

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2025,
Volumen 9, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CANTIDAD DE LAS AGUAS DEL RIO EL TINGO – HUALGAYOC EN EL PRIMER AÑO DE EXPLOTACIÓN POR MINERA LA CIMA

**EVALUATION OF THE QUALITY AND QUANTITY OF
SURFACE WATER TINGO-HUALGAYOC IN THE FIRST YEAR
OF EXPLOITATION BY MINERA LA CIMA**

Guillermo Alejandro Chávez Santa Cruz

Universidad Nacional Autónoma de Chota, Perú

Segundo Sánchez Tello

Universidad Nacional de Jaén, Perú

José Alejandro Romero Rojas

Universidad Nacional de Cajamarca, Perú

Luis Gaitán Guerra

Universidad Nacional de Cajamarca, Perú

Edgar Alejandro Chávez Quiroz

Universidad Nacional de Cajamarca, Perú

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17133

Evaluación de la Calidad y Cantidad de las Aguas del Río El Tingo – Hualgayoc en el Primer Año de Explotación por Minera La Cima

Guillermo Alejandro Chávez Santa Cruz¹

gachavezsc@unach.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0000-3133-1652>

Universidad Nacional Autónoma de Chota
Perú

Segundo Sánchez Tello

Segundo.sanchez@unj.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-4031-9430>

Universidad Nacional de Jaén
Perú

José Alejandro Romero Rojas

jromeror_epg24@unc.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0002-2527-1045>

Universidad Nacional de Cajamarca
Perú

Luis Gaitán Guerra

lgaitan@unc.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-0453-8396>

Universidad Nacional de Cajamarca
Perú

Edgar Alejandro Chávez Quiroz

Edgarcq85@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-1466-8254>

Universidad Nacional de Cajamarca
Perú

RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación fue evaluar la calidad y cantidad de las aguas del Río El Tingo – Hualgayoc, en el primer año de explotación por minera La Cima, siendo este el principal abastecedor de aguas para riego de la cuenca Maygasbamba - El Tingo, se investigó los factores determinantes de la calidad y cantidad de las aguas, en Parámetros físicos y químicos (Temperatura, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto y caudal), metales totales: (Arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc), cianuro total, los resultados obtenidos fueron: el agua no presentó alteraciones en los parámetros físicos. Los niveles de metales: Arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo, la conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto superaron los Límites Máximos Permisibles, mientras que los niveles de cianuro, cromo, zinc y DBO, no superaron los Límites Máximos Permisibles. La calidad del agua de los puntos monitoreados, aguas abajo, del río El Tingo, no es apta para la agricultura ni para la bebida de animales, por el alto grado de contaminación por metales pesados.

Palabras Claves: calidad del agua, río el tingo, minera la cima, metales pesados

¹ Autor principal

Correspondencia: gachavezsc@unach.edu.pe

Evaluation of the Quality and Quantity of Surface water Tingo-Hualgayoc in the first Year of Exploitation by Minera la Cima

ABSTRACT

The main objective of the present investigation was to evaluate the quality and quantity of the water of the River el Tingo - Hualgayoc, in the first year of mining works by La Cima, being this the main supplier of waters for watering the basin Maygasbamba - The Tingo, was investigated the factors of the quality and quantity of the water, in physical-chemical parameters (Temperature, pH, conductivity, dissolved total solids, dissolved oxygen and Flow), total metals: (Arsenic, cadmium, copper, iron, manganese, lead and zinc), total cyanide, The results were: The water didn't present alterations in the physical parameters. With respect to metals the levels of Arsenic, Cadmium, Copper, Iron, Manganese, Lead, electric Conductivity, Dissolved Total Solids and Dissolved Oxygen has levels over the Permissible Maximum Limits, but not for the Cyanide, Chromium, Zinc and DBO. The quality of the waters of the points monitored water below, of the river The Tingo, is not capable for the agriculture neither for the drink of animals, for the high degree of contamination for heavy metals.

Key words: quality of the water, the tingo river, mining heavy metals

*Artículo recibido 03 febrero 2025
Aceptado para publicación: 15 marzo 2025*



INTRODUCCIÓN

En toda explotación minera existen movimientos de tierras, uso de químicos que afectan la calidad de las aguas disponibles para uso rural o urbano y produce cambios en la cantidad de las aguas superficiales. En el área de influencia de Minera La Cima Hualgayoc, no se disponía de datos históricos que determinaran qué factores influyen en la calidad y cantidad de las aguas, por lo que en la presente investigación se estudiaron los factores determinantes de la calidad y cantidad de las aguas, surgidos desde la explotación de la Empresa Minera La Cima año 2008, en las nacientes y sus tributarios del río El Tingo.

El trabajo de investigación se realizó desde el mes de enero de 2008 a agosto de 2009.

La economía en el Departamento de Cajamarca, especialmente de la provincia de Hualgayoc, siempre ha estado basada en la actividad agropecuaria, específicamente en cultivos tradicionales y la ganadería, en un segundo plano la actividad minera, la que se realizaba en forma tradicional y/o menor escala. A inicios de la década de los 90, la actividad minera en el Departamento de Cajamarca, se ha desarrollado rápidamente; pero en Hualgayoc la actividad minera se ha desarrollado desde los años 70 del siglo XVIII, lo cual permitió a la sociedad adecuarse al cambio explosivo de orden económico, social, cultural y ecológico; se generó una serie de problemas, entre ellos los problemas ambientales.

Objetivo General

- Evaluar la cantidad y calidad de las aguas del Río El Tingo – Hualgayoc, en el primer año de explotación por la minera la Cima.

Objetivos Específicos

- Determinar las características de la calidad del agua con respecto a tóxicos durante la explotación por Minera La Cima.
- b. Determinar las características de la cantidad de las aguas del Río El Tingo, en el primer año de explotación por la minera la Cima.

Hipótesis General

La calidad y cantidad de las aguas del río El Tingo – Hualgayoc se vería alterada en sus características físico- químicas y concentración de metales pesados, por las actividades mineras.



MARCO TEÓRICO

El Agua

Químicamente el agua es una sustancia que está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, su fórmula molecular es H_2O , el 71% de la superficie de la Tierra está cubierta por agua, la mayor parte de esta agua es salina; 97% del agua de la Tierra está contenida en los océanos del planeta, incluso el 3% de agua que es fresca, (Chang, 1999).

En el mundo, más de 1 000 millones de personas no tienen agua potable y más de dos millones de personas (especialmente niños), mueren por diarreas causadas por beber agua contaminada, por carecer de servicios sanitarios y de agua potable. El porcentaje del agua potable que se consume mundialmente proveniente de aguas subterráneas es de 1%.” (Mujeriego, 1990).

A. No Metales

a-1. Cianuro. El término cianuro incluye a todos los grupos CN^- en compuestos de cianuro que se puedan determinar como tales. Los complejos que forma se clasifican en cianuros simples y complejos. Sólo es mortífero cuando se consume una dosis letal, entonces bloquea el transporte de oxígeno a través de las paredes celulares. El cianuro se descompone al estar expuesto a la luz del sol o a condiciones de pH neutral (Cornejo, 2003).

B. Metales Pesados

B. 1. Arsénico. - Este elemento puede encontrarse en el agua como resultado de una disolución de minerales por descargas industriales y uso de pesticidas. La solubilidad en el agua es tan baja que su presencia suele ser un indicador de la existencia de operaciones de movimiento de tierra en el lecho de los ríos, o bien que hay áreas agrícolas en donde se están utilizando materiales con arsénico como insecticidas. (N.A.S. 1977)

Típicamente la concentración de arsénico en agua fresca es menor que 1 $\mu g/L$, y en agua de mar, aproximadamente 4 $\mu g/L$. Concentraciones elevadas de arsénico se encuentran donde hay contaminación de fuentes industriales o donde existen afloramientos geológicos de minerales de arsénico. El arsénico es usado en metalurgia, en la manufactura de vidrio y cerámicas, como pesticida y preservador de la madera” (Department of Water Affairs & Forestry, 1996).



A muy bajas concentraciones de arsénico estimulan el crecimiento de la planta y los rendimientos del cultivo disminuyen a altas concentraciones. El efecto principal del arsénico en las plantas es en la destrucción de la clorofila en el follaje como una consecuencia de inhibición de producción de enzimas. El arsénico es tóxico para los seres humanos el consumo de las partes consumibles de la planta que contienen arsénico acumulado es nocivo (Gettar y col., 2 002).

B. 2. Cadmio. - “Antes del siglo XX no existía la contaminación en gran escala provocada por la presencia de cadmio, cosa que sí se viene produciendo en forma creciente y rápida en las últimas décadas”. La captación de cadmio desde el suelo hacia una variedad de cultivos ha sido bien documentada, y el cadmio se transloca a la parte superior de la planta luego de su absorción a través de las raíces. (Gettar y col., 2 002).

La exposición al cadmio por tiempos prolongados puede causar cáncer, enfermedades renales, disfunción neurológica, disminución de la fertilidad, cambios en el sistema inmunológico y malformaciones congénitas (Ministerio de Agricultura, 2 006).

B. 3. Cobre. - El cobre puede estar presente en el agua por el contacto de ésta con minerales que contiene o con desechos de minerales en la producción de cobre. El cobre es un metal esencial para los organismos, pero cuando sobrepasa ciertas concentraciones, puede producir efectos tóxicos, principalmente trastornos gastrointestinales y hepáticos. Hay sugerencias de que niveles de cobre sobre 0.6 mg/L, pueden resultar en daño hepático en las vacas lecheras. (FAO. 2 006).

Este elemento es esencial para los seres humanos se calcula que 2 mg. es la necesidad de cobre para una persona adulta (Thornton, 1 993).

B. 4. Cromo. - Este elemento puede encontrarse en el agua tanto en estado hexavalente como trivalente, aunque en forma rara puede aparecer en el agua potable, los valores de cromo son menores de 0.05 mg/L. No esencial, no tiene función fisiológica en las plantas. Cr^{+6} afecta el crecimiento y reduce la productividad de la planta. El Cr^{+3} no es fácil absorbido por las raíces 90% se queda en las raíces. Puede reducirse con SO_2 hasta Cr^{+3} o eliminarse mediante intercambio aniónico. Su presencia puede estar asociado a descargas de desechos industriales y por lo general se encuentran en las aguas superficiales” (CEPIS, 2 004).



B. 5. Hierro. - Es considerado como un elemento organoléptico, porque ocasiona manchas en la ropa lavada y las instalaciones de fontanería, en épocas de precipitación pluvial la arcilla en suspensión puede contener Hierro soluble en ácido.

Presumiblemente el ión requerido en el metabolismo es el ferroso (Fe^{+2}) en cuya forma es absorbido por la planta, ya que es la forma de mayor movilidad y disponibilidad para su incorporación en estructuras biomoleculares. En suelos ácidos se puede inducir una deficiencia de hierro cuando se presentan metales pesados en exceso, como Zn, Cu, Mn y Ni. (Thornton, J. 1 993).

B. 6. Manganeso. - También es considerado un elemento organoléptico ya que su presencia ocasiona manchas en la ropa lavada y en las instalaciones de gasfitería (OMS, 1 998).

En las plantas es un micro elemento esencial para la síntesis de clorofila, El Mn es absorbido por la raíz en forma de Mn^{+2} que es la forma biológicamente activa. El Mn es relativamente inmóvil, pero tóxico en altas concentraciones, afecta la parte aérea de la planta, produciendo clorosis marginal y necrosis en la parte de las hojas, arrugamiento foliar (soya y algodón) y manchas necróticas en las hojas (cebada, lechuga y soya). En casos severos de toxicidad, las raíces de las plantas se vuelven marrones. Fuente: Nutrición mineral de las plantas (CEPIS, 2 004).

B. 7. Plomo. - Este elemento está considerado dentro de los más importantes debido a su toxicidad el cual se acumula en el organismo, el plomo en el agua puede ser de origen industrial, minero y de descargas de hornos de fundición o de cañerías viejas de plomo. (OMS. 1 998.).

En la agricultura es tóxico para las plantas en ciertos niveles de solubilidad. En el suelo muchos metales pesados se encuentran como compuestos inorgánicos o están unidos a la materia orgánica. La toxicidad por plomo ocurre sólo bajo condiciones especiales. La toxicidad por plomo y cadmio son de interés no solo por la fitotoxicidad, sino porque al ser absorbido por las plantas se mueven en la cadena alimenticia. (Zirena, 1991).

B. 8. Zinc. - Es un micro elemento esencial que sirve como cofactor enzimático, con muchas funciones, ya que el Zn debe ser esencial para la actividad, regulación y estabilización de la estructura proteica. El Zn se encuentra en suelos y rocas en forma divalente Zn^{+2} . El contenido de Zn soluble aumenta al disminuir el pH y viceversa. El carbonato de calcio también reduce fuertemente su disponibilidad. El encalado excesivo produce una deficiencia de este elemento. (FAO. 2 006).



La EPA y la Agencia internacional de investigación de cáncer, han clasificado al zinc como no carcinogénico. Sin embargo, la EPA recomienda que el agua no deba contener más de 5 ppm de zinc. (Cornejo, 2003).

C.- Parámetros de campo.

pH. - Puede afectar la disponibilidad de los nutrientes: para que el aparato radical pueda absorber los distintos nutrientes, éstos obviamente deben estar disueltos. Valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes con lo que permanecen en forma no disponible para las plantas, el pH puede afectar al proceso fisiológico de absorción de los nutrientes por parte de las raíces; todas las especies vegetales presentan unos rangos característicos de pH. Fuera de este rango la absorción radicular se ve dificultada y si la desviación en los valores de pH es extrema, puede deteriorar a la planta o presentar toxicidad debido a la excesiva absorción de elementos fitotóxicos. Con pH de suelos y aguas de riego cercano o superior a 7,5, se ve afectada la correcta asimilabilidad de nutrientes como fósforo, hierro, manganeso, zinc, cobre. (Ministerio de agricultura 2 006).

Conductividad. Se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica.

En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, dándose casos de dos diferentes concentraciones con la misma conductividad. Mientras más dura (presencia de carbonatos de calcio y magnesio). (DESA, 2 006).

Caudal. Es la medición del flujo de agua que pasa por la sección transversal de un conducto (río, riachuelo, canal) de agua, se conoce como aforo o medición de caudales. Este caudal depende directamente del área de la sección transversal a la corriente y de la velocidad media del agua. (CEPIS, 2 004).

G. Turbidez. - La concentración de la turbidez de las aguas está dada por la presencia de lluvias que crea los materiales de suspensión como arcillas, materias orgánicas, inorgánicas y algunos microorganismos (DGESA, 2 006).

H. Oxígeno Disuelto (OD). Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo, indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de



vida, el Oxígeno Disuelto, es un indicador de la contaminación por carga bacteriana procedente de letrinas ubicadas en las riberas de los ríos, mientras que más alto es el Oxígeno Disuelto, indica que hay menos carga bacteriana (OMS, 1998).

La Temperatura. Es otro de los factores que influyen en el nivel de concentración del oxígeno en el agua. La formación de capas de distintas temperaturas bien diferenciadas, impiden la llegada del oxígeno al fondo, éste es un fenómeno físico y se da generalmente en verano (Miller, 2 000).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5). - Es una medida del oxígeno requerido para oxidar todos los compuestos presentes en el agua, tanto orgánicos como inorgánicos, por la acción de agentes fuertemente oxidantes en medio ácido y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/L.). (Salazar, R. 2 008)

METODOLOGÍA

Localización del Área de Estudio

El Proyecto La Cima se encuentra políticamente ubicado en el departamento de Cajamarca, provincia de Hualgayoc, distrito de Bambamarca, Comunidad Campesina de El Tingo, Anexo Predio La Jalca, Caseríos Coymolache y Pilancones. Geográficamente, se encuentra ubicado en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental de los Andes del Norte del Perú, a 3 600 y los 4 000 m de altitud. Involucra principalmente a las cuencas de los ríos Tingo/Maygasbamba, y Hualgayoc/Arascorgue.

Tabla 1. Estaciones de Monitoreo de las aguas del río El Tingo DESA- Cajamarca

Código de campo	Origen de la fuente	Punto de muestreo	Localidad	Distrito y Provincia	Departamento	Altitud msnm.	UTM	
							Este	Norte
RTG-1	Río Tingo	Naciente del río Tingo	El Tingo	Hualgayoc	Cajamarca	3 630	17780016	9252316
RTG-2	Río Tingo	Puente carretera al sector las Águilas	El Tingo	Hualgayoc	Cajamarca	3 599	17780581	9252554
RTG-3	Río Tingo	Bocamina El Tingo, socavones de la mina corona	El Tingo	Hualgayoc	Cajamarca	3 488	17781722	9253594
QM-1	Quebrada la Eme	A 800 m. salida del Pad Minera San Nicolás	El Tingo	Hualgayoc	Cajamarca	3 550	17780803	9253435

Fuente: DESA- CAJAMARCA Unidad de Ecología y Protección del Ambiente – UEP

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cianuro

En los que se analizó las aguas, los niveles de cianuro registrados, no sobrepasan el límite máximo permisibles. En los puntos de monitoreo RTG-1 y RTG-2, el nivel de cianuro encontrado fue menores que 0,003 mg/L, atribuible en parte a la ubicación aguas arriba de las minas de estos puntos de



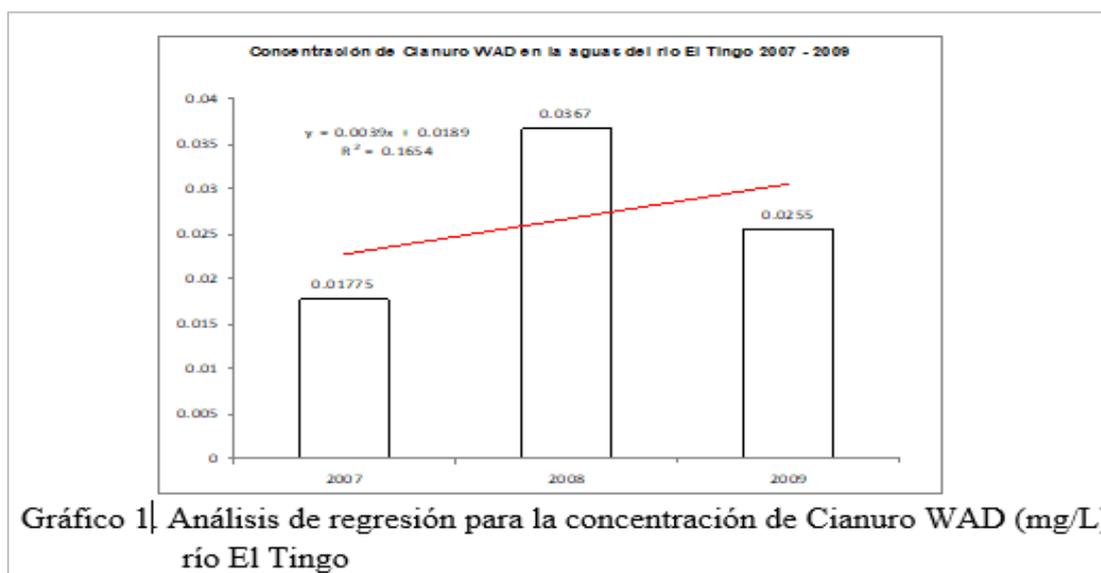
monitoreo, a lo largo del espacio temporal de evaluación. Para el punto RTG-3, los niveles de cianuro registraron valores que variaron de menos 0,003 a 0,050 mg/L., el máximo nivel de cianuro encontrado se registró en mayo del 2 007. Mientras que en el punto de monitoreo QM-1, los valores de cianuro registrados variaron de menos 0,003 a 0,071 mg/L, siendo en los meses de mayo-2007 y julio 2008, con cantidades de 0,071 y 0,064 mg/L, respectivamente, se registraron los mayores valores de este mineral en las aguas del Río Tingo.

Cuadro 1. Concentración de Cianuro en el agua del río El Tingo durante mayo 2 007-agosto 2 009 (mg/L).

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008				2009		
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
RTG-2	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0.003	<0.003	<0.003
RTG-3	0.050	0.005	0.018	<0.003	0.004	0.034	0.018	0.024	<0.003	0.005
QM-1	0.071	0.023	0.025	<0.003	0.019	0.064	0.0308	0.050	<0.003	0.023
LMP	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA - Cajamarca

Gráfico 1



Para la comparación de los resultados durante el periodo 2 008 - 2 009 se ha tomado como base la Ley General de Aguas N° 17752, la cual establece Límites Máximos Permisibles para ciertos parámetros como: Cianuro WAD, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, plomo, zinc, coliformes fecales, coliformes totales, pH, temperatura, conductividad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, DBO5 (CONAM, 2 005).

En el gráfico 1, visualizamos la ecuación de regresión, se muestra la relación positiva, significativa entre el contenido de cianuro y el tiempo, el modelo de regresión lineal $y = 0,0189 + 0,0039X$, con un $r^2 = 16.54\%$, Este coeficiente no es significativo estadísticamente por el momento sin embargo para los próximos años el contenido de Cianuro seguirá incrementándose significativamente.

Arsénico

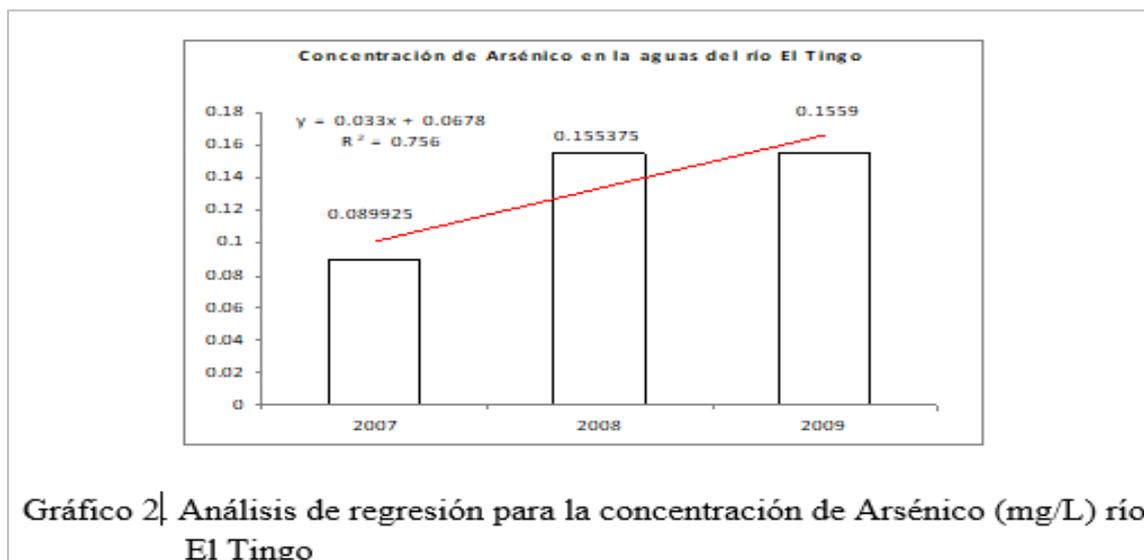
En el punto de monitoreo RTG-1, el nivel de arsénico registró valores menores de 0,0005 mg/L y en el mes de enero-2 008 registró 0,0062 mg/L. Para el punto RTG-2, los valores variaron de 0,0028 a 0,0496 mg/L, para los meses de marzo 2 009 y enero 2 008, respectivamente. Mientras que en los puntos de monitoreo RTG-3 y QM-1, los valores de arsénico registrados fueron muy cercanos a lo máximo permitido, siendo el mes de abril 2008 en el punto QM-1, con 0,236 mg/L, el que sobrepasó el límite, para el punto RTG-3 el máximo valor de arsénico se registró en enero-2 008, con 0,1559 mg/L.

Cuadro 2. Concentración de Arsénico en el agua del río El Tingo durante mayo 2 007-agosto 2 009 (mg/L).

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008					2009	
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	0.0062	0.0006	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0031	<0.0005
RTG-2	0.0043	0.0063	0.0082	0.0496	0.005	0.0082	0.0065	0.0075	0.0028	0.0063
RTG-3	0.1168	0.1168	0.0184	0.1559	0.106	0.1168	0.116	0.1165	0.0037	0.1168
QM-1	0.1958	0.1952	0.0293	0.1775	0.236	0.1942	0.1945	0.1955	0.003	0.195
LMP	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA - Cajamarca

Gráfico 2



En el gráfico 2, se muestra la relación significativa entre el contenido de arsénico y el tiempo, se observa que la relación es positiva, a mayor tiempo de actividad, el modelo de regresión lineal $y = 0,00678 + 0,033X$, con un $r^2 = 75.6\%$, Este coeficiente es significativo estadísticamente los próximos años seguirá incrementándose significativamente las cantidades de arsénico agravando la salud de plantas y animales agua abajo del río.

Cadmio

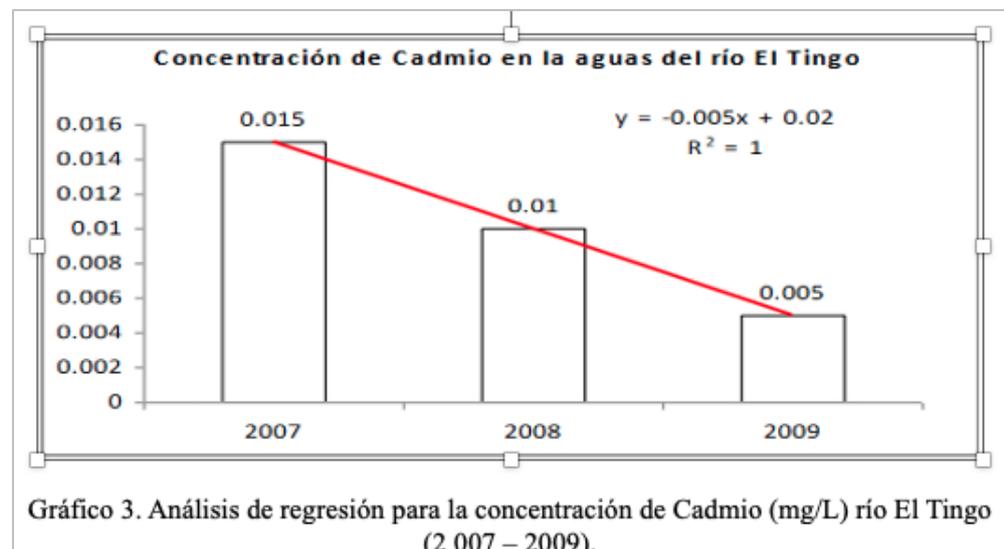
En los meses que se analizó las aguas, los niveles de cadmio, oscilaron entre menos 0,003 y menos 0,05 mg/L. Para los puntos de monitoreo RTG-1 y RTG-2, el nivel de Cadmio encontrado registro valores menores de 0,050 mg/L. Para el punto RTG-3, el valor máximo registrado se dio en el mes de mayo 2007, con 0,05 mg/L, valor que se encuentra sobre el límite. Mientras que en el punto de monitoreo QM-1, los valores de arsénico registrados variaron de menos 0,01 a 0,071 mg/L, siendo el mes de mayo- 2007, en el que se halló el máximo valor.

Cuadro 3. Concentración de Cadmio en el agua del río El Tingo durante mayo 2007-agosto 2009 (mg/L).

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008					2009	
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1	<0.003	<0.010	<0.050	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
RTG-2	<0.003	<0.010	<0.050	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
RTG-3	0.050	<0.010	<0.050	<0.010	<0.010	<0.010	0.010	<0.010	<0.010	<0.010
QM-1	0.071	<0.010	<0.050	0.014	0.014	<0.010	0.020	0.011	<0.010	<0.010
LMP	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA – Cajamarca

Gráfico 3



El modelo de regresión lineal para el cadmio es significativa y negativa el tiempo (gráfico 3), el obtenido es $y = 0,02 - 0,005X$, con coeficiente de determinación altamente significativo) un $r^2 = 100\%$, notándose un valor decreciente de cadmio con el tiempo y es debido que en ese tiempo recién iniciaba la explotación de la mina, así mismo las precipitaciones eran mínimas, por efecto del cambio climático.

Cobre

Los niveles de cobre registrados, sobrepasan el límite máximo permisible en los puntos de monitoreo RTG-3 y QM-1. En los puntos de monitoreo RTG-1 y RTG-2, los niveles de cobre encontrado variaron de menos 0,005 a 0,156 mg/L., siendo el punto máximo de la presencia de cobre el mes de enero-2 008, en el punto RTG-2, los bajos valores con respecto a los hallados en los puntos RTG-3 y QM-1, es atribuible a la ubicación aguas abajo de las minas y generalmente coinciden con los meses de mayores lluvias, para el punto RTG-3, los niveles de cobre registraron valores que variaron de 0,130 mg/L. a 3,221 mg/L, para los meses de julio 2 008 y mayo 2 007, respectivamente. Mientras que en el punto de monitoreo QM-1, los valores de cobre registrados excedieron los límites en casi todas las evaluaciones, siendo el mes de mayo del 2 007 en el que registro 9,438 mg/L, que se registraron los mayores valores de este mineral en las aguas del Río Tingo.

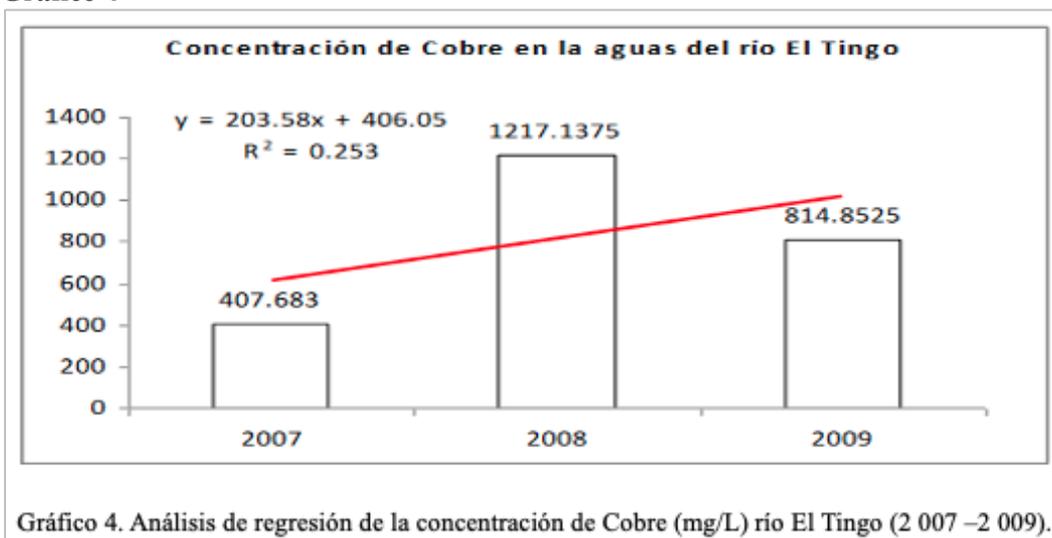
Cuadro 4. Concentración de Cobre en el agua del río El Tingo durante mayo 2 007-agosto 2 009 (mg/L).

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008					2009	
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1	0.013	0.007	0.011	<0.005	0.010	0.006	0.006	0.006	0.014	0.007
RTG-2	0.019	0.009	0.041	0.156	0.021	<0.005	0.007	0.034	0.024	0.009
RTG-3	3.221	0.705	0.142	1.088	0.827	0.130	1.985	0.936	5.53	0.705
QM-1	9.438	1.629	0.885	3.561	2.040	0.420	2.883	0.703	0.474	1.629
LMP	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA - Cajamarca



Gráfico 4



El modelo de regresión lineal cobre tiene una relación es positiva, incrementándose este con el tiempo (gráfico 4), cuyo modelo es $y = 406,05 + 203,58X$, con un $r^2 = 25.3\%$, no significativa estadísticamente. Sin embargo, éste incremento para los próximos años puyede tener externalidades negativas para las poblaciones agua debajo del drenaje del rio con los residuos de la actividad minera.

Cromo

En los puntos de monitoreo, con respecto a los niveles de cromo, en las aguas del Río Tingo, se encontró que, los niveles de cromo, fueron de menos 0,05 mg/L. Para los puntos de monitoreo RTG-1 y RTG-2, el nivel de cromo encontrado registró valores menores de 0,050 mg/L. Para los puntos RTG-3 y QM-1, en evaluaciones anteriores presentaron concentraciones elevadas con respecto a los primeros puntos de monitoreo, tampoco mostraron variabilidad en los registros y los valores registrados fueron menos 0,05 mg/L.

Cuadro 5. Concentración de Cromo en el agua del río El Tingo durante mayo 2 007-agosto 2 009 (mg/L)|

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008					2009	
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050		
RTG-2	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050		
RTG-3	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050		
QM-1	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050		
LMP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA – Cajamarca



Hierro

Los niveles de hierro registrados, sobrepasan el límite máximo permisible en los puntos de monitoreo RTG-3 y QM-1. En los puntos de monitoreo RTG-1 y RTG-2, los niveles de hierro encontrado variaron de 0,055 mg/L. a 6,860 mg/L., siendo el punto máximo de presencia de hierro en el mes de enero-2008, en el punto RTG-2, los bajos valores con respecto a los hallados en los puntos RTG-3 y QM-1, es atribuible a la ubicación aguas abajo de las minas de estos. Para el punto RTG-3, los niveles de hierro registraron valores que variaron de 0,953 mg/L a 20,570 mg/L, para los meses de julio 2008 y enero 2008, respectivamente. Mientras que en el punto de monitoreo QM-1, los valores de hierro registrados excedieron el límite en casi todas las evaluaciones, siendo el mes de enero del 2008 en el que con 35,960 mg/L., se registraron los mayores valores de este mineral en las aguas del Río Tingo.

Cuadro 6. Concentración de Hierro en el agua del río El Tingo durante mayo 2007-agosto 2009 (mg/L).

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008					2009	
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1	0.272	0.07	0.055	0.218	0.159	0.124	0.225	0.18		
RTG-2	1.985	0.668	0.913	6.860	0.562	0.282	0.365	3.33		
RTG-3	12.9	7.728	1.774	20.570	7.440	0.953	6.300	4.440		
QM-1	25.96	14.679	4.487	35.960	21.700	0.746	8.360	2.930		
LMP	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA – Cajamarca.

MANGANESO

Los niveles de manganeso registrados, sobrepasan el límite máximo permisible en los puntos de monitoreo RTG-3 y QM-1. En los puntos de monitoreo RTG-1 y RTG-2, los niveles de manganeso encontrado variaron de menos 0,025 a 1,728, siendo el punto máximo de presencia de manganeso el mes de mayo-2007, en el punto RTG-2, los bajos valores con respecto a los hallados en los puntos RTG-3 y QM-1, es atribuible a la ubicación geográfica de estos. Para los puntos RTG-3 y QM-1, los niveles de manganeso registraron valores que variaron de 0,928 a 8,592 mg/L, para los meses de octubre 2007 y mayo 2007, respectivamente, los valores de manganeso registrados excedieron el límite en casi todas las evaluaciones en evaluaciones a las aguas del Río Tingo.



Cuadro 7. Concentración de Manganeso en el agua del río El Tingo durante mayo 2 007-agosto 2 009 (mg/L).

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008				2009		
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1	0.041	0.041	<0.025	0.064	0.049	0.042	0.052	0.038		
RTG-2	1.728	0.511	0.612	0.566	0.450	0.211	0.310	0.238		
RTG-3	8.592	2.746	6.230	2.867	4.990	3.220	2.790	0.955		
QM-1	2.598	1.376	0.928	3.094	2.040	1.100	3.536	0.999		
LMP	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA – Cajamarca.

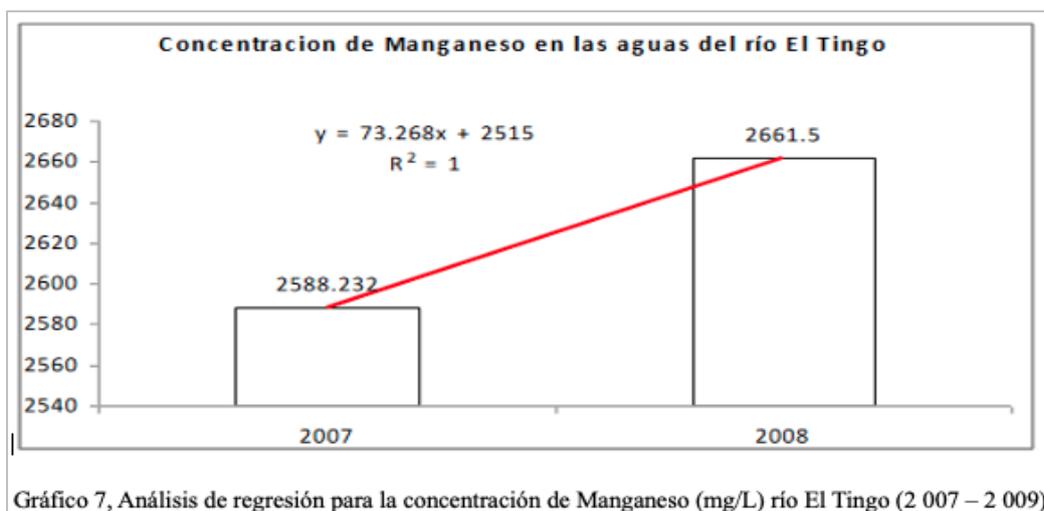


Gráfico 7, Análisis de regresión para la concentración de Manganeso (mg/L) río El Tingo (2 007 – 2 009).

Los niveles de manganeso si superaron los límites máximos permisibles en los puntos RTG-2, RTG-3 y QM-1 en los años 2 007 y 2 008, debido a la presencia de los relaves mineros tanto de la Cima como del Pad San Nicolás.

En el grafico 7, el modelo de regresión lineal, se muestra la relación lineal positiva y significativa entre el contenido de manganeso y el tiempo, $y = 2661.5 + 73,268X$, el coeficienbte de determinación es altamente significativa ($r^2 = 100\%$), este elemento será muy perjudicial para plantas y animales ubicadas agua abajo del río El Tingo con el avance la explotación de las empresas mineras asentadas en la parte alta de la cuenca.

Plomo

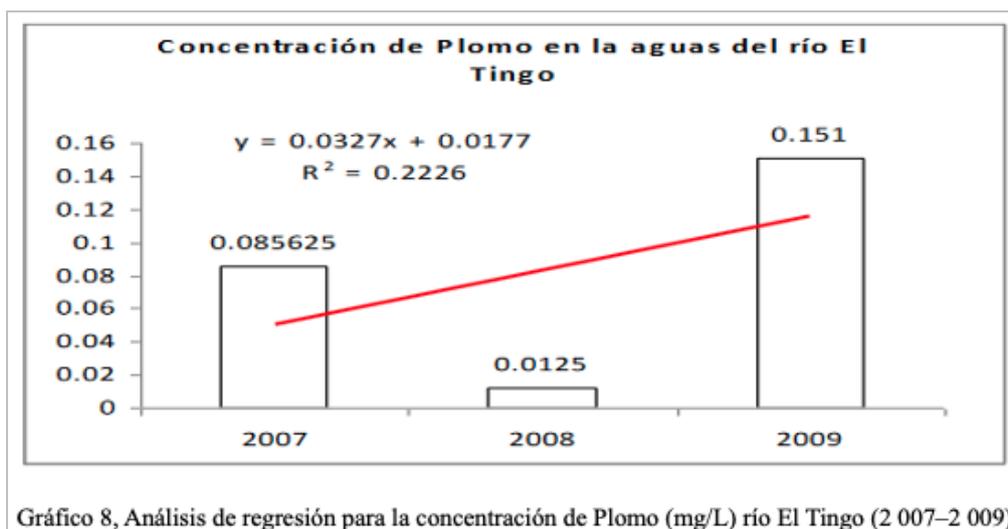
Los niveles de plomo registrados, sobrepasan el límite máximo permisible, en los puntos de monitoreo RTG-3 y QM-1. En los puntos de monitoreo RTG-1 y RTG-2, los niveles de plomo encontrado variaron de menos 0.025 mg/L a 0,552 mg/L, siendo el punto máximo de presencia de plomo el mes de enero

2008, en el punto RTG-2, los bajos valores con respecto a los hallados en los puntos RTG-3 y QM-1, es atribuible a la ubicación geográfica de estos. Para los puntos RTG-3 y QM-1, los niveles de plomo registraron valores que variaron de menos 0,025 mg/L. a 0,167 mg/L., siendo el mes de agosto del 2009, en el que se registró el mayor valor de la presencia de este metal en las aguas del Río Tingo.

Cuadro 8. Concentración de Plomo en el agua del río El Tingo durante mayo 2007-agosto 2009 (mg/L).

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008					2009	
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	0.027	0.025
RTG-2	0.044	<0.025	0.025	0.052	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	0.036	0.025
RTG-3	0.012	0.167	0.028	0.094	0.033	<0.025	<0.025	0.037	0.067	0.167
QM-1	0.268	0.135	<0.025	0.042	0.053	<0.025	<0.025	0.037	0.049	0.135
LMP	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA – Cajamarca



Los niveles de Plomo superaron los límites máximos permisibles en los puntos RTG-3 y QM-1 en los años 2008 y 2009. En los meses de mayo (0,268 mg/L.) y julio 0,135 (mg/L.), del 2007 y en agosto (0,135 mg/L.), del 2009. Mientras que en los puntos monitoreados RTG.1 y RTG-2 no superan los límites máximos permisibles de 0.1 mg/L. según la Ley General de Aguas.

El modelo de regresión lineal tiene una relación positiva entre el contenido de plomo en el río y el tiempo, se observa que la relación es positiva, $y = 0,0177 + 0,0327x$, con un coeficiente de determinación estadísticamente no significativa ($r^2 = 22.26\%$), el contenido de plomo puede incrementarse para los próximos años de actividad minera y comprometer la vida de las poblaciones agua abajo del río,

problema que puede agravar por que las empresas minera carecen de plantas de tratamientos de aguas residuales de actividades mineras.

Zinc

En los puntos de monitoreo RTG-3 y QM-1, RTG-1 y RTG-2, los niveles de zinc encontrado variaron de menos 0,038 mg/L. a 0,267 mg/L., siendo el punto máximo de presencia de zinc el mes de mayo 2007, en el punto RTG-2, los bajos valores con respecto a los hallados en los puntos RTG-3 y QM-1, es atribuible a la ubicación geográfica de la zona. Para los puntos RTG-3 y QM-1, los niveles de zinc registraron valores que variaron de 0,136 mg/L. a 8,482 mg/L., siendo el mes de marzo del 2009, en el que se registró el mayor valor de la presencia de este metal en las aguas del Río Tingo.

Cuadro 9. Concentración de Zinc en el agua del río El Tingo durante mayo 2007-agosto 2009 (mg/L).

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008					2009	
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1	0.043	<0.038	<0.038	<0.038	<0.038	<0.038	<0.038	<0.038	0.017	<0.038
RTG-2	0.267	0.165	0.169	0.038	0.046	0.045	0.091	0.045	0.025	0.165
RTG-3	3.599	1.166	0.509	1.408	1.820	0.267	1.680	0.452	8.482	1.166
QM-1	2.808	0.91	0.464	2.778	1.740	0.136	2.240	0.249	0.278	0.910
LMP	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA – Cajamarca

Determinación del pH.

En los puntos de monitoreo, en las aguas del Río Tingo, se encontró que en el mes de enero del 2008 la acidez fue de 4,78 en el punto de muestreo QM-1, en el resto de puntos muestreados se encontraron los parámetros de pH entre 6,52 a 8,80, lo que refleja el comportamiento de las aguas es en la presencia de rocas calizas e influenciadas por la presencia de meses lluviosos en la zona en estudio.

Cuadro 10. Determinación del pH en el agua del río El Tingo durante mayo 2007-agosto 2009.

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008					2009	
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1	7.45	7.42	7.26	7.72	7.63	6.52	6.76	7.82	7.98	7.92
RTG-2	7.96	7.42	7.99	8.72	7.70	7.09	6.18	8.27	7.5	7.92
RTG-3	7.01	8.8	8.33	8.21	7.27	7.31	6.01	7.89	7.32	7.84
QM-1	7.41	7.36	7.96	4.78	6.84	7.39	6.02	7.85	8.17	7.96

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA – Cajamarca



Determinación de la temperatura.

En los distintos puntos de monitoreo, se determinó que dicho parámetro fue de 8,5 °C a 14,60 °C en el punto de muestreo QM-1, en el mes de Julio presentó la menor temperatura, que, en el mes de abril con 14,6 °C, lo que refleja el comportamiento de las aguas con las diferentes épocas del año e influenciados por la presencia de lluvias y la velocidad de los vientos en la zona en estudio.

Cuadro 11. Determinación de la temperatura (°C) en el río El Tingo durante mayo 2 007-agosto 2 009.

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008					2009	
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1	9.0	10.8	11.2	12.4	11.7	8.5	12.8	13.2	12.3	12.3
RTG-2	9.0	12.0	14.5	12.0	11.1	8.5	12.6	12.5	12.6	12.2
RTG-3	8.0	12.5	13.9	13.4	13.5	8.8	11.6	13.4	12.4	11.7
QM-1	9.0	11.6	12.9	10.1	14.6	8.6	12.0	13.2	12.4	11.7

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA – Cajamarca.

Determinación de la conductividad

En los puntos muestreados dicho parámetro fueron de 129 uS/cm. En el punto RTG-1 del mes de mayo del 2007 y en el punto y en el mes de marzo del 2009 con 1,578 uS/cm, la cual nos indica que en muchos meses muestreados los límites máximos permisibles han superado dichos valores (< 700 uS/cm), lo que refleja el comportamiento de las aguas con la presencia de carbonatos de calcio y magnesio) en la zona en estudio.

Cuadro 12. Determinación de Conductividad (uS/cm) en el río El Tingo durante mayo 2 007-agosto 2 009

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008					2009	
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1	129	354	472	633		347	320	320	445	342
RTG-2	285	534	891	1192	237	451	509	509	462	377
RTG-3	538	780	1073	934		668	659	659	1578	687
QM-1	506	518	615	633		716	682	682	1124	750
LMP	< 700	< 700	< 700	< 700	< 700	< 700	< 700	< 700	< 700	< 700

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA – Cajamarca



Determinación de los sólidos totales disueltos

Luego de determinar la cantidad de sólidos totales disueltos en el lugar de monitoreos se ha determinado que en los meses de mayores precipitaciones pluviales se ha determinado que la cantidad de sólidos han superado los límites máximos permisibles siendo en los meses de enero y abril del 2008 y marzo del 2009, en todos los puntos monitoreados que son: RTG-1, RTG-2, RTG-3 y QM-1 con valores 64,2mg/L. y de 1 122 mg/L. superando los límites máximos permisibles en varios de los punto cuyo límite para aguas de riego según la Ley General de Aguas es de menos 450 mg/L

Cuadro 13. Determinación de los Sólidos Totales disueltos en el río El Tingo. Mayo 2 007-agosto 2 009.

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008					2009	
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1	64.2	176.2	236	503	503	175.6	220	175	222	167
RTG-2	140	267	448	1122	1122	230	345	265	233	186
RTG-3	267	393	541	816	816	335	442	396	789	337
QM-1	252	259	307	539	539	360	305	256	561	369
LMP	< 450	< 450	< 450	< 450	< 450	< 450	< 450	< 450	< 450	< 450

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA – Cajamarca

Determinación del oxígeno disuelto

Luego de determinar la cantidad del oxígeno disuelto en las aguas del río el Tingo se ha determinado que en todos los puntos monitoreados se tiene valores de 4,12 mg/L. y de 11,45 mg/L. en el punto monitoreado RTG-3 en los meses de enero y setiembre.

Cuadro 14. Determinación de Oxígeno Disuelto en el río El Tingo durante mayo 2 007-agosto 2 009 (mg/L).

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008					2009	
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1				6,61	6,20	4,72	4,45	5,31		
RTG-2				6,12	5,10	8,31	8,95	4,56		
RTG-3				4,12	7,14	4,56	11,45	4,12		
QM-1				7,23	7,60	4,12	5,04	4,20		

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA – Cajamarca.

Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).

En los puntos muestreados: RTG-1, RTG-2, RTG-3 y QM-1, se determinó que la cantidad de la demanda bioquímica en las aguas del río Tingo no han superado los límites máximos permisibles, referente a la Ley General de Aguas (15 mg/L.).

Cuadro 15. Determinación del DBO (mg/L) en el río El Tingo durante mayo 2 007-agosto 2 009 (mg/L).

PUNTOS DE MONITOREO	2007			2008					2009	
	MAY	JUL	OCT	ENE	ABR	JUL	SET	DIC	MARZ	AGOST
RTG-1				4,1	4,2	3,9	< 2	5,4		
RTG-2				< 2	3,2	5,4	< 2	8,9		
RTG-3				6,2	2,7	8,9	< 2	5,2		
QM-1				< 2	2,0	5,2	< 2	3,5		
LMP	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Fuente: Unidad de Ecología y Protección Ambiental DESA – Cajamarca.

Determinación del caudal

Finalizado los muestreos de los caudales de las aguas del río Tingo, en los diferentes puntos que: RTG-1, RTG-2, en los meses de julio, octubre, setiembre y agosto los caudales han sido mínimos lo que se determinó que en los meses de precipitaciones pluviales los caudales se incrementan en forma considerable siendo de 3 L/s - 958,3 L/s.

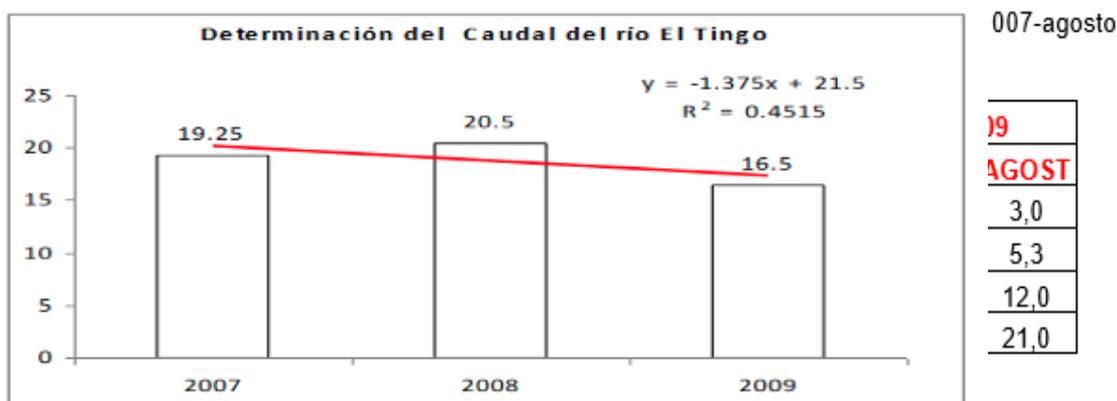


Gráfico 16. Análisis de regresión para determinación del caudal (L/s) río El Tingo (2 007 – 2 009).

En el Gráfico 16, se observa que los valores determinados en los puntos muestreados RTG-1, RTG-2, RTG-3 y QM -1, Los caudales fueron variados que van de: 3 l/s. hasta 958,27 l/s., los que significa que los mayores caudales coinciden con la presencia de las lluvias.

el modelo de regresión lineal (gráfico 16), es negativa $y = 21.5 - 1,375 x$, y estadísticamente significativa ($r^2 = 45,15\%$) entre el contenido del recurso hídrico del Río El Tingo y el tiempo s el caudal de las aguas del Río, esto puede deberse a la utilización del agua para las actividades mineras o también a variaciones de cambio climático con la existencia de menor cantidad de precipitaciones.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos durante los años 2 008 y 2 009 en los que se ha monitoreado las aguas del río el Tingo se concluye lo siguiente:

Los niveles de cromo, zinc y cianuro no sobrepasaron los LMP en ningún punto de muestreo.

Los niveles de manganeso sobrepasaron los LMP en el punto de monitoreo RTG- 2.

Los niveles de cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo sobrepasaron los LMP en el punto de monitoreo RTG- 3.

Los niveles de arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo sobrepasaron los LMP en el punto de monitoreo QM1.

No se encontró niveles significativos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en ningún punto de muestreo.

El pH varió desde 4,78 en el punto QM1 hasta 8,8 en el punto RTG3.

La conductividad sobrepasó los LMP en los puntos de monitoreo RTG2, RTG3 y QM1 en algunos meses.

Los Sólidos Totales Disueltos y el Oxígeno disuelto sobrepasaron los LMP en los cuatro puntos monitoreados, en algunos meses.

El caudal fue muy variado, estuvo influenciado por diversos factores como las precipitaciones pluviales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2003). *División de Toxicología y Medicina Ambiental*. <https://www.atsdr.cdc.gov/es>

American Water Works Association. (1992). *Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos: Cianuro*. En Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos.



- APHA, AWWA, & WPCF. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Ediciones Díaz de Santos
- Balbín, D. (1995). *Agua, minería y contaminación: Caso Southern Perú*. Ilo, Perú.
- Calvo, M., Sánchez, L., & Vallespin, L. (1999). *Detección de metales: Presencia de cadmio en los alimentos*. Buenos Aires, Argentina.
- CEPES. (2009). *Ley General de Aguas, Decreto Supremo N° 261-69 AP: Reglamento de los títulos I, II, III del Decreto Legislativo N° 17752*. Centro Peruano de Estudios Sociales
- CEPIS. (2004). *Programa de monitoreo de aguas*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú.
- Chang, R. (1999). *Química* (6ª ed.). McGraw-Hill Interamericana
- Cornejo, A. (2003). *Impacto del cianuro, el níquel y el zinc en la salud humana*. Departamento de Solidaridad, Programa Tierra y Medio Ambiente. Lima, Perú
- Department of Water Affairs & Forestry. (1996). *South African water quality guidelines: Volume 3: Industrial water use* (2ª ed.). Republic of South Africa. CSIR Environmental Services. <https://www.ana.gov.br/Destaque/d179-docs/Waterqualityguidelines.pdf>
- DESA. (2006). *Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental*. Cajamarca, Perú
- Deza, N. (2002). *Oro, cianuro y otras crónicas ambientales*. Editorial Universitaria, Universidad Nacional de Cajamarca
- DIGESA. (2006). *Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales*. Lima, Perú
- FAO. (2006). *Gestión de la calidad del agua: Límites máximos permisibles de metales totales para aguas de riego*. Roma: FAO.
- Gettar, R., Garavaglia, R., Gautier, E., Rodríguez, R., & Batistoni, D. (2002). *Determinación y especiación de arsénico orgánico e inorgánico en medios naturales contaminados*. Unidad de Actividad Química, Gerencia Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica. Buenos Aires, Argentina.



- GRUFIDES. (2008). *Agua de los ríos Crisnejas y Llaucano no es apta para el consumo humano*. Grupo de Formadores para el Desarrollo Sostenible. https://grufidesinfo.blogspot.com/2008/10/normal-0-21_6455.html
- Instituto Nacional para el Manejo de Cianuro. (2009). *Guía de implementación para el código internacional del manejo de cianuro*. <https://www.cyanidecode.org>
- Hess, J. W., & Britton, B. (1997). *Effects of dietary magnesium excess*. Department of Poultry Science, University of Georgia, Athens, Georgia
- Holdring, B. V. (1990). *Agua residual y purificación del aire*. Lenntech. <https://www.lenntech.es/aplicaciones/riego/calidad/irrigacion-calidad-agua.htm>
- Howard, H. (1995). *Efectos de exposición al plomo sobre la salud*. REPIDISCA. Estados Unidos.
- Horna, I. (2006). *Evaluación de la calidad del agua del río Grande en la provincia de Cajamarca* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- IDEA – PUCP. (2003). *Programa de monitoreo del agua de fuentes superficiales*. Centro IDEA, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Knight Piésold Consultores. (2005). *Informe Perú: Evaluación ambiental de la minería en Cajamarca*. Lima, Perú.
- Miller, G. (2000). *Ecología y medio ambiente*. Grupo Editorial Iberoamericana. Buenos Aires, Argentina.
- Ministerio de Agricultura. (2006). *Monitoreo de la calidad y cantidad de las aguas de los canales de riego ubicados en las subcuencas del río Porcón, río Grande, río Rejo y Quebrada Honda*. Administración Técnica del Distrito de Riego. Cajamarca, Perú.
- Morales, V. (2005). *Taller macro regional del sur: Plan nacional de implementación, capítulo 3. Preocupaciones prioritarias relacionadas a la producción, importación, exportación y uso de sustancias químicas*. <https://ecb.jrc.it/natprof/peru/newpage3.htm>
- Mujeriego, R. (1997). *Evaluación de la calidad del agua de riego*. Departamento de Biología y Geología, Universidad Politécnica de Madrid. <https://mie.esab.upc.es/arr/T21E.htm>
- National Academy of Sciences. (1977). *Medical and biologic effects of environmental pollutants: Arsenic*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.



- OMS. (1998). *Operational guide GEMS/WATER: Límites máximos permisibles para la presencia de sustancias nocivas en el agua de consumo humano* (3ª ed.). Organización Mundial de la Salud. Ginebra.
- OMS. (1998). *Arsenic* (Environmental Health Criteria 18). World Health Organization. Ginebra, Suiza.
- Orozco, C., Gonzáles, N., Pérez, A., & Rodríguez, F. (2003). *Contaminación ambiental: Una visión desde la química*. Editorial Thomson. Madrid, España.
- Salazar, R. (2008). *Caracterización físico-química y bacteriológica de las aguas del río El Azufre, Combayo – La Encañada, Cajamarca* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- SENAMHI. (2009). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú: Estación Meteorológica Augusto Weberbauer*. Cajamarca, Perú.
- Terborgh, J., & Van Schalk, C. (1991). *Contaminación de Junín por relaves mineros: Causas, consecuencias, soluciones y entrevista*. <https://blog.pucp.edu.pe/index.php?blogid=822>
- Thornton, J. (1993). *Incineración de residuos peligrosos: Impactos en la agricultura* (2ª ed.). Campaña de Tóxicos de Greenpeace.
- Vásquez, C., Salinas, J., & Valdeiglesias, I. (2008). *Microrred Hualgayoc 2007: Análisis situacional de salud DESA Chota*. <https://disachota.gob.pe/descargas/publicaciones/asishualgayoc07.pdf>
- WHO/UNICEF. (1993). *Joint monitoring program: Water and sanitation monitoring system, guide for managers*. World Health Organization. Ginebra, Suiza.
- Zirena, J.** (1991). *Elementos plásticos y oligoelementos*. Departamento Académico de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cajamarca.

