1}$ y en cuarto lugar el zinc con $0,116 \text{ mg L}^{-1}$, mientras que los metales con la menor concentración para la estación húmeda fueron: el mercurio con $0,0003 \text{ mg L}^{-1}$, y en segundo lugar el cadmio y el arsénico ambos con $0,10 \text{ mg L}^{-1}$ cada uno (tabla 3).

d. Concentración total de metales pesados en la estación húmeda

Por su parte los metales con la mayor concentración total para la estación húmeda fueron: el aluminio con $1,048 \text{ mg L}^{-1}$, seguido por el hierro con $0,780 \text{ mg L}^{-1}$, en tercer lugar el manganeso con $0,253 \text{ mg L}^{-1}$ y en cuarto lugar el zinc con $0,086 \text{ mg L}^{-1}$ (tabla 3).

Los metales pesados con la menor concentración total fueron: el mercurio con $0,0003 \text{ mg L}^{-1}$, seguido por el cadmio con $0,001 \text{ mg L}^{-1}$, y en tercer lugar el arsénico con $0,012 \text{ mg L}^{-1}$.

Estudios realizados por Salazar (2008) y Plasencia (2010), demuestran que las concentraciones de metales pesados son muy variables entre meses y entre estaciones climáticas.

Los metales evaluados también variaron entre meses y entre estaciones, lo que podría entenderse que las fuentes aportantes de metales pesados al río Grande y sus afluentes son diversas.

Según Erlinch citado por Vílchez (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 la actividad humana, incrementado considerablemente el aporte al medio natural bajo diferentes vías, entre las que destacan como mayoritarias 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 (Vílchez 2005).

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

a. Concentración de metales pesados disueltos estación seca.

Aluminio

El punto de monitoreo de aguas ubicado en la quebrada Encajón (QE3), presentó la mayor **concentración de aluminio disuelto**, cuyo valor promedio para el periodo seco fue de $2,807 \text{ mg L}^{-1}$, seguido por el punto ubicado en la quebrada Vizcachayoc (QVZ2) con $0,044 \text{ mg L}^{-1}$, y en tercer lugar el punto ubicado en el río Grande, después de la unión con la quebrada Corral Blanco- Coremayo (RG2), cuyo valor promedio de este metal alcanzó el 0.043 mg L^{-1} . Mientras que los puntos de monitoreo con las menores concentraciones fueron: la bocatoma de la captación de agua para la planta “El Milagro” (RGR); el río Grande, después de la unión de las quebradas Encajón y Quishuar Corral (RGPM3) y el punto ubicado en la quebrada Quishuar Corral (QQC), cuyo valor promedio, para estos tres puntos, fue de $0,042 \text{ mg L}^{-1}$ (tabla 4).

Comparando con los estándares nacionales de calidad ambiental actuales (2015) para agua, en ningún caso los excede. Sin embargo, es necesario aclarar que, hasta antes de 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

En todos los puntos de monitoreo, la concentración fue constante durante todo el periodo seco, alcanzando, en promedio, un valor de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ (tabla 4). De forma similar al caso anterior, los valores obtenidos no excedieron a los actuales estándares nacionales de calidad ambiental, ni a los estándares anteriores (2008), a pesar que el incremento fue de 200%.

Hierro

La mayor concentración se presentó en el punto ubicado en la quebrada Vizcachayoc (QVZ2), alcanzando un valor promedio de 0,288 mg L⁻¹. El segundo punto de mayor concentración se ubicó en la quebrada Encajón (QE3) con un valor promedio de 0,147 mg L⁻¹. En el punto ubicado en el río Grande, después de la unión de las quebradas Encajón y Quishuar Corral (RGPM3) se presentó una concentración promedio de 0,089 mg L⁻¹ (tercer lugar). El cuarto lugar de mayor concentración se ubicó en el río Grande, después de la unión con la quebrada Corral Blanco- Coremayo (RG2), cuyo valor fue de 0,057 mg L⁻¹ (tabla 4).

Los valores de hierro obtenidos tampoco excedieron a los estándares nacionales de calidad ambiental ni para la norma actual ni para la anterior, cuyo valor pasó de 1 a 5 mg L⁻¹.

Zinc

La quebrada Encajón (QE3) fue la que presentó la mayor concentración de este metal pesado, cuyo valor promedio fue de 0,512 mg L⁻¹, seguido del punto ubicado en el río Grande, después de la unión de las quebradas Encajón y Quishuar Corral (RGPM3), cuyo promedio fue de 0,107 mg L⁻¹. El tercer punto de mayor concentración se ubicó en el río Grande, después de la unión con la quebrada Vizcachayoc (RGDS) alcanzando un promedio de 0,072 mg L⁻¹. El resto de puntos de monitoreo presentaron concentraciones de este metal entre 0,052 y 0,021 mg L⁻¹ (tabla 4).

Comparando con los estándares nacionales de calidad ambiental, todos los puntos de monitoreo, estuvieron muy por debajo de los actuales estándares.

Manganeso

Fue el punto QE3 el que presentó la mayor concentración con 1,830 mg L⁻¹, seguido del punto RGPM3 con 0,492 mg L⁻¹. El tercer y cuarto puntos de mayor concentración fueron el punto RGDS y RG2, cuyas concentraciones fueron de 0,418 y 0,416 mg L⁻¹ respectivamente. El punto ubicado en la bocatoma de la captación de agua para la planta “El Milagro” (RGR) alcanzó una concentración

promedio de 0,214 mg L⁻¹. En el resto de puntos de monitoreo, las concentraciones de este metal variaron entre 0,057 y 0,038 mg L⁻¹ (tabla 4).

Con relación a los estándares nacionales de calidad ambiental, ni la nueva norma ni la anterior considera ningún valor para este metal para la clase A3 de agua potable. Los únicos valores que posee la norma son para la clase A2 y A1.

b. Concentración de metales pesados disueltos estación húmeda.

Aluminio

El punto QE3 alcanzó la máxima concentración promedio con 2,868 mg L⁻¹, seguido por el punto RGPM3 con 0,213 mg L⁻¹ y, en tercer lugar, el punto RGR con 0,193 mg L⁻¹. El resto de puntos de monitoreo presentaron concentraciones que variaron entre 0,082 y 0,043 mg L⁻¹ (tabla 5). Ningún punto de monitoreo excedió a los actuales estándares nacionales de calidad ambiental, pero si excedió en 1334% a los estándares nacionales del 2008.

Arsénico

De forma similar que en la estación seca, este metal mantuvo concentraciones constantes durante todo el periodo de evaluación, cuyo valor promedio alcanzó 0,01 mg L⁻¹ (tabla 5). 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 estándares nacionales de calidad ambiental actuales.

Hierro

La mayor concentración se obtuvo en el punto QE3, donde alcanzó un valor promedio de 0,673 mg L⁻¹, seguido por el punto RGPM3 con 0,177 mg L⁻¹. Los puntos ubicados en el río Grande, después de la unión con la quebrada Vizcachayoc (RGDS) y la quebrada Corral Blanco - Coremayo (QCBB) manifestaron una concentración promedio de 0,165 y 0,148 mg L⁻¹, respectivamente. La quinta

mayor concentración se ubicó en el punto QVZ2 con 0,120 mg L⁻¹, El resto de puntos presentaron concentración que variaron entre 0,083 y 0,058 mg L⁻¹ (tabla 5).

Los estándares nacionales de calidad ambiental para agua del 2015, establecen una concentración máxima de hierro de 5,0 mg L⁻¹, valor demasiado alto a los encontrados en los puntos de monitoreo, por lo tanto, ninguno punto de monitoreo excedió a los estándares nacionales de calidad ambiental.

Zinc

Las mayores concentraciones de este metal se presentaron en el punto QE3 con 0,518 mg L⁻¹. En segundo lugar estuvo el punto RGDS con 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 de monitoreo presentaron concentraciones que variaron entre 0,041 y 0,025 mg L⁻¹ (tabla 5).

El estándar nacionales de calidad ambiental actual para el zinc es de 5.0 mg L⁻¹, es decir muy superior a los valores obtenidos en la presente investigación.

Manganeso

La mayor concentración se obtuvo en el punto QE3 cuyo valor promedio fue de 1,539 mg L⁻¹, seguido del punto RG2 con 0,649 mg L⁻¹, y en tercer lugar el punto RGDS con 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 punto QVZ2 y QQC presentaron concentraciones de 0,045 y 0,036 mg L⁻¹, respectivamente (tabla 5).

Considerando que la actual norma nacional 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.

4.4. Concentración de metales pesados totales por punto de monitoreo

a. Concentración de metales pesados totales durante la estación seca.

Aluminio

Con respecto a la **concentración total** de los metales pesados en la estación seca, se obtuvieron los siguientes resultados: la mayor concentración se obtuvo en el punto QE3 con $1,384 \text{ mg L}^{-1}$. En segundo lugar el punto RG2 con $1,143 \text{ mg L}^{-1}$ y en tercer lugar el punto RGPM3 con $0,821 \text{ mg L}^{-1}$. El cuarto lugar de mayor concentración fue el punto RGR con $0,705 \text{ mg L}^{-1}$. Los puntos con la menor concentración fueron: QQC con $0,459 \text{ mg L}^{-1}$, seguido por el punto QVZ2 con $0,596 \text{ mg L}^{-1}$ y en tercer lugar RGDS con $0,691 \text{ mg L}^{-1}$ (tabla 4).

Todos los puntos de monitoreo no excedieron a los estándares nacionales de la norma actual, pero si todos fueron largamente superiores a los estándares nacionales de la norma del 2008 ($0,2 \text{ mg L}^{-1}$).

Arsénico

Únicamente en el punto QVZ2 (quebrada Vizcachayoc), se presentó una concentración mayor y diferente al resto de puntos de monitoreo, alcanzando un valor de $0,014 \text{ mg L}^{-1}$; el resto de puntos de monitoreo presentaron valores promedios constantes, cuyo valor fue de $0,010 \text{ mg L}^{-1}$ (tabla 4).

Ningún punto de monitoreo excedió a los estándares nacionales de calidad ambientales actuales ni a los del 2008.

Hierro

La mayor concentración fue de $0,936 \text{ mg L}^{-1}$ obtenida en el punto QVZ2. En segundo lugar estuvo el punto RGPM3 con $0,746 \text{ mg L}^{-1}$. 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 de este metal, cuyos valores fueron $0,45$, $0,342$ y $0,307 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente (tabla 4).

El estándar nacional de calidad ambiental actual para el hierro es de 5.0 mg L⁻¹, 400% superior al valor del estándar del 2008. En ningún caso, ni para la norma actual ni para la anterior excedió a estos valores.

Zinc

El punto QE3 (quebrada Encajón), fue donde se presentó la mayor concentración del zinc, alcanzando un valor promedio de 0,159 mg L⁻¹, seguido por el punto RG2 con 0,052 mg L⁻¹ y el punto RGPM3 con 0,045 mg L⁻¹. El resto de punto de monitoreo presentaron concentraciones que variaron entre 0,042 y 0,013 mg L⁻¹ (tabla 4).

Todos los puntos de monitoreo presentaron valores muy por debajo de lo establecido por la normatividad nacional vigente.

Manganeso

En todos los puntos de monitoreo, este metal, presentó concentraciones mayores a 0,102, únicamente el punto QQC, presentó la menor concentración con 0,037 mg L⁻¹. Fue el punto QE3 que alcanzó la máxima concentración con 0,533 mg L⁻¹, seguido por los puntos RGDS con 0,271 mg L⁻¹ y el punto RG2 con 0,239 mg L⁻¹.

Los puntos RGPM3 y RGR manifestaron una concentración de 0,225 y 0,138 mg L⁻¹, respectivamente. Mientras que los puntos QVZ2 y QQC alcanzaron las menores concentraciones de este metal, cuyos valores fueron de 0,102 y 0,037 mg L⁻¹, respectivamente (tabla 4).

La norma actual no establece ningún valor para aguas de clase A3, pero comparando con los valores de la clase A2, cuyo valor es 0,5 mg L⁻¹, encontramos que únicamente el punto QE3 (0,533 mg L⁻¹) supera ligeramente a la norma actual.

b. Concentración de metales pesados totales durante la estación húmeda

Aluminio

Las concentraciones de este metal en los puntos de monitoreo variaron entre 0,412 y 2,236 mg L⁻¹; siendo el punto QE3 el que alcanzó la mayor concentración con un valor promedio de 2,236 mg L⁻¹, seguido del punto RGR con 1,80 y el punto RGPM3 con 1,025 mg L⁻¹.

El punto QVZ2 alcanzó un valor promedio de 1,024 mg L⁻¹. El resto de puntos presentaron concentraciones que variaron entre 0,850 y 0,412 mg L⁻¹ (tabla 5).

Arsénico

De los ocho puntos de monitoreo cuatro de ellos presentaron cierta variación en las concentraciones de este metal que varió entre 0,012 y 0,018 mg L⁻¹. El resto de puntos mantuvieron una concentración constante de 0,010 mg L⁻¹.

De los cuatro puntos de mayor concentración, fue el punto RG2 el que alcanzó la mayor concentración con un valor promedio de 0,018 mg L⁻¹, seguido del punto QVZ2 con 0,014 mg L⁻¹. Los puntos RGPM3 y RGR ambos presentaron una concentración de 0,012 mg L⁻¹ (tabla 5).

Hierro

Sólo los puntos de monitoreo QVZ2 y RGR presentaron una concentración de hierro mayor a 1, el resto de punto se mantuvieron debajo de este valor. La mayor concentración se obtuvo en el punto RGR con 1,329 mg L⁻¹, en segundo lugar el punto QVZ2 con 1,132 mg L⁻¹.

El punto RGPM3 arrojó una concentración promedio de 0,868; el punto QCBB, 0,702; el punto RG2, 0,692 mg L⁻¹. El resto de puntos de monitoreo arrojaron valores entre 0,677 y 0,400 mg L⁻¹ (tabla 5).

Cadmio

Únicamente el punto QE3 presentó una mayor concentración con un valor de 0,003 mg L⁻¹. En el resto de puntos la concentración fue constante (0,001 mg L⁻¹) (tabla 5).

Plomo

La mayor concentración se obtuvo en el punto RGR con 0,246 mg L⁻¹, seguido del punto RGDS con 0,135 mg L⁻¹, y el punto QVZ2 con 0,100 mg L⁻¹. Las concentraciones del resto de puntos de monitoreo oscilaron entre 0,090 y 0,010 mg L⁻¹.

De todos los metales evaluados, fue el plomo el que en cinco punto de monitoreo, sobrepasó los estándares nacionales de calidad ambiental, siendo el punto RGR el que alcanzó el máximo valor, superando al estándar nacional 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 fue el RGPM3 con 80% y el quinto punto, el QQC con 34% superior.

Zinc

Únicamente el punto QE3 alcanzó valores promedio de 0,347 mg L⁻¹. El resto de puntos se mantuvieron con concentraciones que variaron entre 0,083 y 0,014 mg L⁻¹.

Manganeso

Seis puntos de monitoreo presentaron valores entre 0,158 y 0,591 mg L⁻¹. El punto QVZ2 y QQC presentaron concentraciones de 0,084 y 0,059 mg L⁻¹, respectivamente.

El punto RG2 manifestó la mayor concentración con 0,591 mg L⁻¹, seguido del punto QE3 con 0,455 mg L⁻¹, el punto RGDS con 0,254 mg L⁻¹, el RGPM3 con 0,220 mg L⁻¹ (tabla 5).

Las menores concentraciones de este metal se presentaron en los puntos RGR y QCBB con valores promedio de 0,199 y 0,158 mg L⁻¹.

Ante la inexistencia de estándares nacionales de calidad ambiental de manganeso para aguas de clase A3, se optó por comparar con los estándares nacionales 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.

4.5. Concentración diferenciada de metales pesados por punto de monitoreo

No todas las estaciones de monitoreo de aguas presentaron la misma concentración de metales pesados, las variaciones en algunos casos son bastante notorias, mientras que en otras son casi imperceptibles.

a. Estación seca

El punto de monitoreo ubicado en la quebrada Encajón (QE3), es el que presenta la mayor concentración de metales pesados principalmente aluminio, cadmio, zinc y manganeso.

El otro punto con concentración alta de metales pesados fue el ubicado en el río Grande, después de la unión con la quebrada Corral Blanco-Coremayo (RG2), destacando el aluminio, el zinc y el manganeso.

Las menores concentraciones de metales pesados se manifestaron en el punto ubicado en la quebrada Quishuar Corral (QQC), siendo el aluminio, el hierro total, el zinc y el manganeso, los elementos que presentaron las más bajas concentraciones. El otro punto con bajas concentraciones fue QVZ2, donde destaca el aluminio total, el zinc y el manganeso.

De manera general, el mercurio disuelto como el total fue el metal que en todos los puntos de monitoreo se presentó en menor concentración y el aluminio el metal cuya concentración promedio fue la mayor en promedio.

b. Estación húmeda

En la estación húmeda, también resalta el punto de monitoreo ubicado en la quebrada Encajón (QE3), destacando los metales aluminio, hierro disuelto, cadmio, mercurio, zinc y manganeso.

Con respecto a los puntos de monitoreo de menor concentración destacan el punto ubicado en la quebrada Quishuar Corral (QQC), cuyos metales con menor concentración en la estación húmeda fueron el hierro, el zinc y el manganeso.

Al igual que en la estación seca, en la estación húmeda, también fue el mercurio el metal que se presentó en la menor concentración en todos los puntos de monitoreo. Asimismo, resulta siendo el aluminio el metal que de manera general es el que presenta la mayor concentración.

Tabla 4. Concentración de metales pesados en la estación seca en los diferentes puntos de monitoreo

PUNTOS DE MONITOREO		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
PROMEDIOS ESTACIÓN SECA	RG2	0.043	1.143	0.010	0.010	0.057	0.451		0.0010	0.0003	0.0004		0.010	0.052	0.052	0.416	0.239
	QE3	2.807	1.384	0.010	0.010	0.147	0.342	0.009	0.0020	0.0003	0.0004		0.010	0.512	0.159	1.830	0.533
	QQC	0.042	0.459	0.010	0.010	0.024	0.307		0.0010	0.0003	0.0004		0.010	0.030	0.013	0.038	0.037
	RGPM3		0.821	0.010	0.010	0.089	0.746		0.0011	0.0003	0.0004		0.010	0.107	0.045	0.492	0.225
	RGDS		0.691	0.010	0.010	0.021	0.611		0.0010	0.0003	0.0004		0.010	0.072	0.042	0.418	0.271
	QVZ2	0.044	0.596	0.010	0.014	0.288	0.936		0.0010	0.0003	0.0004		0.022	0.021	0.014	0.057	0.102
	RGR	0.042	0.705	0.010	0.010	0.021	0.586		0.0010	0.0003	0.0004		0.010	0.027	0.026	0.214	0.138

Tabla 5. Concentración promedio de metales pesados en la estación húmeda en los diferentes puntos de monitoreo

PUNTOS DE MONITOREO		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
PROMEDIOS ESTACIÓN HÚMEDA	QCBB	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
	RG2	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
	QE3	2.868	2.236	0.010	0.010	0.673	0.677	0.0108	0.003	0.0004	0.0003		0.010	0.518	0.347	1.539	0.455
	QQC	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
	RGPM3	0.213	1.025	0.010	0.012	0.177	0.868	0.0090	0.001	0.0004	0.0003		0.090	0.098	0.079	0.364	0.220
	RGDS	0.072	0.491	0.010	0.010	0.165	0.400	0.0090	0.001	0.0003	0.0003		0.135	0.118	0.083	0.402	0.254
	QVZ2	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
	RGR	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

4.6. Evolución mensual de los metales pesados que presentaron la mayor concentración

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, tal como se aprecia en los gráficos siguientes.

a. Río Grande, después de la unión con la quebrada Corral Blanco- Coremayo (RG2)

En el punto de monitoreo RG2, los metales que presentaron una significativa variación fueron el aluminio, el hierro y el manganeso.

En el caso del aluminio, las mayores concentraciones variaron durante todo el periodo de monitoreo. En diciembre de 2004, alcanzó un valor promedio de 1,592 mg L⁻¹, luego empieza a descender paulatinamente hasta el mes de marzo de 2005 (0,429 mg L⁻¹). Luego entre abril y junio se vuelve a incrementar de forma paulatina, descendiendo en julio y se mantiene casi en el mismo nivel en agosto. Entre setiembre y noviembre nuevamente se incrementa de forma paulatina, siendo en noviembre cuando alcanza su máxima concentración (2,164 mg L⁻¹) (figura 3).

El hierro, es el otro metal que en este punto de monitoreo presentó una alta concentración, siendo enero el mes con la mayor concentración (2,298 mg L⁻¹), luego descendió hasta el mes de marzo (0,247 mg L⁻¹), para luego incrementarse paulatinamente hasta el mes de junio (0,478 mg L⁻¹). En julio descendió ligeramente para volver a incrementarse paulatinamente hasta el mes de octubre, descendiendo en noviembre. En diciembre de 2004 alcanzó la concentración más baja del año (0,238 mg L⁻¹).

Con respecto al manganeso, fue el mes de diciembre de 2004, donde alcanzó el nivel más bajo de concentración de este metal (0,0366 mg L⁻¹). El mes de enero de 2005 presentó la mayor concentración (1,12 mg L⁻¹), descendiendo bruscamente en febrero; se incrementa en abril y luego, empieza una etapa de descenso hasta setiembre. Se incrementa ligeramente en octubre y luego descendiendo hasta el mes de noviembre (0,0468 mg L⁻¹) (Figura 3).

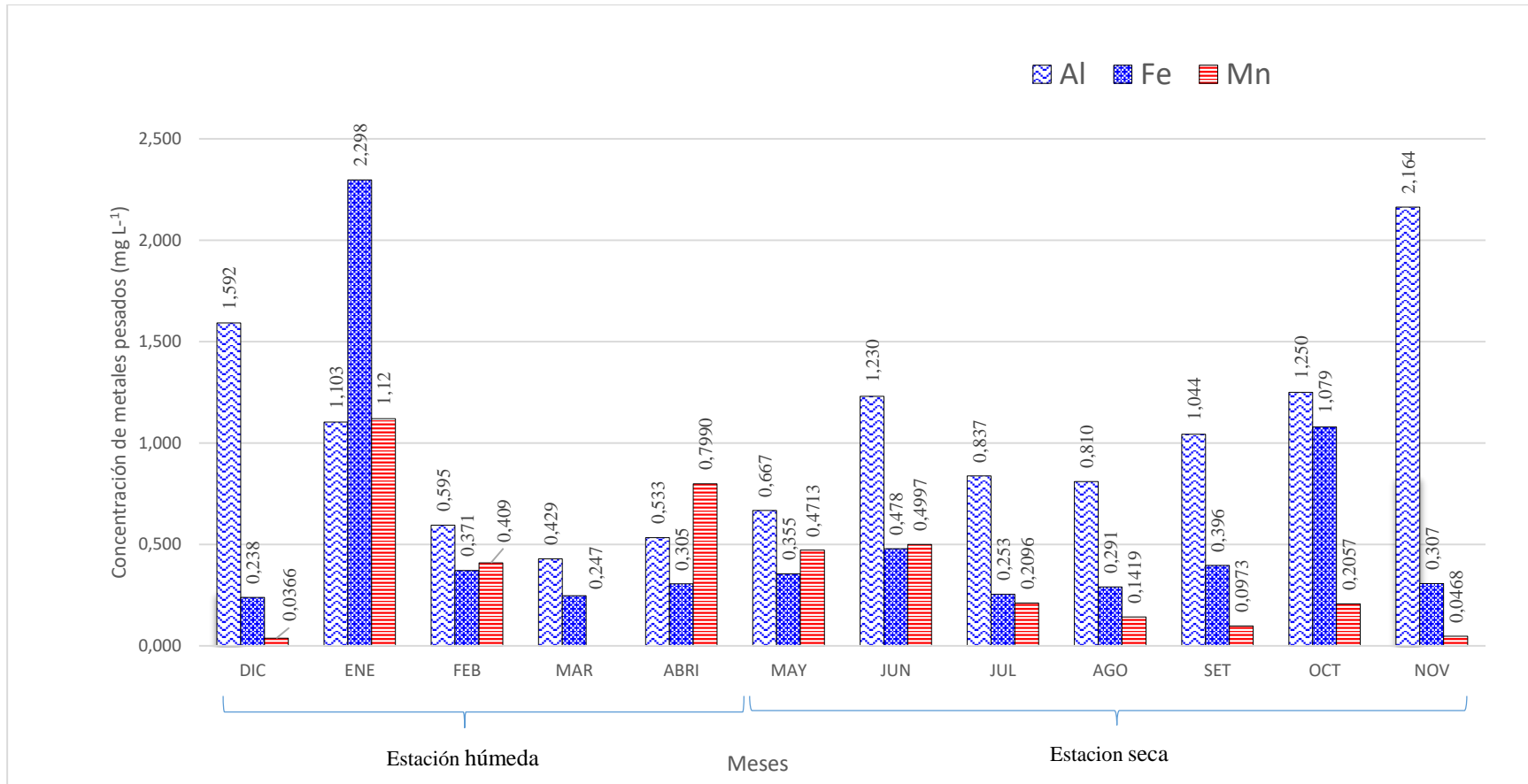


Figura 3. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe y Mn en la quebrada Corral Blanco-Coremayo (RG2)

b. Quebrada Encajón (QE3)

El aluminio, alcanza su máxima concentración en marzo ($6,980 \text{ mg L}^{-1}$) y en mayo ($4,349 \text{ mg L}^{-1}$), y la concentración más baja en diciembre ($0,357 \text{ mg L}^{-1}$) (figura 4).

El otro mes con la menor concentración es junio ($0,390 \text{ mg L}^{-1}$), a partir del cual se incrementa ligeramente hasta setiembre; en octubre desciende ligeramente para luego incrementarse en noviembre.

El hierro alcanzó su máxima concentración en marzo con $2,234 \text{ mg L}^{-1}$. El otro mes de mayor concentración fue mayo con $1,552 \text{ mg L}^{-1}$; luego disminuye drásticamente en el mes de junio y se mantiene con concentraciones bajas hasta octubre para incrementarse bruscamente en noviembre. La concentración más baja del hierro fue en setiembre con $0,027 \text{ mg L}^{-1}$.

En el punto de monitoreo QE3, fueron cuatro los metales pesados que presentaron la mayor concentración, el aluminio, el hierro, el zinc y el manganeso.

El zinc fue el tercer metal con mayor abundancia en este punto de monitoreo. La mayor concentración se obtuvo en marzo con $1,123 \text{ mg L}^{-1}$, desciende bruscamente en abril para incrementarse bruscamente en mayo. En los meses siguientes se mantiene con niveles bajos hasta noviembre. La concentración más baja se obtuvo en diciembre con $0,049 \text{ mg L}^{-1}$.

Finalmente el manganeso, fue el mes de mayo donde alcanzó la mayor concentración con $1,857 \text{ mg L}^{-1}$. Los otros meses con alta concentración fueron enero con $0,802 \text{ mg L}^{-1}$ y febrero con $0,618 \text{ mg L}^{-1}$. Entre junio y noviembre, las concentraciones se mantuvieron en niveles bajos. La mínima concentración fue en diciembre con $0,1437 \text{ mg L}^{-1}$ (figura 4).

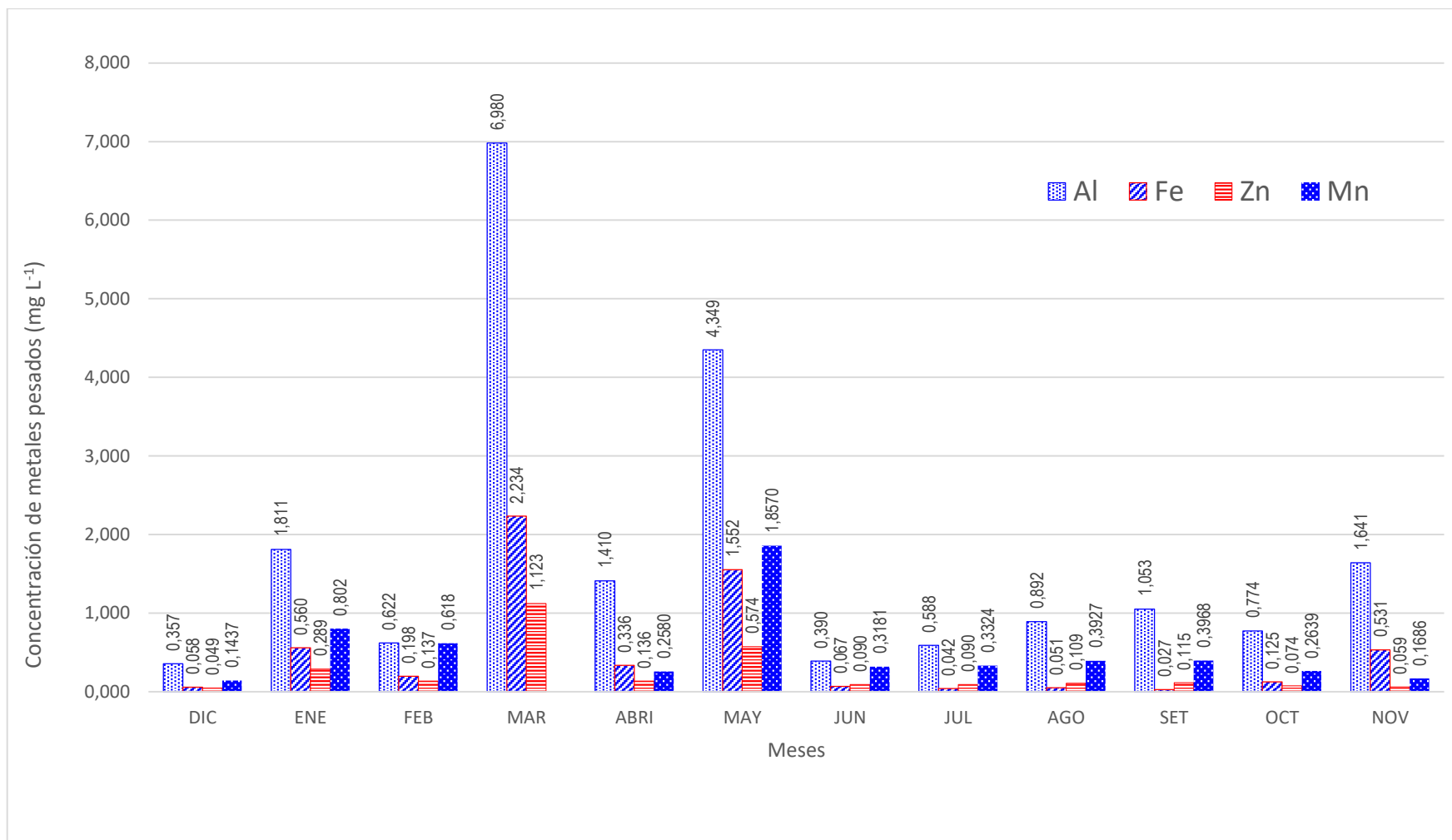


Figura 4. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe, Zn y Mn en la Quebrada Encajón (QE3).

c. Quebrada Quishuar Corral (QQC)

En este punto también fueron cuatro los metales que manifestaron una alta concentración, el aluminio, el fierro, el zinc y el manganeso.

El aluminio alcanzó su máxima concentración en enero con $1,546 \text{ mg L}^{-1}$. A partir de febrero se mantiene a una concentración casi uniforme hasta abril. En mayo se incrementa bruscamente alcanzando un valor de $0,920 \text{ mg L}^{-1}$; luego empieza a descender paulatinamente hasta setiembre donde alcanza su concentración más baja ($0,100 \text{ mg L}^{-1}$) (figura 5).

El hierro también alcanza su máxima concentración en enero con $1,635 \text{ mg L}^{-1}$, luego disminuye radicalmente en febrero alcanzando su nivel más bajo de todo el periodo de monitoreo con $0,010 \text{ mg L}^{-1}$. A partir de marzo empieza a incrementarse paulatinamente hasta junio, para luego empezar a descender también de forma paulatina hasta setiembre. Se incrementa en octubre y luego en noviembre.

Los incrementos bruscos del mes de febrero, podría significar que en ese momento o periodo, existió una fuente externa de aporte de este metal. Entre febrero y setiembre la variación de su concentración adopta la forma de una curva normal, alcanzando su máximo nivel para ese periodo en junio.

Son los meses de abril y mayo los que manifestaron la mayor concentración del zinc, alcanzando valores de $0,040$ y $0,042 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. El resto de meses, se mantuvo en concentraciones muy bajas, siendo setiembre el mes que presentó la más baja concentración con $0,002 \text{ mg L}^{-1}$.

Con respecto al manganeso, fueron los meses de enero y octubre donde se alcanzó la mayor concentración con $0,1182 \text{ mg L}^{-1}$ y $0,0939 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. A partir de abril, donde alcanzó $0,0720 \text{ mg L}^{-1}$, este metal empieza a disminuir paulatinamente hasta setiembre. En agosto alcanza la mínima concentración con $0,0106 \text{ mg L}^{-1}$. En octubre se incrementa bruscamente con relación a los meses anteriores, y desciende en noviembre (figura 5).

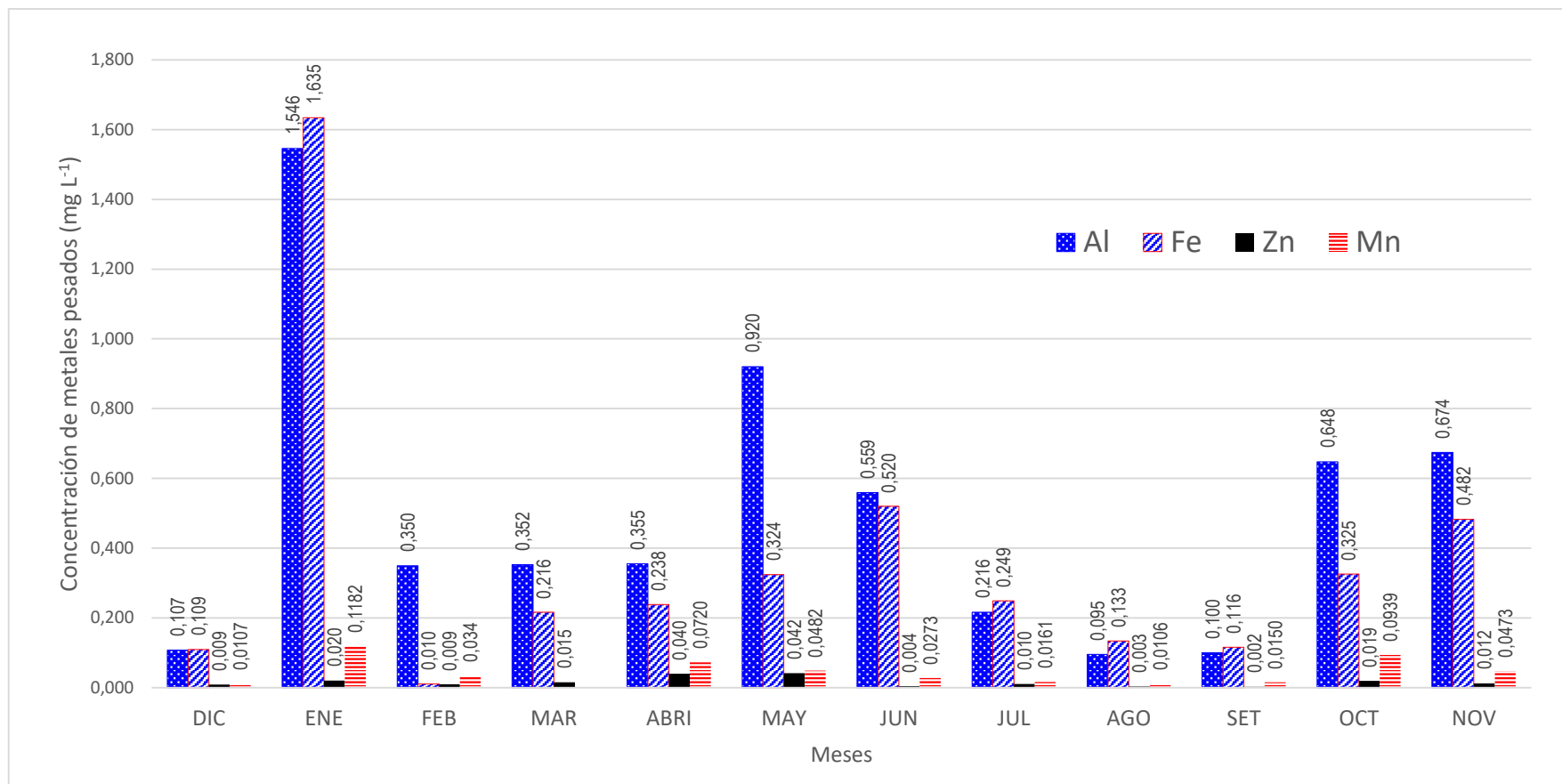


Figura 5. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe, Zn y Mn en la Quebrada Quishuar - Corral (QQC).

d. Río Grande, después de la unión de las quebradas Encajón, Quishuar-Corral (RGPM3)

Las mayores concentraciones de aluminio se obtuvieron en enero y junio con 1,985 y 1,685 mg L⁻¹, respectivamente. Fue en agosto donde se obtuvo la menor concentración de todo el periodo de monitoreo con 0,378 mg L⁻¹, luego se incrementa paulatinamente hasta octubre y desciende ligeramente en noviembre. En febrero (0,435 mg L⁻¹) desciende bruscamente con relación a enero (1,985 mg L⁻¹). En marzo también bruscamente se incrementa con relación a febrero. Disminuye en abril para incrementarse paulatinamente hasta el mes de junio, para luego descender paulatinamente hasta el mes de agosto (figura 6).

De forma similar, el hierro presentó las mayores concentraciones en enero y junio con valores de 2,095 y 1,707 mg L⁻¹, respectivamente. En febrero disminuye drásticamente para alcanzar su nivel más bajo con 0,010 mg L⁻¹. En marzo se incrementa bruscamente, alcanzando 0,660 mg L⁻¹. En abril y mayo presenta valores similares, inferiores al mes de marzo. En junio alcanza la segunda concentración más alta del periodo de evaluación, luego disminuye paulatinamente entre julio y agosto para luego incrementarse también paulatinamente hasta el mes de octubre y luego desciende en noviembre.

El zinc alcanzó su máxima concentración en marzo con 0,224 mg L⁻¹. Disminuyó drásticamente en abril para incrementarse en mayo, mes a partir del cual mantiene concentraciones bajas casi constante hasta noviembre. El nivel más bajo de este metal se obtuvo en febrero con 0,019 mg L⁻¹.

El manganeso alcanzó su máxima concentración en mayo con 0,521 mg L⁻¹, luego desciende de forma paulatina hasta el mes de agosto, para volver a incrementarse ligeramente hacia el mes de octubre. En diciembre alcanzó la concentración más baja de todo el periodo de monitoreo con 0,631 mg L⁻¹.

El manganeso es uno de los pocos casos, que en un periodo determinado presentó una tendencia más o menos uniforme, formando una curva normal entre los meses de febrero y agosto (figura 6).

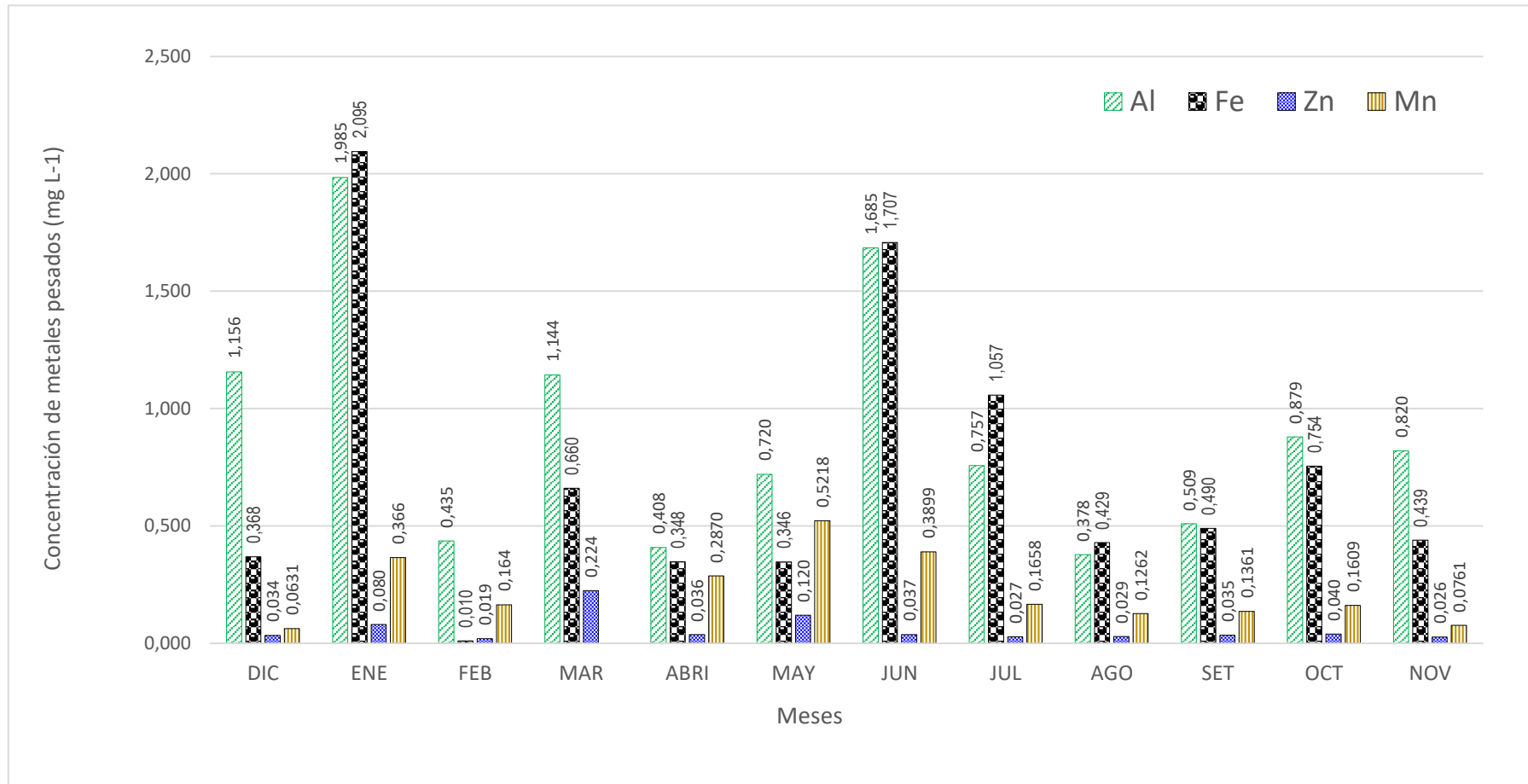


Figura 6. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe, Zn y Mn en el río Grande, después de la unión de las quebradas Encajón, Quishuar - Corral (RGPM3).

e. Río Grande, después de la unión con la quebrada Vizcachayoc (RGDS)

El aluminio alcanzó su mayor concentración en octubre con $1,361 \text{ mg L}^{-1}$. La segunda mayor concentración se estuvo en marzo con $0,801 \text{ mg L}^{-1}$. El mes con la menor concentración fue julio con $0,218 \text{ mg L}^{-1}$ (figura 7).

El fierro alcanzó su máxima concentración en octubre con $1,148 \text{ mg L}^{-1}$. Entre diciembre de 2004 y enero de 2005, hubo un incremento paulatino. En febrero disminuyó drásticamente ($0,010 \text{ mg L}^{-1}$). Se incrementó en marzo, disminuyó en abril para incrementarse hasta junio. Bajó en julio y se incrementó hacia octubre, para disminuir en noviembre. La concentración más baja de fierro se obtuvo en julio con $0,048 \text{ mg L}^{-1}$.

A diferencia de los otros metales, el plomo mantuvo una concentración casi constante durante todo el periodo de monitoreo, únicamente en el mes de febrero presentó un concentración muy elevada que alcanzó $0,635 \text{ mg L}^{-1}$, lo que puede entenderse como un hecho muy irregular, cuya causa podría deberse a una fuente externa y muy puntual para ese momento o periodo.

El zinc obtuvo su máxima concentración en marzo con $0,196 \text{ mg L}^{-1}$ y su más baja concentración en julio con $0,022 \text{ mg L}^{-1}$. Entre junio y noviembre la concentración de este se mantuvo más o menos uniforme, semejante al periodo febrero – abril.

El manganeso manifestó su mayor concentración en mayo con $0,4453 \text{ mg L}^{-1}$. El mes con la menor concentración fue diciembre con $0,1002 \text{ mg L}^{-1}$. Este metal en marzo y agosto no fue monitoreado, en estos casos se asumió la tendencia de los meses anteriores y posteriores (figura 7).

En este sentido se afirma que el zinc, desde febrero empieza a incrementarse hasta mayo, luego disminuye paulatinamente hasta agosto; se incrementa en setiembre para disminuir de forma paulatina entre octubre y noviembre.

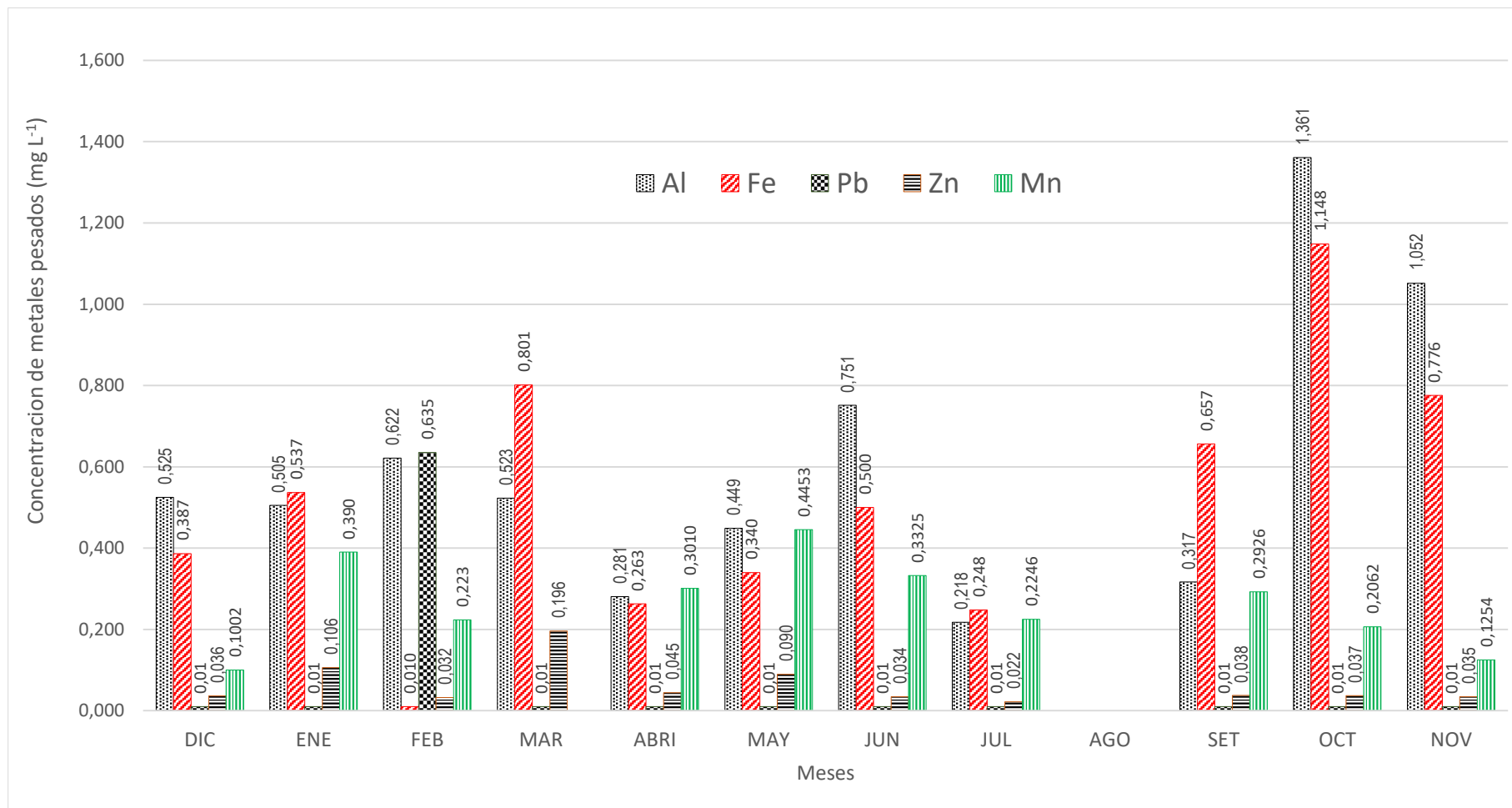


Figura 7. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe, Pb, Zn y Mn en el río Grande, después de la unión con la quebrada Viscachayoc (RGDS).

f. Quebrada Vizcachayoc (QVZ2)

La mayor concentración del aluminio se obtuvo en enero y octubre con $4,232 \text{ mg L}^{-1}$ y $2,824 \text{ mg L}^{-1}$ respectivamente. El resto de meses mantuvieron una concentración baja, siendo la mínima en agosto con $0,083 \text{ mg L}^{-1}$ (figura 8). Este hecho puede entenderse como algo irregular, es probable que en ambos casos la causa se haya debido al aporte de una fuente externa.

El fierro se presentó de forma más o menos similar al aluminio, siendo enero y octubre los meses con la mayor concentración con $4,280$ y $3,139 \text{ mg L}^{-1}$. El mes con la más baja concentración fue febrero con $0,010 \text{ mg L}^{-1}$.

Luego de su máxima concentración en enero, en febrero este metal disminuyó drásticamente alcanzando la más baja concentración. A partir de marzo hasta mayo, este metal tuvo un incremento paulatino, para luego empezar a disminuir hasta agosto. De manera similar que en el aluminio, estos picos de presencia de hierro pueden deberse a una fuente externa.

El plomo únicamente en el mes de febrero presentó una concentración alta ($0,397 \text{ mg L}^{-1}$). El resto de meses presentó una concentración casi constante, únicamente en enero y octubre se notó un ligero incremento con relación al resto de meses.

El manganeso, durante todo el periodo de monitoreo casi se mantuvo constante, únicamente en enero manifestó una concentración de $0,131 \text{ mg L}^{-1}$ y en febrero la menor concentración con $0,046 \text{ mg L}^{-1}$ (figura 8).

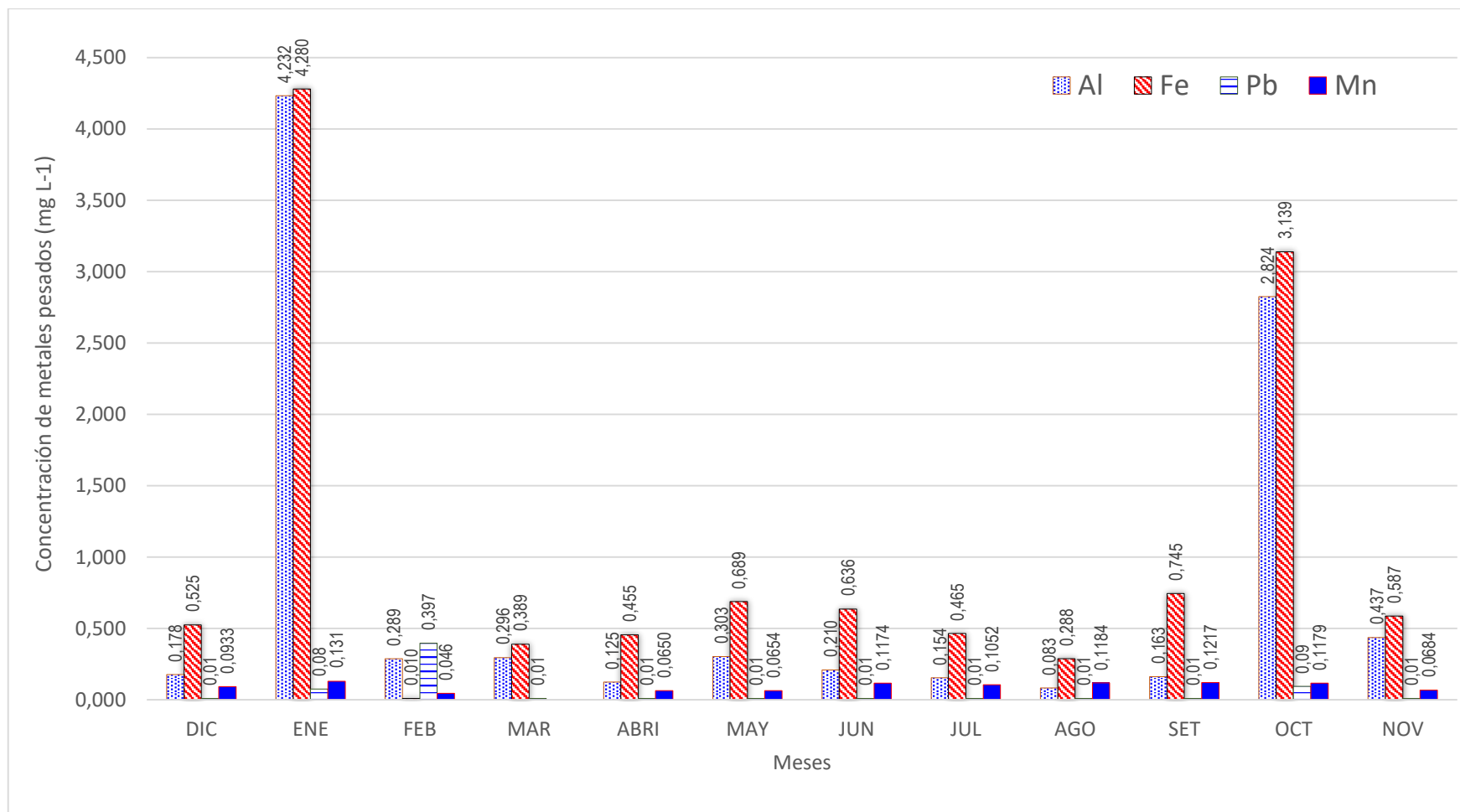


Figura 8. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe, Pb y Mn en la quebrada Viscachayoc (QVZ2).

g. Bocatoma de la captación de agua para la planta de tratamiento de agua “El Milagro”

Este punto fue el último punto de monitoreo aguas abajo del río Grande, se ubica en la bocatoma de la planta de tratamiento de agua “El Milagro”. A diferencia de los otros puntos de monitoreo, en éste, el aluminio alcanzó su máxima concentración en un solo mes y sobrepasó todos los valores de los otros puntos de monitoreo, alcanzando una concentración de $6,520 \text{ mg L}^{-1}$ en el mes de enero. En febrero disminuyó drásticamente y siguió disminuyendo hasta abril. En mayo se incrementó nuevamente alcanzando valores de $1,027 \text{ mg L}^{-1}$, para luego disminuir en junio y julio. En agosto se incrementa ligeramente y en setiembre vuelve a disminuir. En octubre se presentó la segunda mayor concentración con $1,649 \text{ mg L}^{-1}$, que comparado con enero tan sólo representó el 25,3%. En noviembre disminuyó nuevamente (figura 9).

El hierro presentó un comportamiento similar al aluminio, alcanzó su máxima concentración en enero con $5,509 \text{ mg L}^{-1}$. La segunda mayor concentración también se presentó en octubre con $1,212 \text{ mg L}^{-1}$.

La concentración más baja de hierro se presentó en febrero con $0,01 \text{ mg L}^{-1}$. Entre marzo y setiembre las concentraciones variaron ligeramente, pero fueron bajas comparadas con los valores más altos obtenidos en este punto de monitoreo.

El plomo, únicamente en febrero presentó una concentración alta con $1,174 \text{ mg L}^{-1}$. El resto de meses se mantuvo con valores muy bajos y constantes.

El manganeso fue otro de los metales que solamente en un solo mes presentó una concentración alta, alcanzando una concentración de $0,432 \text{ mg L}^{-1}$. El resto de meses presentó una concentración baja con ligeras oscilaciones, siendo la más baja en diciembre de 2004 con $0,0573 \text{ mg L}^{-1}$ (figura 9).

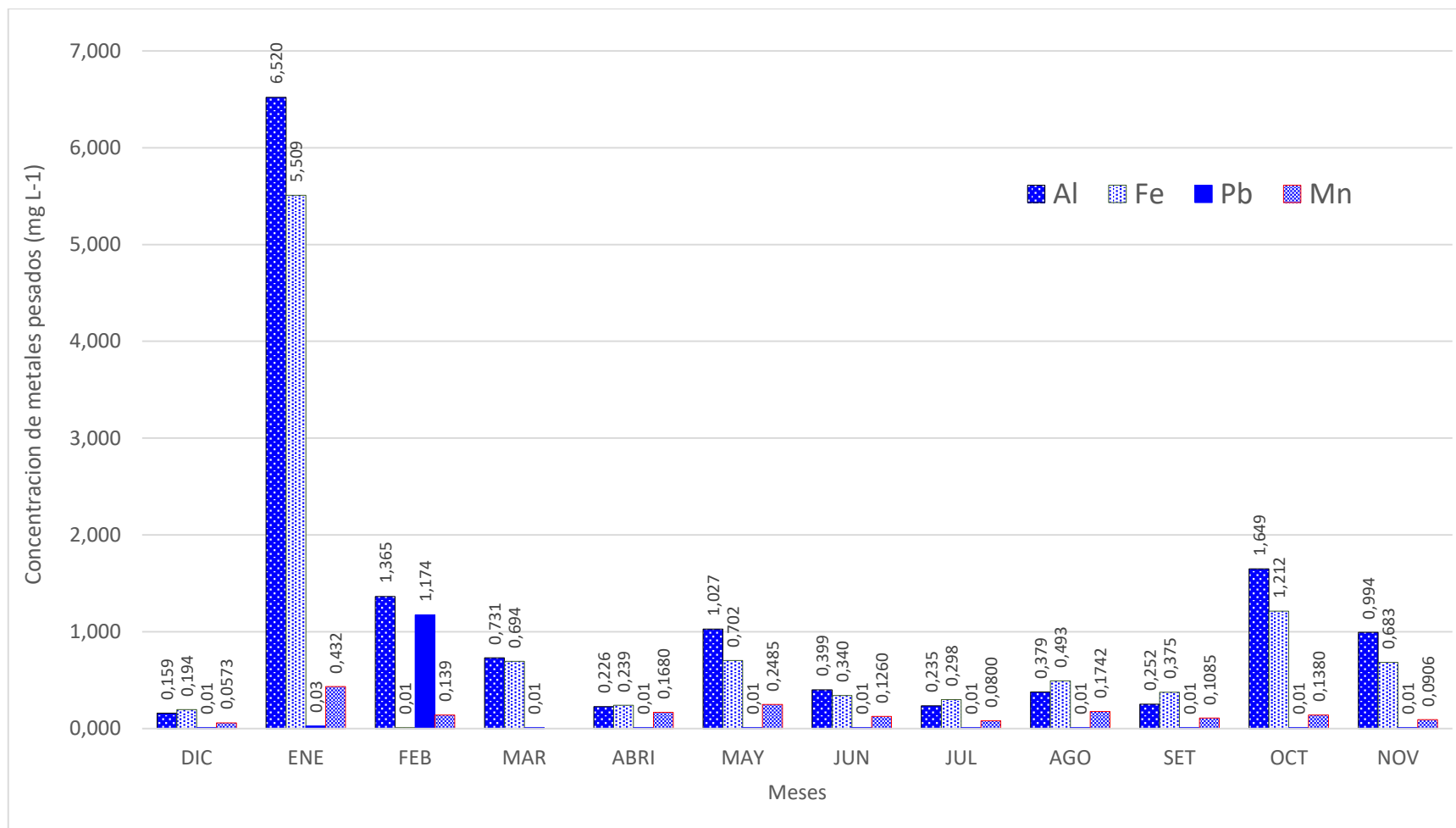


Figura 9. Evolución mensual de la concentración de Al, Fe, Pb y Mn en la bocatoma de la captación de agua para la planta de tratamiento de agua “El Milagro” (RGR).

De manera general se asume que los metales evaluados se encuentran en contacto permanente con las aguas del río Grande y sus tributarios. Sin embargo, es probable que existan fuentes externas que en determinado momento ingresen a estas aguas, es por ello la oscilación de la concentración de estos metales durante el periodo de evaluación, siendo más resaltante en los casos donde entre una evaluación y otra varía enormemente, hecho que de por sí ya resulta demasiado irregular; 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: aluminio entre 120 y 170 mg L⁻¹, hierro entre 150 y 250 mg L⁻¹, manganeso entre 20 y 40 mg L⁻¹, y que luego del tratamiento final estos valores pueden descender hasta: aluminio entre 5 y 10 mg L⁻¹; hierro entre 2 y 5 mg L⁻¹ y manganeso 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 en la concentración de metales pesados puede deberse a varios factores como: la concentración y distribución en la fuente de origen, el volumen de agua, el pH del agua, la presencia de fuentes externas que aporten dicho metales, 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 en cada monitoreo 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 periodos muy prolongados no son muy realistas y por ende poco fiables.

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

La actividad minera en la región Cajamarca data desde la colonia (Taylor 1994), sin embargo no es hasta 1992, con la nueva legislación de promoción minera, que se vira de

una pequeña y mediana minería 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 a los requerimientos de esta mega actividad, es por ello que las empresas mineras, encontraron muchas facilidades y ventajas para desarrollarse libremente.

Estas falencias legislativas han provocado en el transcurso del tiempo 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, ya sea por la calidad como por la cantidad.

La primera manifestación del conflicto entre las empresas mineras y los campesinos se relaciona al proceso de compra de tierras. La segunda, tiene su origen en los impactos de la actividad minera 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, pues todos hacemos uso del agua que nace en los territorios propiedad de la empresa minera (Arana 2002).

Los inicios de una política de gestión pública ambiental se remontan a 1990 con la promulgación del Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, reforzado con la creación del Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAM) en 1994; el fortalecimiento de mecanismos e instrumentos transectoriales como el Reglamento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) en 1998, la Comisión Técnica Multisectorial, la Comisión Ambiental Transectorial, el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y la Ley General de Residuos Sólidos (Glave y Morales 2005). Finalmente, y a partir de la Ley 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (2004), se pretende consolidar un Sistema Nacional de Gestión Pública Ambiental mediante el fortalecimiento de las capacidades de gestión transectorial y territorial del Consejo Nacional del Ambiente (Glave y Kuramoto 2007).

A través del Ministerio de Energía y Minas se implementaron los programas de adecuación y manejo ambiental (PAMA), los estudios de impacto ambiental (EIA) y otros instrumentos de gestión y monitoreo ambiental. Sin embargo, y a pesar de los esfuerzos enumerados en el marco del sistema de gestión ambiental, este Ministerio no ha logrado superar el modelo sectorial centralizado de años anteriores. Existe, en la práctica, una escasa coordinación con otras instituciones y sectores vinculados al ámbito ambiental, así como una baja capacidad de los gobiernos regionales para aplicar políticas y fiscalizar en materia ambiental, acciones que aún están centralizadas. La evolución de este último aspecto tendrá que ser analizado en un mediano plazo, una vez que se culmine el proceso de transferencia de funciones previsto por el Consejo Nacional de Descentralización (Glave y Kuramoto 2007).

En tal sentido, son pocos los argumentos técnicos y científicos que nos conduzcan a sostener cuan graves o irrelevantes han sido los impactos de la actividad minera en la cabecera de cuenca con relación al recurso hídrico y demás recursos naturales. Sin embargo, los impactos negativos sobre todos los recursos naturales son cada vez más evidentes, tanto en su calidad como en su cantidad que es poco probable que la actividad minera, ubicada en la zona productora del agua que consume la ciudad de Cajamarca y miles de campesinos, no pueda estar impactando no sólo la calidad y cantidad del agua sino del resto de recursos naturales.

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 los valores que se obtengan en algún otro momento.

4.8. Concentración de los metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua

El estado peruano, el 30 de julio de 2008 mediante D.S. 002-2008 – MINAM, aprobó los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, estándares que sustituyen a los establecidos en la ley de aguas de 1969 (D.L. N° 17752 del 24 de julio de 1969) y sus modificatorias.

El 19 de diciembre de 2015, mediante D.S. N° 015- 2015-MINAM, se modificaron los estándares de calidad ambiental aprobados el 2008. Mediante este decreto varios metales pesados incrementaron su concentración de manera significativa.

Las aguas provenientes del río Grande y sus tributarios, materia del presente estudio, en su mayoría tiene como destino el consumo humano, cuyo usuario final es la población de la ciudad de Cajamarca. Un porcentaje de esta agua también es utilizada para riego en época de estiaje y para el consumo de animales. En tal sentido, las aguas de esta subcuenca, de acuerdo a la legislación vigente deben ubicarse dentro de la Categoría I: uso poblacional y recreacional, y es en relación a estos estándares que se hizo el presente análisis.

Los resultados obtenidos en el monitoreo con los Estándares Nacionales para Agua Categoría 1, clase A3 (tabla 7), aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado. En tal sentido, todas las comparaciones posteriores estarán descritas bajo estos parámetros.

En los gráficos siguientes, se incluye dos barras adicionales que corresponden a los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para los diferentes metales evaluados. Ello nos permite comparar los valores obtenidos en la presente investigación con los valores establecidos en la norma vigente (2015) así como con la norma anterior (2008), que en varios casos los incrementos han sido bastante considerables como es el caso del aluminio, hierro y arsénico, cuyos incrementos fueron de 2500%, 300% y 500% respectivamente.

El espacio donde se originan las aguas del río Grande y sus tributarios, hasta antes de 1992 era un espacio de vida silvestre, constituido principalmente por extensos pajonales, centenares de herbáceas y algunos arbustos. La presencia humana era únicamente con fines de pastoreo del ganado vacuno y ovino, no existía ninguna otra actividad humana relevante, por lo que las aguas provenientes de esta zona no estaban severamente impactadas como lo están ahora, y bastaba la desinfección o tratamiento convencional para convertirla en apta para consumo humano, es decir estas aguas se ubicaban en la clase A1 y clase A2.

A partir de 1992, al iniciarse la actividad minera en estos espacios, no sólo se dio inicio a la afectación de la cantidad sino también de la calidad de estas aguas (Arana 2015), proceso que se ha incrementado significativamente con el transcurrir de los años.

Es necesario señalar que se hace la comparación con aguas de tipo A1. Porque el agua de la sub cuenca del río Grande es utilizado, en varias comunidades, para el consumo humano.

Tabla 6. Concentración promedio de metales pesados por punto de monitoreo y por estación climática.

PUNTO MONITOREO	METALES PESADOS (mg L ⁻¹)															
	Al TOTAL		As TOTAL		Fe TOTAL		Cd TOTAL		Hg TOTAL		Pb TOTAL		Zn TOTAL		Mn TOTAL	
	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	SECA
QCBB	0.412		0.010		0.702		0.001		0.0003		0.010		0.052		0.158	
RG2	0.850	1.143	0.018	0.010	0.692	0.451	0.001	0.001	0.0003	0.0004	0.016	0.010	0.047	0.052	0.591	0.239
QE3	2.236	1.384	0.010	0.010	0.677	0.342	0.003	0.002	0.0003	0.0004	0.010	0.010	0.347	0.159	0.455	0.533
QQC	0.542	0.459	0.010	0.010	0.442	0.307	0.001	0.001	0.0003	0.0004	0.067	0.010	0.019	0.013	0.059	0.037
RGPM3	1.025	0.821	0.012	0.010	0.868	0.746	0.001	0.001	0.0003	0.0004	0.090	0.010	0.079	0.045	0.220	0.225
RGDS	0.491	0.691	0.010	0.010	0.400	0.611	0.001	0.001	0.0003	0.0004	0.135	0.010	0.083	0.042	0.254	0.271
QVZ2	1.024	0.596	0.014	0.014	1.132	0.936	0.001	0.001	0.0004	0.0004	0.100	0.022	0.014	0.014	0.084	0.102
RGR	1.800	0.705	0.012	0.010	1.329	0.586	0.001	0.001	0.0003	0.0004	0.246	0.010	0.051	0.026	0.199	0.138

Tabla 7. Estándares de calidad para agua, Categoría 1: poblacional y recreacional (D.S. N° 002-2008-MINAM, modificado por D.S. N° 015-2015-MINAM).

Parámetro	Unidad	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable						Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1		A2		A3		B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.	Contacto primario	Contacto secundario		
		2008	2015	2008	2015	2008	2015		
pH	Unidad de pH		6,5 – 8,5		5,5 – 9,0		5,5 – 9,0	6 - 9 (2,5)	**
Aluminio	mg/L	0,2	0,9	0,2	0,5	0,2	5,0	0,2	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,15	0,01	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,003	0,003	0,01	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	2	2	2	**
Hierro	mg/L	0,3	0,3	1	1	1	5,0	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,4	0,5			0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	**
Plomo	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01	**
Zinc	mg/L	3	3	5	5	5	5	3	**

** Se entenderá que para esta subcategoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente determine.

Fuente: MINAM 2008 y MINAM 2015

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 de esta actividad, es muy probable que la calidad actual del río Grande y sus afluentes sea debido principalmente a esta actividad.

Aluminio total

Hasta el 19 diciembre de 2015, el estándar de calidad ambiental del aluminio en aguas para uso doméstico era $0,2 \text{ mg L}^{-1}$, a partir de esta fecha pasó a $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ (tabla 7), es decir el incremento de diciembre con relación al estándar anterior fue de 2500%, rango establecido mediante D.S. N° 015-2015-MINAM.

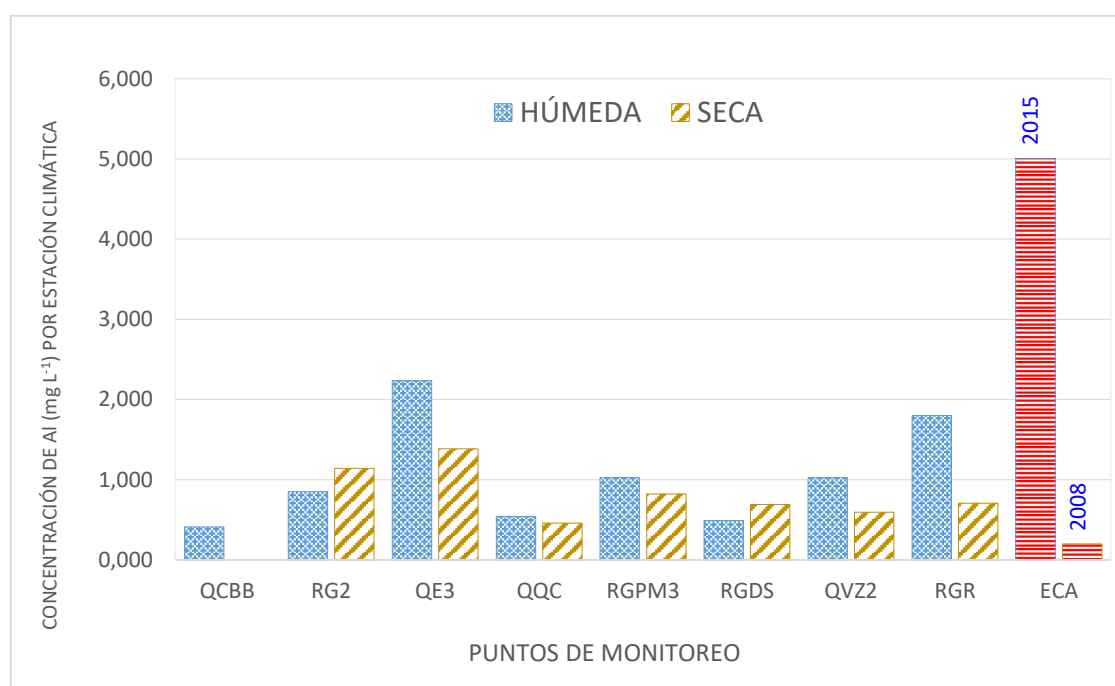


Figura 10. Concentración de aluminio (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas.

Con los estándares ambientales anteriores, todos los puntos de monitoreo sobrepasaban estos límites tanto en la estación seca como en la estación húmeda. Siendo en tal sentido con la legislación anterior, aguas no aptas para consumo humano; sin embargo, luego de la modificatoria de diciembre de 2015 (tabla 7), 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 estándares de calidad ambiental vigente (tabla 6).

Arsénico total

Según la norma actual (D.S. N° 015-2015-MINAM), el estándar de calidad ambiental para este metal es de $0,15 \text{ mg L}^{-1}$, nivel muy superior a lo establecido hasta antes de diciembre de 2015, cuyo valor era de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$. El valor actual se ha incrementado en 300% con relación al valor anterior.

En los puntos de monitoreo, este metal varió entre $0,010$ y $0,018 \text{ mg L}^{-1}$, entre un punto de monitoreo y otro y entre una y otra estación climática. Según esto, en ningún caso sobrepasó los estándares de calidad ambiental, ni antes y después de la modificatoria legal de diciembre de 2015 (tabla 7).

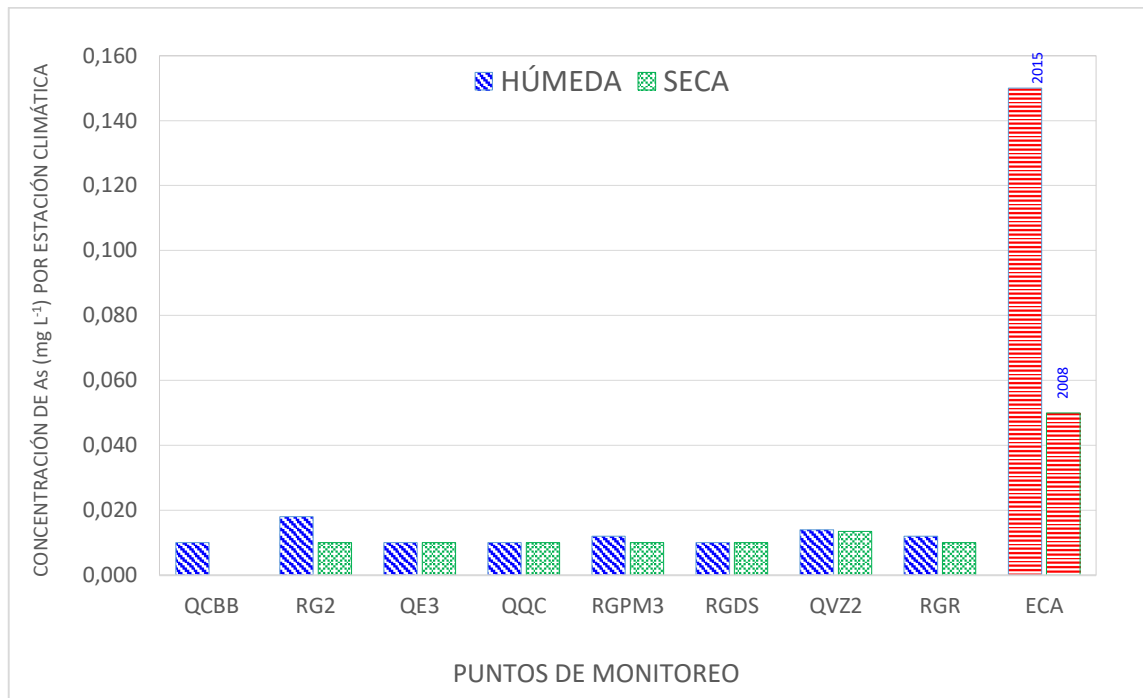


Figura 11. Concentración de arsénico total (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas

El arsénico fue uno de los pocos metales que mantuvo casi una concentración constante en los diferentes puntos de monitoreo. Tampoco manifestó una variación significativa entre una y otra estación climática.

Hierro total

De acuerdo a la normatividad vigente (tabla 7), el hierro tampoco sobrepasa los estándares de calidad ambiental ($5,0 \text{ mg L}^{-1}$); sin embargo, comparando con lo

establecido hasta antes de diciembre de 2015 ($1,0 \text{ mg L}^{-1}$), dos puntos de monitoreo, el RGR ($1,329 \text{ mg L}^{-1}$) y el QVZ2 ($1,132 \text{ mg L}^{-1}$), ambos en la estación húmeda, sobrepasaron dichos estándares de calidad ambiental.

Nuestra región se caracteriza por tener dos estaciones climáticas bien marcadas, la estación seca o de estiaje y la estación húmeda o lluviosa. La seca se caracteriza por la ausencia casi total de lluvias, mientras que en la lluviosa ocurre todo lo contrario, son los meses de abundantes precipitaciones y neblinas. En este sentido, es fácil entender que la concentración de metales pesados sea mayor en la época de estiaje, debido al menor volumen de agua en los cuales está presente el metal, sin embargo esto puede variar de acuerdo a la procedencia de los metales pesados.

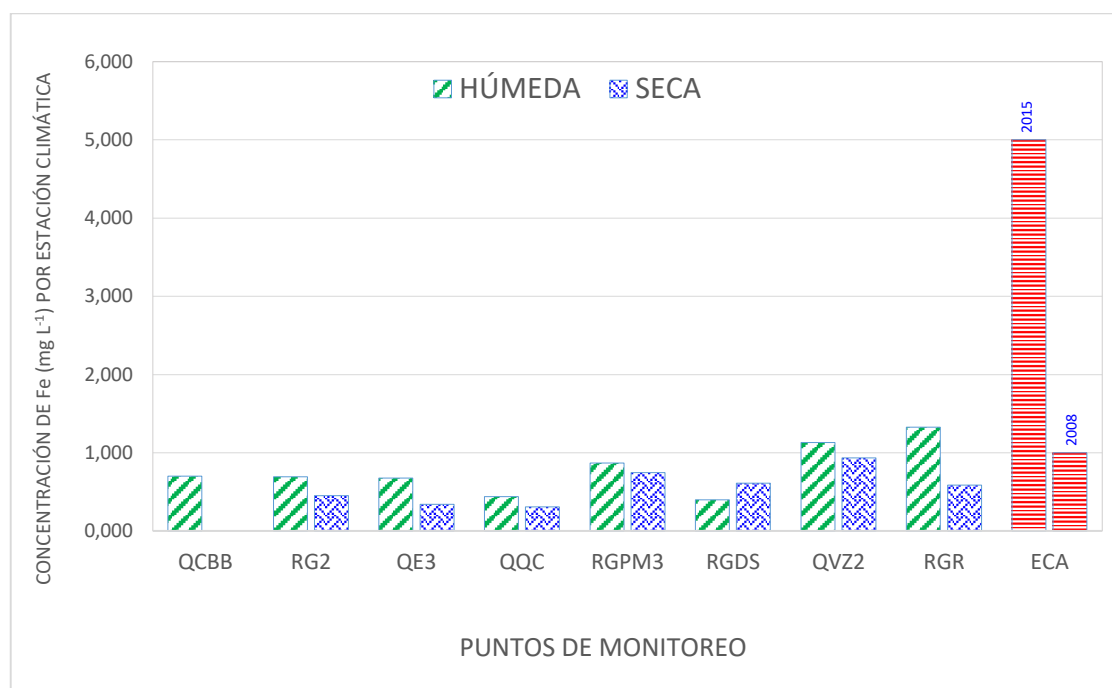


Figura 12. Concentración del hierro total (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas.

Con relación al hierro total en la estación seca (tabla 6), los punto de monitoreo 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 $0,746 \text{ mg L}^{-1}$. En este caso tampoco sobrepasó los estándares de calidad ambiental, ni para la actual ni la antigua legal.

Cadmio total

La normatividad actual, no ha modificado la concentración para este metal, habiendo quedado establecido en $0,01 \text{ mg L}^{-1}$, valor muy superior a lo encontrado en los puntos

de monitoreo, lo que indica que con respecto a este metal, las aguas cumplen con la normatividad vigente.

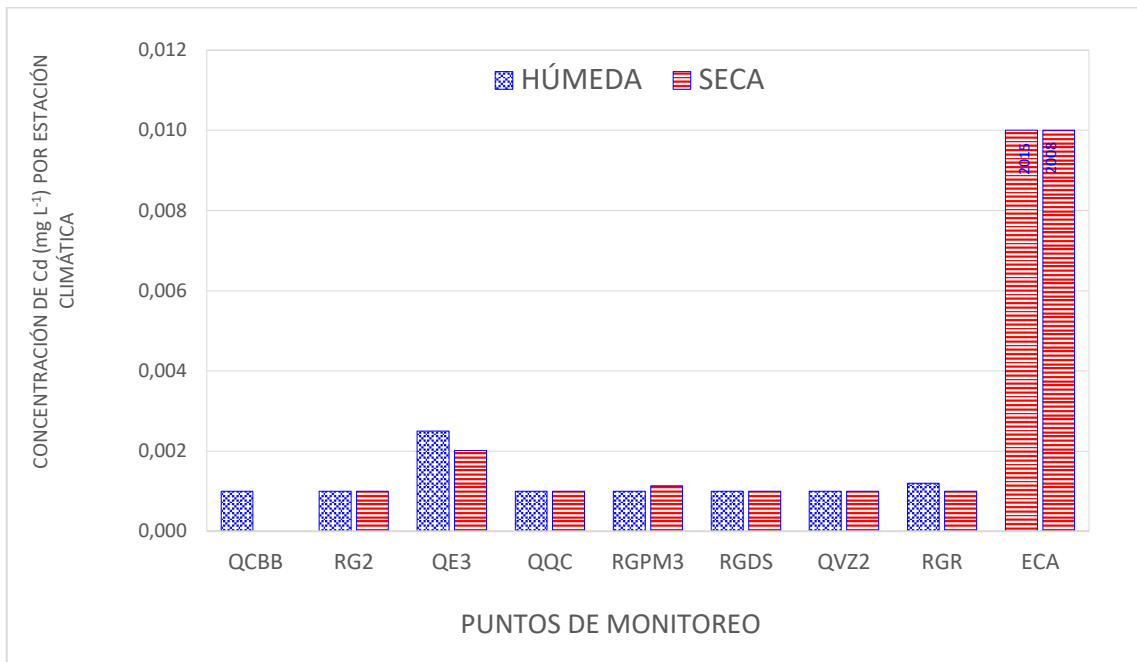


Figura 13. Concentración de cadmio total (mg L⁻¹) en las dos estaciones climáticas.

Mercurio total

Fue uno de los metales que en todos los puntos de monitoreo y en las dos estaciones climáticas, presentó los niveles más bajos de concentración y de acuerdo a la normatividad actual, en ningún caso, sobrepasó los estándares de calidad ambiental. Es uno de los pocos metales cuya presencia durante todo el periodo de evaluación en los diferentes puntos de monitoreo se mantuvo en valores casi constantes (tabla 6).

La norma vigente (2015) no ha variado con relación a lo establecido en la norma del 2008. Es uno de los pocos metales cuya concentración permisible tiene valores bastante bajos, sin embargo, ello tiene relación con su grado de toxicidad tanto en el ambiente como en los seres vivos.

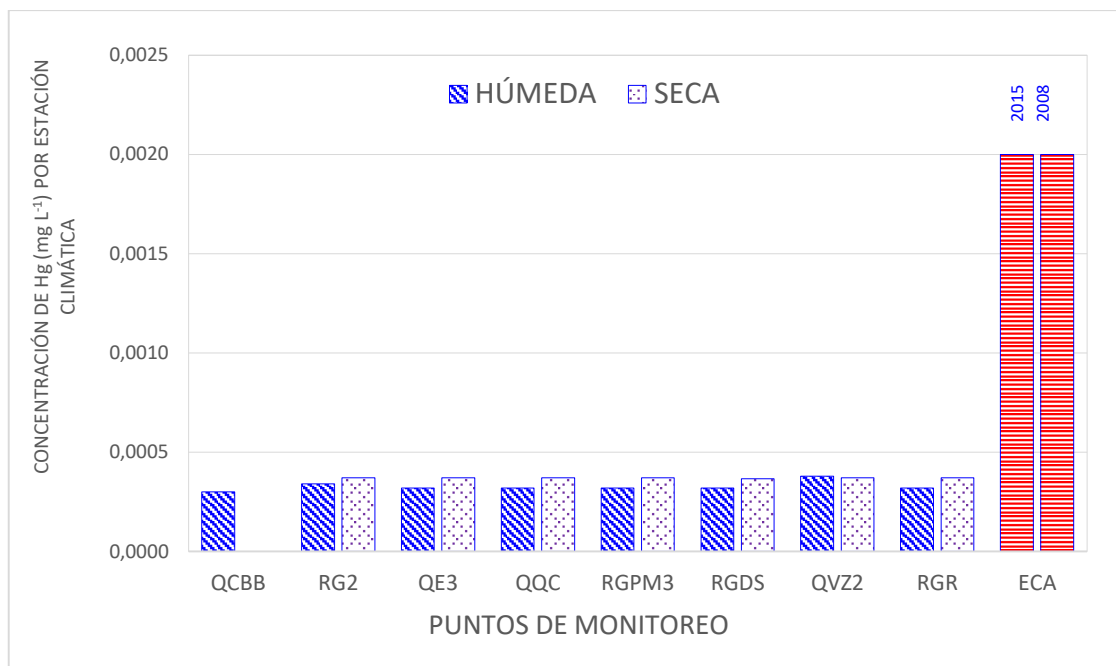


Figura 14. Concentración de mercurio total (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas.

Plomo total

Este metal tampoco ha variado con la nueva legislación ambiental, mantiene sus valores establecidos en el D.S. N° 002-2008-MINAM, cuyo valor es de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ (tabla 7).

Cinco puntos de monitoreo manifestaron concentraciones que sobrepasaron largamente los estándares de calidad ambiental en la estación húmeda. El punto de monitoreo RGR (ubicado en el ingreso a la planta de tratamiento de aguas “El Milagro”) alcanzó la máxima concentración de plomo con $0,246 \text{ mg L}^{-1}$ en la estación húmeda. El segundo punto con la mayor concentración fue el RGDS con $0,135 \text{ mg L}^{-1}$ en la estación húmeda. El punto de monitoreo QVZ2 en promedio manifestó una concentración de $0,10 \text{ mg L}^{-1}$ en la estación húmeda. Finalmente fueron los puntos de monitoreo QCBB y QE3 los que presentaron las menores concentraciones ambos con $0,010 \text{ mg L}^{-1}$ ambos en estación húmeda (tabla 6).

Con relación a la estación seca, fueron los puntos RGDS y QVZ2 los que manifestaron una mayor concentración de este metal con valor promedio de $0,022 \text{ mg L}^{-1}$ para ambos casos. El resto de puntos de monitoreo, todos presentaron un valor de $0,010 \text{ mg L}^{-1}$, que comparado con la legislación actual, tampoco sobrepasa los estándares de calidad ambiental (tabla 6 y tabla 7).

En este caso, la mayor concentración del plomo se presentó en los meses de lluvia, lo que indica que las fuentes pueden ser externas al cauce, que bien 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).

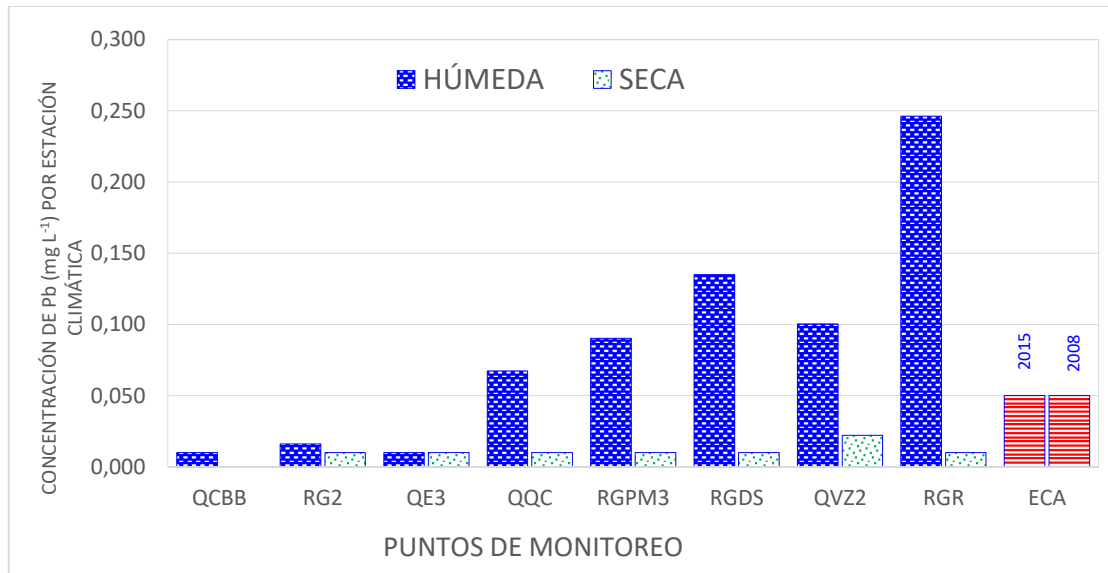


Figura 15. Concentración de plomo total (mg L⁻¹) en las dos estaciones climáticas.

Este resultado resulta preocupante porque la mayor concentración del plomo se ubica en el punto RGR, que es el punto de ingreso a la planta de tratamiento de aguas El Milagro, donde la concentración fue superior en 492% comparado con el estándar de calidad ambiental, es decir casi cinco veces mayor al nivel permitido.

Zinc total

Todos los puntos de monitoreo no sobrepasaron los estándares nacionales de calidad ambiental, que para nuestro país ha sido establecido en 5,0 mg L⁻¹, tanto en la norma actual como en la anterior (tabla 7).

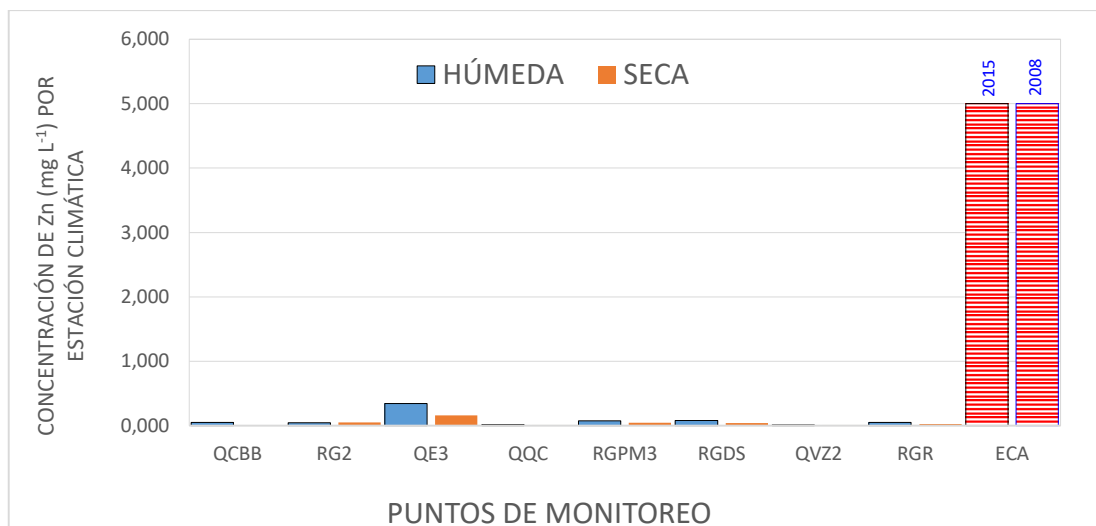


Figura 16. Concentración de zinc total (mg L^{-1}) en las dos estaciones climáticas.

Manganeso total

Este metal no tiene estándar de calidad ambiental para la clase A3, es por ello que se tomó como referencia la clase A2, cuyo valor ha sido establecido en $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ (tabla 7).

El punto de monitoreo RG2 fue el único que sobrepasó los estándares de calidad ambiental para este metal en la estación húmeda, cuyo valor estacional fue de $0,591 \text{ mg L}^{-1}$, el otro punto con un alta concentración fue el QE3 con $0,455 \text{ mg L}^{-1}$, ligeramente por debajo del estándar nacional. El resto de puntos están por debajo del estándar establecido.

En la estación seca fue el punto QE3 que sobrepasó ligeramente el estándar nacional de calidad ambiental, cuyo valor promedio para la estación seca fue de $0,533 \text{ mg L}^{-1}$ (tabla 6). El resto de puntos de monitoreo, estuvieron por debajo de lo establecido por la norma.

Según los nuevos estándares de calidad ambiental, aprobados el 19 de diciembre de 2015, tomando todos los puntos de monitoreo, en la estación seca, solamente el manganeso sobrepasó los límites máximos permisibles, el resto están por debajo de lo establecido por la nueva norma.

De igual modo, en la estación lluviosa, solamente dos metales sobrepasaron los estándares nacionales de calidad ambiental, el manganeso y el plomo.

Considerando que la investigación se desarrolló, antes de la aprobación de estos estándares de calidad ambiental, fueron tres metales los que sobrepasaron los estándares de calidad ambiental en la estación seca, el aluminio, el arsénico y el manganeso y dos en la estación húmeda, el manganeso y el plomo.

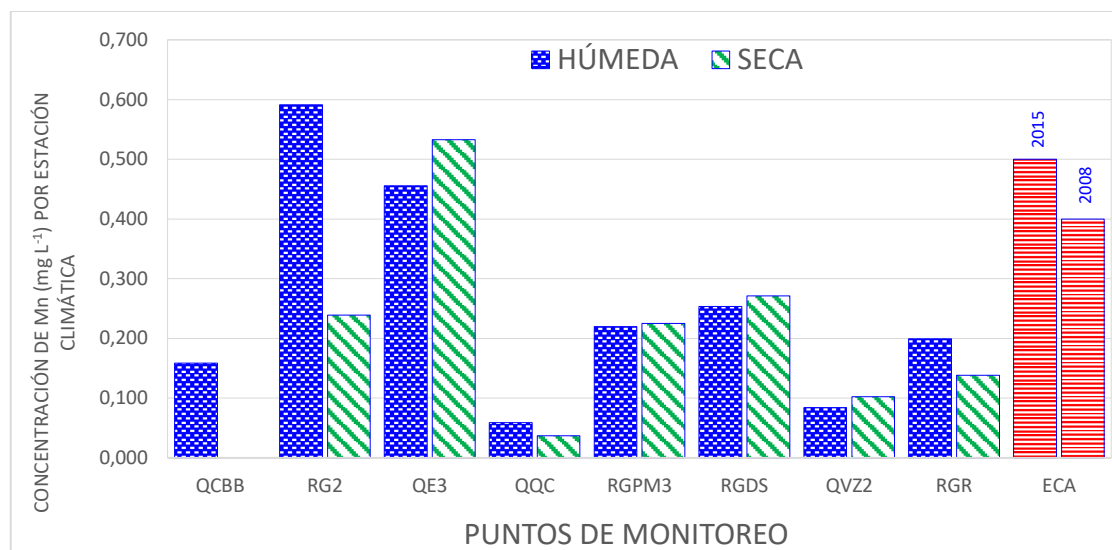


Figura 17. Concentración de manganeso total (mg L⁻¹) en las dos estaciones climáticas.

Es necesario aclarar, que estos resultados son de aguas sin ningún tratamiento y que al ingresar a la planta de tratamiento de aguas “El Milagro” pasan por un proceso donde algunos metales pesados pueden ver reducida su concentración, debido principalmente al proceso de sedimentación.

Si bien la concentración de metales pesados encontrados en todos los casos son bajas, ello no significa que no causen graves impactos en el ecosistema acuático y por ende en el ser humano, más aun teniendo en cuenta que todas estas aguas terminan siendo consumidas por la población cajamarquina y es más, las evaluaciones únicamente fueron de aguas mas no de sedimentos, que es el sitio donde se van acumulando 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, por vía natural o antropogénica, quedan retenidos en los sedimentos que se depositan en el fondo del cauce, causando efectos tóxicos sobre los sistemas acuáticos. Estos depósitos al interactuar 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 la presente investigación se ha centrado únicamente en la concentración de metales pesados en aguas, y a juzgar por los resultados la mayoría de ellos están por debajo de los estándares nacionales vigentes, ello no implica que no representen ningún peligro a futuro tanto para los ecosistemas acuáticos como para la población cajamarquina que hace uso de estas aguas. Y aun mas, 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).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. 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. El plomo fue el único metal que en cinco puntos de monitoreo 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 de este metal ($0,246 \text{ mg L}^{-1}$), 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 climática húmeda, y en el punto QE3 excedió en 6.6% a dicho estándar en la estación seca.

5.2. Recomendaciones

En base al presente trabajo de investigación se recomienda lo siguiente:

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.

Adame A. Salín DA. 1993. Contaminación ambiental. Editorial Trillas S.A. México. 177 pág.

Andía W. 2006. Manual de gestión ambiental. Centro de investigación y capacitación empresarial (CICE). Librería Editorial "El Saber". Lima Perú. 202 pág.

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%ADculo%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.

Atkins D; Calderón C; Montoya E; Morales E. 2005. Evaluación de la calidad del agua en Cajamarca, Perú. Informe anual de monitoreo 2004-2005. Preparado para: Compliance Advisor/Ombudsman (CAO). Disponible en: <http://www.cao-ombudsman.org/cases/document-links/documents/EvaluaciondeLaCalidaddelAgua2004-2005.pdf>. Consultado el 20 de octubre de 2015. 100 pág.

Badillo JF. 1997. Plomo. En curso básico de toxicología ambiental. Albert LA. Ed. Centro panamericano de ecología humana y salud. OPS. OMS. Editorial Limusa S. A. de C.V. Grupo Noriega Editores. Tercera reimpresión. México. 311 pág.

Baird C. 2001. Química ambiental. Editorial Reverté S.A. título original: Environmental chemistry. Segunda edición. Domingraf impressors. España. 622 pág.

Benavides R. 2012. La minería responsable y sus aportes al desarrollo del Perú. Impresión Comunica2 SAC. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Lima-Perú. 76 pág.

Castro JA. 1997. Arsénico. En curso básico de toxicología ambiental. Albert LA. Ed. Centro panamericano de ecología humana y salud. OPS. OMS. Editorial Limusa S. A. de C.V. Grupo Noriega Editores. Tercera reimpresión. México. 311 pág.

Deza N. 2002. Oro, cianuro y otras crónicas ambientales. Editorial universitaria UNC. Cajamarca-Perú. 210 pág.

Doménech X. Peral J. 2012. Química ambiental de sistemas terrestres. Editorial Reverté S.A. Impreso por Impulso Global Solutions. España. 293 pág.

Figueroa A. 1997. Cromo. En curso básico de toxicología ambiental. Albert LA. Ed. Centro panamericano de ecología humana y salud. OPS. OMS. Editorial Limusa S. A. de C.V. Grupo Noriega Editores. Tercera reimpresión. México. 311 pág.

Glave M; y Kuramoto J. 2007. La minería peruana: lo que sabemos y lo que aún nos falta por saber. In Investigación, políticas y desarrollo en el Perú. Grade, Grupo de Análisis para el Desarrollo. Remanso Ediciones E.I.R.L. Lima Perú. pág. 135-182.

Glave M; y Morales R. 2005. Análisis institucional ambiental en el Perú: Country Environmental Analysis Perú 2005. Documento preparado por encargo del Banco Mundial.

Gómez DM. 2011. Validación de la metodología por el método estándar 3111^a – absorción atómica para el análisis de metales pesados en muestras de aguas y aguas residuales. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de tecnologías. Escuela de tecnología química Pereira. Proyecto de trabajo de grado para optar por el título de tecnólogo químico. Colombia. 67 pág.

Guzmán G; Deza N. 2009. Generación de aguas acidas en botaderos de desmonte y en relaves abandonados en Hualgayoc, Cajamarca 2009. En Fiat lux 5(2):11-21. Escuela de postgrado de la UNC. Martínez compañero Editores S.R.L. Cajamarca – Perú.

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.

INGETEC S.A. 2003. Auditoría ambiental y evaluaciones ambientales de las operaciones de la minera Yanacocha en Cajamarca – Perú. Bogotá, Colombia. 421 pág.

INRENA. Administración Técnica del Distrito de Riego Cajamarca. 2007. Inventario participativo de fuentes de agua superficial de la cuenca del río

Mashcón. Disponible en:

http://www.ana.gob.pe/media/293513/fuentes_agua_superficial_mashcon.pdf.
Cajamarca. 63 pág.

Juárez H. 2012. Contaminación del río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el Cono Este de Lima Metropolitana. Informe de investigación. Programa Internacional de Becas de Investigación en Agricultura Urbana – AGROPOLIS del programa Urban Poverty & Environment Program (UPE) del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC-Canada) y la Iniciativa Global de Cosecha Urbana (Global initiative on Urban Harvest). LIMA-PERU. 87 pág.

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.

Masters GM; Ela WP. 2008. Introducción a la ingeniería medioambiental. Pearson Prentice Hall. Trad. Díaz Y; Muñoz J. Madrid España. 737 pág.

MWH PERU S.A. 2006. Estudio de impacto ambiental proyecto Yanacocha suplementario. Resumen Ejecutivo San Isidro Lima, Perú. 53 pág.

Negrete RE. 2013. Derechos, minería y conflictos. Aspectos normativos. En Minería en Colombia. Fundamentos para superar el modelo extractivista. Contraloría General de la República. Viana J; Alarcón O; Medina R. Eds. Imprenta Nacional. Colombia. 210 pág.

Nebel, BJ; Wright, RT. 1999. Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo sostenible. Trad. FJ. Dávila. Sexta edición. Editorial Prentice hall. México. 498 pág.

Orozco C; Pérez A; Gonzales Ma N; Rodríguez F; Alfayate JM. 2008. Contaminación ambiental. Una visión desde la química. Paraninfo S.A. Madrid España. 5ta reimpresión. 684 pág.

Oyarzun R; Higuera P; Lillo J. 2011. Minería Ambiental: Una Introducción a los Impactos y su remediación. Ediciones GEMM - Aula2punto.net. Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. Madrid - España. Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. EIMI Almadén. Universidad de Castilla-La Mancha, Almadén - España. Departamento de Biología y Geología. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Universidad Rey Juan Carlos. Móstoles - España. 337 pág.

Oyarzún, J. (2001). Algunos metales y metaloides con propiedades tóxicas o carcinogénicas: distribución natural y riesgos por contaminación en Chile. En Revista Chilena de Salud Pública 5(2/3):96-101.

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 compañero Editores S.R.L.

Plataforma de Contrapartes NOVIB Grupo temático medio ambiente. 2000. Minería y contaminación ambiental en el Perú. Prc-cidiag. Lima Perú. 128 pág.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) 2005. Evaluación mundial sobre el mercurio. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Productos Químicos, Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Ginebra, Suiza. 303 pág.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) 2007. Perspectivas del medio ambiente mundial: medio ambiente para el desarrollo. Traducido e impreso por: Phoenix Design Aid. Dinamarca. 540 pág.

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.

Red Muqui 2014. Propuesta de políticas públicas para una nueva minería en el Perú. Grupo Propuesta Ciudadana. Impresión: Sinco editores. Lima-Perú. 188 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.

Sánchez S. Chávez J. Lucio L. 2015. Pasivos ambientales mineros en la región Cajamarca. Grufides. 2015. Disponible en <http://www.grufides.org/sites/default/files//documentos/documentos/%5bv4.0%5d%20informe->

.%20pasivos%20ambientales%20presentes%20en%20la%20regi%20c3%20b3n%20ca
jamarca_2.pdf. Consultado el 19 de octubre de 2015. 55 pág.

Seoáñez. M. 1999. Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión. Mundi Prensa Libros S.A. Madrid. España. 806 pág.

Sociedad Estatal Expoagua Zaragoza 2008, S.A. 2006. El agua, una responsabilidad compartida. 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Impresiones Edelvives. Traducción: VOCENTO. Zaragoza-España. 568 pág.

Stratus Consulting Inc. 2003. Reporte de Evaluación Independiente de calidad y cantidad de agua en la cercanía del Distrito Minero Yanacocha – Cajamarca, Perú.

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.

Yupari A. s.f. Pasivos ambientales mineros en Sudamérica. Informe elaborado para la CEPAL, el Servicio Nacional de Geología y Minería y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, BGR., disponible en: <http://www.cepal.org/drni/noticias/seminarios/4/13604/Informe%20Pasivos%20Ambientales%20Mineros%20en%20Sudam%20C3%A9rica.pdf>. Consultado el 20 de octubre de 2015.

Zavaleta M. 2013. La política de lo técnico: una aproximación al desarrollo del conflicto conga. En: Los límites de la expansión minera en el Perú. Asociación servicios educativos rurales (SER). Torres J. Ed. Tarea asociación grafica educativa. Lima Perú. 152 pág.

APÉNDICES



Figura 18. Imagen satelital del recorrido del río Grande y su vinculación con la actividad minera, la planta de tratamiento de agua “El Milagro” y la ciudad de Cajamarca. Fuente: Adaptación de Google Earth .



Figura 19. Punto de monitoreo en quebrada Corral Blanco-Coremayo (QCBB)



Figura 20. Algunos instrumentos para el monitoreo del agua



Figura 21. Punto de monitoreo después de la unión de las quebradas Encajón y Quishuar Corral (RGPM3).



Figura 22. Punto de monitoreo después de la unión del río Grande con la quebrada Vizcachayoc (RGDS).



Figura 23. Trabajo de rutina en la toma de muestras.