

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN  
AMBIENTAL**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LOS METALES PESADOS EN LOS RELAVES DE  
CIANURACIÓN PARA DETERMINAR EL RIESGO AMBIENTAL DE LA  
ZONA DE ANTAHUILA - RINCONADA PUNO**

**PRESENTADA POR:**

**LUIS ALBERTO AGUILAR CCALLA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN  
AMBIENTAL**

**PUNO, PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL**



**TESIS**  
**EVALUACIÓN DE LOS METALES PESADOS EN LOS RELAVES DE**  
**CIANURACIÓN PARA DETERMINAR EL RIESGO AMBIENTAL DE LA**  
**ZONA DE ANTAHUILA - RINCONADA PUNO**

**PRESENTADA POR:**  
**LUIS ALBERTO AGUILAR CCALLA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**  
**MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

  
.....  
Dr. DANTE ATILIO SALAS AVILA

PRIMER MIEMBRO

  
.....  
M.Sc. DALMIRO CORNEJO OLARTE

SEGUNDO MIEMBRO

  
.....  
M.Sc. NEWTON MACHACA CUSILAYME

ASESOR DE TESIS

  
.....  
M.Sc. DAVID APOLINARIO PAREDES TORRES

Puno, 23 de octubre de 2018

**ÁREA :** Medio Ambiente

**LÍNEA:** Medio Ambiente y Sociedad

**TEMA :** Metales Pesados en los Relaves de Cianuración

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Juan Ernesto e Hilda Elena quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos ocho hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

También quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos y compañeros, por apoyarme, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias a todos, siempre los llevo en mi corazón.

Finalmente a todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

## AGRADECIMIENTOS

- Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.
- De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Nacional del Altiplano, a toda la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, a mis Docentes de la maestría, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.
- Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Dr. Dante Salas Ávila, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

**ÍNDICE GENERAL**

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1
 <b>CAPÍTULO I</b>  	
<b>REVISION DE LA LITERATURA</b>	
1.1. Contexto y marco teórico	3
1.2. Los metales pesados en el suelo	4
1.3. Antecedentes	9
 <b>CAPÍTULO II</b>  	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
2.1. Identificación del problema	17
2.2. Justificación	18
2.3. Objetivos	19
2.3.1. Objetivo general	19
2.3.2. Objetivo específicos	19
2.4. Hipótesis	19
	iii

2.4.1. Hipótesis general	19
2.4.2. Hipótesis específicas	19

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA**

3.1. Ámbito de estudio	20
3.1.1. Ubicación	20
3.1.2. Características climáticas	25
3.2. Metodología	28
3.3. Muestreo de metales pesados	28
3.3.1. Procedimiento analítico	28
3.4. Puntos de muestreo	29
3.4.1. Muestreo y análisis de relaves	29
3.5. Resultados	30

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Niveles de contaminación por los relaves en el área de estudio	32
4.1.1. Contaminación por relaves	32
4.1.2. Resultados del análisis químico de relaves	34
4.2. Análisis de riesgo ambiental	37
CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXOS	53

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Ubicación de la Planta de Cianuración CIP en coordenadas UTM WGS-84	23
2. Ubicación del área de la planta Sermetal en coordenadas UTM WGS-84	24
3. Ubicación del área de la planta Seis Diamantes en coordenadas UTM WGS-84	24
4. Acceso a la zona de estudio zona Antahuila	24
5. Ubicación de la Estación Climatológica y Pluviométrica de Ananea	26
6. Métodos de Análisis de Metales Pesados en Relaves (Suelos)	29
7. Código de los Puntos de Muestreo de relaves	30
8. Resultados de Laboratorio Planta Geza	30
9. Resultados de Laboratorio Planta Sermetal y planta Seis Diamantes	31
10. Estándar de calidad de Suelo (ECA suelo) – Perú	32
11. Límite máximo permisible en sedimentos – Holanda	32
12. Límite máximo permisible en sedimentos – Suecia	33
13. Límites máximos permisibles de sedimento (USEPA) - USA	33
14. Guía para la calidad de suelos para la protección ambiental y salud humana – Canadá	34
15. Resultados del Análisis de Arsénico	34
16. Resultados del Análisis de Mercurio	35
17. Resultados del Análisis de Plomo	36
18. Análisis de la situación presentada	37
19. Causas	38
20. Análisis del entorno	39

21.	Formulación de escenarios	39
22.	Formulario para la estimación de la gravedad de las consecuencias	40
23.	Valoración De Consecuencias (Entorno Humano)	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Mapa de ubicación política por departamentos de la zona de estudio	21
2. Mapa de ubicación política por provincia de la zona de estudio	22
3. Mapa de ubicación política por distritos de la zona de estudio	22
4. Mapa de ubicación hidrográfica de la cuenca del río Ramis donde pertenece el área de emplazamiento de la zona de estudio	23
5. Mapa vial de acceso a la zona de estudio	25
6. Conservación de muestras	54
7. Existencia de lagunas aguas abajo	54
8. Punto N° 1 de muestreo	55
9. Punto N° 2 de muestreo	55
10. Punto N° 3 de muestreo	56
11. Aspectos típicos en las plantas de beneficio	56

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Evidencias fotográficas	54
2. Certificados de laboratorio	57
3. Normas legales	60

## RESUMEN

La contaminación de sedimentos, suelos y de la cobertura vegetal, por metales pesados, es uno de los problemas ecológicos más severos a escala mundial y en forma particular en el Altiplano del Sur Peruano. En los últimos años, los cambios en las actividades humanas y la explotación minera en exceso han estado influyendo en una disminución de los ecosistemas respecto a la flora y fauna en la zona de la Rinconada. La evaluación de metales pesados en los relaves y su riesgo ambiental en la zona de Antahuila en el centro poblado de la Rinconada se realizó en tres plantas de beneficio de la zona de Antahuila; El área de estudio abarca un área de 9 hectáreas utilizadas para la cianuración de oro. Se caracterizó los relaves por metales pesados y metaloides en los relaves de las tres canchas de relaves en tres sitios los mismos que se ubican en la Planta Geza, Sermetal y Seis Diamantes. Los relaves fueron llevados a laboratorio químico de la Universidad Católica de Arequipa y se comparó con los ECAS de suelo para elementos químicos. Los resultados son mayores que los ECAS de suelo correspondientes en el caso del arsénico 573.200 mg/Kg. Pero los valores de mercurio y plomo varían de una planta de beneficio a otra superando los estándares nacionales; En el caso del Arsénico supera los estándares internacionales como el de Canadá, Suecia y USA. Estos resultados evidencian la presencia de metales pesados en el área de estudio y en el futuro tomar decisiones importantes relacionadas a que pueda existir efectos naturales que logren desestabilizar las canchas de relaves y contaminar aguas abajo de la zona donde se instalaron las plantas de beneficio. Existe la necesidad de un manejo responsable de los recursos, y la correcta disposición de los residuos (relaves) se refleja en el buen manejo de relaves y los riesgos ambientales que se pudiera tener por generación de lixiviados y colapso de canchas de relave.

**Palabras clave:** Ambiente, contaminación, lixiviados, metales pesados y relaves.

## ABSTRACT

The pollution of sediments, soils and vegetation covered by heavy metals, is one of the most severe ecological problems around the world and particularly in the southern high plateau of Peru. In recent years, changes in human activities and the excess of mining exploitation have been influencing the reduction of the ecosystem preservation in relation to the flora and fauna, especially in the zone of *La Rinconada*. The assessment of heavy metals in the tailings and its environmental risk in the zone of *Antahuila* in the town of *La Rinconada*, was made in three production plants. The area of study covers nine hectares used for gold cyanidation. The study covers the tailing of heavy metals and metalloids in the tailings of three fields located in the plants of *Geza*, *Sermetal* and *Seis Diamantes*. The tailing samples were taken to the chemical laboratory at the Catholic University of Arequipa and were compared with the ECAS of the chemical soil elements. The results were superior to the ECAS in relation to the arsenic case at 573.200 mg/Kg. However, the mercury and lead values vary from one plant to another exceeding the national standards. In the case of arsenic, it surpasses the international standards of Canada, Sweden and US. These results show the presence of heavy metals in the area of study; that is why there is a need of taking key decisions in relation to the impact of natural effects that could destabilize the tailing fields and contaminate the downstream in the installing zone. There is the need to have a more responsible management of the resources and the correct disposal of tailing waste; this will lead to the reduction of environmental risks generated by leachates and the collapse of tailing fields.

**Keywords:** Environment, pollution, leachates, heavy metals and tailings.

## INTRODUCCIÓN

Desde los inicios, la humanidad ha tenido la necesidad de utilizar metales y siempre ha buscado métodos para minarlos y extraerlos. Desde esas remotas épocas existe la minería y con esta todos los efectos contaminantes que pueden existir; estos pueden ser combatidos y eliminados siguiendo métodos seguros de trabajo y estándares ambientales sostenibles. Un caso muy particular es el de la generación de relaves por cianuración y a partir de estas actividades se generan relaves. Este fenómeno se da por el procesamiento de minerales por el proceso metalúrgico de hidrometalurgia generando los estériles del proceso.

La consecuencia directa de la actividad minera al llevar a cabo la explotación de un yacimiento precede al tratamiento de los minerales para su procesamiento, lixiviación y cianuración de oro y consecuente exposición al medio ambiente; con ello se dejan expuestos ciertos elementos que antes no lo estaban, o lo estaban de forma mucho más limitada. Cabe destacar, no obstante, que muchos yacimientos minerales, particularmente los menos sulfurados, son en sí, fuentes naturales de contaminación ambiental. Esto depende en gran medida de si son o no aflorantes, de su ubicación respecto al nivel freático, de los factores climáticos y de otros aspectos que van a producir la alteración y disolución de estos materiales.

La interacción entre los minerales y/o relaves con el agua y el aire inicia un complejo mecanismo de reacción química entre estos, acelerada en muchos casos por la acción de intemperismo, dando como resultado la generación de drenajes ácidos o efluentes mineros. En esta nueva situación, los minerales primarios, especialmente sulfuros, se alteran o disuelven y modifican el pH y las características de las aguas, dando origen a la formación de compuestos químicos generando contaminantes.

En la actualidad se utilizan diversos métodos para recuperar el oro utilizan cada vez químicos contaminantes y que el proceso metalúrgico genera gran cantidad de relaves que con una mala disposición final produce contaminación ambiental en las áreas de influencia directa e indirecta. Los resultados para predecir el riesgo ambiental se trabaja con muestras de relave recolectadas en la zona de estudio, con ensayos y resultados reales.

Los ríos y lagunas afectadas por el tipo de contaminación ácida se caracterizan por presentar valores de pH menores que 7, así como por el alto contenido de sulfatos, sólidos disueltos en sus aguas y sedimentos. Esta contaminación viene alterando los ecosistemas fluviales con el riesgo de la desaparición del hábitat natural. Estas aguas también pueden contener contaminantes tóxicos como metales pesados, entre ellos Zn, Mn, Mg, Cu, Cd, Pb y As que provienen del transporte de partículas finas de las canchas de relaves de la zona de Antahuila.

Dado que este problema puede persistir durante años, de finalizada la vida de la explotación de minerales en la zona de Rinconada y su posterior proceso de recuperación de oro, es conveniente estudiar los riesgos ambientales que podrían ocasionar las canchas de relaves y garantizar su cierre final con previa caracterización de los relaves y realizar un inventario de todas las plantas de beneficio de la zona y de los puntos de descarga de sus efluentes. Así como determinar sus características principales.

## CAPÍTULO I

### REVISION DE LA LITERATURA

#### 1.1. Contexto y marco teórico

La contaminación con metales pesados puede surgir de muchas fuentes, pero más comúnmente de la purificación de metales, por ejemplo, el smelting (proceso de extracción del metal de la piedra) del cobre o la preparación de combustible nuclear. La electrodeposición es la primera fuente de cromo y cadmio. Mediante la precipitación de estos compuestos o el intercambio de iones hacia los suelos y barros, los metales pesados se pueden localizar y quedar depositados. A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales pesados no decaen y presentan otros desafíos para remediarlos.

Uno de los mayores problemas asociados a la aparición de metales pesados es el potencial de bioacumulación y biomagnificación causando mayor exposición de estos metales a un organismo de la que podría encontrarse sola en el medio ambiente. Peces de alta mar (como el Tetractenos glaber) y aves marinas (como la Fratercula arctica) son controlados por la presencia de estos contaminantes. Los principales lugares en los que se encuentra bioacumulación, son los estuarios o lugares con agua salobre, debido a que los contaminantes son arrastrados a lo largo del trayecto de los ríos y depositada en los lechos lacustres, siendo reportados niveles elevados de metales pesados en el fondo, en algas, ostras y peces de consumo humano, tal como sucede en muchas lagunas de agua salobre en México, Nigeria, Egipto, en donde se han realizado estudios del suelo, plantas, agua y tejidos animales, encontrando niveles elevados para metales pesados por encima de lo permitido por sus sistemas de salud y control ambiental en cada una de las naciones.

## 1.2. Los metales pesados en el suelo

El suelo es un componente esencial del medio ambiente, base de los ecosistemas terrestres, principio de muchas cadenas tróficas y soporte del medio urbano e industrial. Dentro de sus funciones actúa como tampón, controlando el transporte de elementos químicos y sustancias hacia la atmósfera, hidrosfera y biosfera (Kabata - Pendias y Pendias, 2000). Sin embargo, la función más importante del suelo es su productividad, base de supervivencia de los seres humanos. Por tanto, el mantenimiento de sus funciones ecológicas y agrícolas es una responsabilidad de toda la humanidad.

Los suelos interactúan químicamente con la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera y, sobretodo, recibe el impacto de los seres vivos que, directa o indirectamente, pueden romper su equilibrio químico (Doménech, 1995).

Los contaminantes pueden permanecer por largo tiempo en el suelo, lo cual es especialmente grave en el caso de los compuestos inorgánicos, como los metales pesados que son difícilmente degradables (Bech *et al.*, 2001 y Pilon-Smits, 2005). Mientras que, los compuestos orgánicos son más o menos biodegradables, excepto en algunos casos recalcitrantes (V. Dioxina), descomponiéndose y eliminándose hacia los freáticos o a la atmósfera en un tiempo no excesivamente largo (Bech *et al.*, 2001).

### ➤ Procedencias de los metales pesados en los suelos

El conocimiento de la asociación de los elementos traza con la fase particular del suelo y su afinidad hacia cada constituyente es un factor clave para un mejor entendimiento de los principios que rigen su comportamiento en el suelo (Kabata-Pendias y Pendias, 2000). Para un adecuado equilibrio del ecosistema, el contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que en él tienen lugar; sin embargo, la actividad humana ha incrementado el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas (García y Dorronsoro, 2005).

### ➤ **Origen natural**

Los metales pesados contenidos en el material original, al meteorizarse, se concentran en los suelos. Estas concentraciones naturales de metales pueden llegar a ser tóxicas para el crecimiento de las plantas.

En condiciones normales los procesos geoquímicos que originan las rocas determinan su contenido en metales pesados (Roca, 2004). Rocas básicas y ultramáficas, solidificadas en primer lugar a partir del magma, incorporan metales pesados como el Co, Ni, Zn y Cr por reemplazamientos isomórficos de Fe y Mg en los minerales ferromagnesianos. En cambio, las rocas ácidas, las últimas en solidificar, tienden a enriquecerse en Pb, el cual es capaz de sustituir al K en diferentes minerales.

La alteración de los minerales en las condiciones superficiales de la Tierra favorece el enriquecimiento de metales pesados en las rocas sedimentarias. Las más abundantes son las argilitas, constituidas mayoritariamente por minerales secundarios del grupo de las arcillas.

Las arcillas incorporan elementos como el Fe, Zn, Cr y Mn al sustituir el Al de los octaedros, y adsorben gran cantidad de Cu, Co, Mn, Ni y Zn gracias a su gran superficie específica. Estas rocas pueden presentar altos contenidos en Se (que pueden oscilar entre 10 y 50 mg/kg) como son las lutitas del Cretácico del medio Oeste de USA (Reeves, 2006).

Areniscas y rocas carbonatadas – calizas y dolomías– suelen tener los contenidos más bajos de metales pesados. La adsorción y/o complexación de metales pesados con la materia orgánica, en ambientes deposicionales reducidos ricos en restos orgánicos, es una de las principales causas de la alta concentración de metales pesados en las rocas típicas de estos ambientes sedimentarios. Las rocas metamórficas, formadas en diferentes condiciones de presión y temperatura, tienen prácticamente los mismos contenidos que las rocas a partir de las cuales se forman. Más del 98% de la corteza está compuesta solo por 8 elementos pero existen concentraciones anormales de ciertos metales que, aunque con un porcentaje casi simbólico, tienen un gran interés económico. Estos yacimientos minerales aportan de forma natural elevadas concentraciones de éstos metales al suelo. Existen diversos ejemplos en la bibliografía como los suelos derivados de carbonatos o silicatos de Zn con importantes aportes de

Zn, Pb, Cd y Cu (Proctor y Woodell, 1971 y Rascio, 1977) o las concentraciones de Cd, Cu, Pb y Zn de suelos del area de Barcelona desarrollados sobre mineralizaciones dispersas de Cu (Bech *et al.*, 1995).

El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer grado de la composición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que conforman el mismo (Adriano, 1986).

La acción de los factores medioambientales sobre las rocas y los suelos derivados de ellas son los determinantes de las diferentes concentraciones basales (niveles de fondo) de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas, sedimentos y biota). Las diferencias en la composición fisico-química de los sedimentos como el tamaño de las partículas, distribución y mineralogía afectan a las concentraciones de los metales pesados de origen natural (Loring, 1991 y Usero *et al.*, 1997). Una alta concentración de metales en sedimentos puede resultar en ciertos casos de su material geológico sin que haya sufrido una contaminación puntual (White y Tittlebaum, 1985).

#### ➤ **Origen antropogénico**

Las actividades humanas han ejercido un efecto considerable en la concentración y movilidad de los metales en suelos, así como un destacable efecto medioambiental y, en algunas ocasiones, graves efectos a la salud de los seres vivos. El uso de los metales pesados ha ido aumentando paralelamente al desarrollo industrial y tecnológico (Förstner y Wittmann, 1981).

La contaminación es uno de los problemas ambientales que afecta a nuestro planeta, y surge por presencia de materia o energía, que causa un desequilibrio ambiental, término que se puede definir, como la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, en cantidades que causen efectos adversos en el hombre, animales, vegetales o materiales, que se encuentren expuestos a dosis que sobrepasen los niveles de los que se encuentran tradicionalmente en la naturaleza. Para que exista contaminación, la sustancia contaminante deberá estar en cantidad suficiente para provocar alteración, que se exprese como la cantidad de sustancia introducida en relación con la masa o el volumen del medio receptor, cuyo cociente recibe el nombre de concentración (Enkerlyn *et al.*, 1997 y Witkowsky, 1996).

Estas condiciones afectan al planeta tierra desde tiempos muy antiguos, por la adición de sustancias que sobrepasan los valores tradicionales en el ambiente; por lo tanto, exige soluciones mundiales, puesto que las grandes alteraciones, destruyen las selvas tropicales, erosionan la tierra en regiones no húmedas, extinguen una gran cantidad de especies de plantas y animales, destruir la capa de ozono en la estratosfera, provocan sobrecalentamiento de la atmósfera, usan inadecuadamente el agua y el aire, consumen agua en gran escala para producir en la agricultura, industria y en el hogar, se desprenden miles de productos químicos nocivos que se dispersan en el ambiente, con consecuencias poco cuantificables; es decir, el hombre destruye recursos y contamina.

En su afán de superación, el hombre hace uso indiscriminado de los procesos industriales, muchas veces sin precaución ni control de sus insumos y residuos, con el solo hecho de alcanzar mayor producción con inversión económica, sin tener en cuenta el costo social como factor máspreciado, que a corto o largo plazo, desencadena daños que se convierten en desastres, entre el que destaca la minería, como industria de importancia económica nacional e internacional, que la sociedad la define como una actividad que involucra cambios a la geografía y fisiografía de los paisajes para extraer minerales, especialmente los metales preciosos; que a la vez demanda poco empleo directo, pero genera abundante empleo indirecto, habiéndose convertido en el eje de muchos polos de desarrollo en muchas regiones del mundo, entre ellos el Perú, que a través de su historia ha propiciado múltiples operaciones mineras, pero actualmente carece de un marco ambiental moderno, opera sin asumir los impactos ambientales negativos de sus operaciones, acumulando uno de los pasivos ambientales más grandes del país (Consejo Nacional del Medio Ambiente, 2000 y Milla, 2000).

La Minería, a través de los siglos, ha formado parte de la historia y del desarrollo económico de muchos países en el mundo; sin embargo, muy notorios han sido los efectos sociales y ambientales que ha generado esta actividad en detrimento de los diferentes ecosistemas durante los procesos de extracción de los metales nobles, como es el caso del oro y plata, que empezó en el siglo XVI, utilizando sustancias químicas peligrosas.

En las aguas residuales de los procesos mineros, comúnmente se encuentran los compuestos inorgánicos y sustancias tóxicas como el arsénico, cianuro y metales pesados; los cuales a concentraciones bajas son tóxicos para los organismos vivos; tal es

así que los compuestos sintéticos de cianuro que se emplean en los procesos de explotación minera son mucho más elevadas que aquellas que se encuentran en la naturaleza y a concentraciones muy bajas, porque se introduce en el plasma celular y se combina con el hierro, el cobre y el azufre, para formar enzimas y proteínas (Glyn *et al.*, 1999 y Smith *et al.*, 1991). Así mismo las sales de cianuros son tóxicos a pH bajo, porque se convierten en ácido cianhídrico que actúa impidiendo las reacciones de oxidación del fósforo, que es la que permite la respiración celular; además algunos compuestos cianurados que se forman por reacción con determinados metales pesados pueden ser sustancias más tóxicas que los elementos químicos que no pueden actuar por sí solos.

Así mismo, el suelo como parte de la naturaleza, cuenta con componentes minerales y biológicos, constituidos por organismos que viven en él, o de origen externo que recibe de forma natural; este recurso se ve afectado por las aguas residuales y productos, que al parecer en el suelo alteran su estatus: ocupación, impermeabilización, traslado, eliminación, depósito de productos, vertidos, aportes de materias extrañas, entre otras y como consecuencia, se producen alteraciones en su condición para albergar a los componentes biológicos, por lo que con el tiempo, estas perturbaciones producen desequilibrios en el suelo mismo, atmósfera y agua, y con mayor perturbación cuando tiene como fuente a las minas abandonadas que contienen restos minerales, concentrados y escombreras, muchas veces “ricos” en metales, por no haberse aplicado tecnologías adecuadas de alto rendimiento de explotación y generan pocos vertidos contaminantes o aquellos que sean muy ácidos (Seoáñez, 2005).

En cuanto a los seres vivos, la mayoría de las especies vegetales reaccionan ante la presencia de cantidades anormales de elementos en la solución del suelo, condicionadas por las precipitaciones que al llegar al suelo desprenden partículas que pueden ser disueltas, arrastradas o transportadas en suspensión. En el primer caso, la materia soluble libera sales que se incorporan en el suelo y alteran su textura y estructura, al mismo tiempo que se pone en contacto con las raíces de la vegetación. Si la materia disuelta lo es en cantidad apreciable, las alteraciones del suelo y de la vegetación pueden ser considerables, pues los poros y la composición de los horizontes superiores se van modificando y la vegetación capta estos productos solubles si están en forma asimilable mejorando o empeorando su estado natural (Seoáñez, 2005).

Investigaciones recientes relacionadas a la acumulación de cianuro en el suelo, agua y plantas son escasos, a excepción del trabajo sobre acumulación de esta sustancia en *Solanum tuberosum* “papa”, en función de su concentración en el agua de riego (Espinoza, 2001); que a la vez en sus informes reporta que los relaves mineros, el drenaje ácido y aporte de sólidos totales afecta a la mayoría de los recursos acuáticos. Así mismo, en evaluaciones realizadas por Escobar *et al.*, (1990) demostraron que casi todos los ríos de la vertiente del Pacífico, presentan concentraciones de metales pesados, algunos con niveles superiores a los límites internacionales para consumo humano; sin embargo, los reportes relacionados con la acumulación de otros metales pesados (Kabata *et al.*, 1992), refiere que para el caso de mercurio se considera de 0,5 a 3,0 mg/kg de materia seca de la planta, el cual es variable debido a la diversificación de especies y por géneros.

Uno de los insumos utilizados en la minería artesanal es el cianuro, que se caracteriza por la presencia de un átomo de carbono enlazado a un átomo de nitrógeno mediante un enlace triple; reacciona para formar otros compuestos que poseen un gran número de propiedades, lo que ha dado lugar a su producción comercial y aplicación industrial, como es el caso del cianuro de sodio (NaCN) y calcio (CaCN)<sub>2</sub> que son utilizados en la extracción de minerales, deja residuos muy tóxicos y que al ser trasladados por el agua modifican el pH del suelo y altera las concentraciones de oxígeno a través del tiempo (Espinoza, 2001).

### 1.3. Antecedentes

La existencia de relaves mineros en zonas con actividad agrícola y áreas residenciales traen como consecuencia efectos adversos sobre el medio ambiente, el desarrollo agrícola y la salud tanto de los habitantes de la zona y como de los consumidores de productos agrícolas cultivados en las áreas de impacto de los relaves. En el presente trabajo se analizan dichos efectos de relaves mineros ubicados en el Valle de Chacabuco-Polpaico, que constituyen un ejemplo que en mayor o menor grado reproduce la situación en diversas partes del país, y se proponen diversas medidas de mitigación que disminuyen en grado importante dichos efectos adversos (Tchernitchin & Herrera, 2006).

La licuefacción de los residuos minero-metalúrgicos sólidos debido a los terremotos es la segunda causa de falla de las presas de relaves a nivel mundial y la principal causa en

Perú. Siendo las presas más afectadas las que se construyen por el método de aguas arriba. El principal problema que favorece el proceso de licuefacción es la existencia de un alto grado de saturación en los relaves (Oldecop & Rodríguez, 2007).

La presencia del plomo en los suelos representa un peligro potencial para la salud de los habitantes y usuarios, por lo que el objetivo de esta investigación fue cuantificar el contenido total de plomo en los suelos de los GPLM. Para ello, se realizaron muestreos de identificación, análisis físicos (textura) y químicos (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio) en muestras de suelos de cada parque. En aquellos parques que presentaron contaminación por plomo se realizó un muestreo de detalle con análisis adicionales de plomo total. Los valores promedio de plomo total en los suelos de los GPLM Bosque El Olivar (170 ppm Pb), Campo de Marte (226 ppm Pb) y Pentagonito (159 ppm Pb) se encontraron por encima de lo permitido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA- Perú:140 ppm). En el parque Las Leyendas se determinó que ocho de las 98 hectáreas estaban contaminadas (234.5 ppm Pb) y en el Zoológico de Huachipa 0.7 de las 11 hectáreas (266 ppm Pb) sobrepasaron el límite ECA; mientras que el parque Kennedy no sobrepasó los valores de ECA (56- 78 ppm Pb) (Tello, Jave & Guerrero, 2018).

La contaminación de las aguas continentales es un problema de escala mundial, principalmente debido al impacto de los relaves mineros. Utilizando tecnologías de punta, como plantas de neutralización de aguas ácidas, muchas empresas están mitigando el impacto de su funcionamiento; por lo que tomando como referencia los cambios en la concentración de metales pesados presentes en aguas, suelos y cultivos de la cuenca alta, media y baja del río Moche, se realizaron muestreos de agua en ocho estaciones del río Moche (Trujillo, Perú), y en cuatro sectores de sus márgenes para suelos y cultivos. Los metales pesados más representativos en el agua se presentaron en el Cuenca Alta durante el año de 1980: hierro (557.500 ppm), plomo (100.375 ppm), cadmio (4.550 ppm), cobre (6.900 ppm), zinc (262.900 ppm) y arsénico (9.000 ppm); mientras que en los suelos las mayores concentraciones se encontraron en la margen derecha de la Cuenca Baja para el año 1980: hierro (83.400 mg/kg); plomo (0.820 mg/kg); cadmio (0.012 mg/kg); cobre (1.240 mg/kg); zinc (0.380 mg/kg) y arsénico (0.016 mg/kg); en relación con la acumulación de metales en los cultivos, el hierro (0.6525 mg/kg) fue el de mayor predominio, siendo la yuca (*Manihot esculentus*) el cultivo donde se presentó. Se concluye que la mayor contaminación a nivel del análisis

de agua se presentó en la cuenca alta y durante el año de 1980; mientras que la margen derecha de la cuenca media presentó los mayores niveles de contaminación en las muestras de suelos; así como a nivel de los cultivos, la yuca (*Manihot esculentus*) fue la especie más contaminada.

El contaminante está siempre en concentraciones altas. Este tipo de modificación negativa del suelo se denomina normalmente degradación. La presencia en los suelos de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos (contaminantes) es un tipo especial de degradación que se denomina contaminación (Galán & Romero, 2008).

Las plantas de maíz sembradas en los sustratos (S3 y S4) con mayores concentraciones de As y metales (metales y metaloides tóxicos, MMTOX), mostraron síntomas visibles de afectación como: necrosis, clorosis, adelgazamiento de las hojas e inhibición del crecimiento. El Zn y el Pb fueron los elementos con mayor concentración en los sustratos y en las plantas. En los sustratos, las concentraciones de Zn variaron de 175.2 a 16193 mg/kg y las de Pb de 66.5 a 6166 mg/kg. A los 70 días de crecimiento el Zn presentó concentraciones de 54.7 a 3555.4 mg/kg y el Pb de 11.1 a 320.3 mg/kg en las raíces. En la parte aérea se determinaron contenidos de 30.8 a 519.8 mg/kg para el Zn y de 3.7 a 38.5 mg/kg para el Pb. A los 30 días los contenidos de Zn en raíz variaron entre 88.9 y 504.8 mg/kg y los de Pb entre 25.2 y 300.9 mg/kg; en la parte aérea se determinaron concentraciones para el Zn de 15.5 a 555.6 mg/kg y para el Pb de 2.2 a 10.8 mg/kg. Los factores de translocación (FT) y de bioconcentración (FBC) fueron generalmente bajos para todos los elementos. Sin embargo, en las plantas de 30 y 70 días los FT fueron ligeramente mayores con valores de 0.86 y 0.85 para Cd y de 0.82 para Zn en los suelos de uso agrícola; el As presentó el mayor FT en todos los suelos para plantas de 70 días. También se observaron diferencias en el desarrollo del maíz; las plantas crecidas en la unidad experimental de suelos agrícolas lejanos a los jales mostraron un mejor crecimiento (46 cm en promedio) respecto a las crecidas en los residuos de jal (24 cm en promedio). Este mismo comportamiento fue observado al evaluar las características anatómicas, pesos fresco y seco, biomasa y número de hojas, con diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las unidades experimentales, y mayores valores para S1 seguidos de S2, S3 y S4. Estos resultados sugieren que la contaminación por MMTOX en las áreas cercanas a los jales afecta el desarrollo de las plantas de maíz al acumularlos y altera su crecimiento y desarrollo causando efectos

fitotóxicos que se reflejan en su apariencia (Olivero-Verbel, Young-Castro & Caballero-Gallardo, 2014).

La salud del trabajador es el hecho más importante en la vigilancia por exposición a tóxicos industriales. En metalurgia extractiva, existe exposición a muchos elementos y compuestos químicos. El avance tecnológico actual permite realizar mediciones muy precisas en medios biológicos. Monitoreo biológico es medir la concentración del agente tóxico en los medios biológicos del trabajador, para establecer niveles de exposición y medidas de control en el ambiente laboral. Un indicador biológico de exposición valora la cantidad absorbida de un químico o de los subproductos de su biotransformación en medios biológicos, lo que permite cuantificar al agente en el organismo. En la exposición industrial para valorar daño renal, usamos función renal, citotoxicidad específica, proteínas de peso molecular bajo o enzimas excretadas. Para el sistema nervioso, se desarrolla indicadores ‘substitutos’ y, en genotoxicidad, aductos del ADN. El presente trabajo revisa indicadores de exposición para metales en metalurgia extractiva (Ramírez, 2006).

¿Qué efectos tiene respecto a la salud esta contaminación por metales pesados? Cada metal y cada elemento químico contaminante tienen un mecanismo de acción y un lugar de acumulación preferido. El más conocido es el plomo que afecta varios sistemas, por ejemplo en el sistema nervioso llega a dañar a las neuronas especialmente las del cerebro. El plomo afecta también a la médula ósea y otro lugar donde es frecuente encontrarlo es el riñón (Romero, 2009).

El suelo se forma por la interacción de los sistemas atmósfera, hidrosfera y biosfera sobre la superficie de la geosfera. Ocupa la interfase entre la geosfera y los demás sistemas, en la llamada Zona Crítica (National Research Council, 2001; Brantley *et al.*, 2007), la parte más dinámica de la superficie de la Tierra. La meteorización química y mecánica de las rocas y la influencia de ciertos procesos microbiológicos producen el suelo. La meteorización está controlada esencialmente por la energía solar, que regula el ciclo del agua y alimenta los sistemas vivos, y por circunstancias locales favorables (como la topografía) y propiedades intrínsecas de las rocas (permeabilidad, alterabilidad). Después de un largo periodo de meteorización, y bajo condiciones climáticas estables, el suelo puede alcanzar su equilibrio. Pero cuando uno de los parámetros del sistema varía, el equilibrio se rompe. La interacción con el Hombre, un

componente singular de la biosfera, puede romper también el equilibrio, debido a su uso (agricultura, industria, minería, ganadería, etc.). Este tipo de modificación negativa del suelo se denomina normalmente degradación. La presencia en los suelos de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos (contaminantes) es un tipo especial de degradación que se denomina contaminación. El contaminante está siempre en concentraciones (Galán & Romero, 2008).

Estudios recientes han demostrado que algunas plantas con determinadas características incrementan la biodegradación de una variedad amplia de moléculas orgánicas xenobióticas en suelos contaminados. Sin embargo, se sabe poco acerca de la participación directa o indirecta y de los mecanismos y etapas que ocurre en las plantas para transformar estos compuestos. El objetivo de esta revisión es mostrar a la fitoremediación como una opción tecnológica útil para la limpieza de suelos contaminados. Se hace una revisión de los mecanismos que la planta utiliza, las interacciones que se llevan al cabo en el suelo entre planta, microorganismos y compuestos orgánicos xenobióticos. Estos conocimientos permitirán proponer soluciones a los problemas de la contaminación y la eventual recuperación de suelos (Olivero- Verbel *et al.*, 2014).

Se investigan los niveles de concentración de Pb, Cd, Cu, Ni y Zn así como la distribución de Pb en suelos de una zona cercana a una planta de reciclaje de baterías ácidas en Madrid (España) donde recientemente se produjo un grave episodio de muerte de ganado equino con evidentes síntomas de intoxicación por plomo. Las concentraciones totales de Pb y Cd en suelos disminuyeron con la distancia a la planta (5906 a 171 mg Pb/kg suelo y 11.0 a 1.58 mg Cd/kg suelo) en muestras tomadas de 40 a 400 m. respecto a la planta. El estudio de extracción secuencial química puso de manifiesto que en estos suelos el plomo aparece fundamentalmente en fracciones no residuales, representando más del 96 % del contenido total en los suelos más contaminados. El vertido de efluentes ácidos de la planta de reciclaje disminuyó drásticamente el pH de los suelos afectados (de aprox. 7.0 a 3.14) y elevó los contenidos de Pb en la fracción soluble o intercambiable llegando a alcanzar el 37 % del contenido total de Pb en el suelo.

Los metales pesados presentes en el polvo causan problemas de salud en seres humanos y otros organismos. Los principales objetivos de este estudio fueron determinar: 1) las

concentraciones y las fuentes de metales pesados (Zn, Cu, Pb, Fe, Ni, Cr, Co y Mn) y 2) los niveles de contaminación de metales en el polvo de Bushehr (zona urbana) y Assaluyeh (zona industrial), ubicados en la provincia de Bushehr al suroeste de Irán. Además, se estudió el trayecto entre las dos ciudades como zona rural. Para ello se tomaron 50 muestras en concentraciones medias de metales pesados en el polvo fueron más altas que aquellas encontradas en los suelos cercanos, a excepción de Co en Assaluyeh y Pb en Bushehr. Por su parte, las concentraciones de Zn, Cu y Pb en las muestras de polvo de las zonas industrial y urbana fueron más altas que las de muestras tomadas en la zona rural. Además, los resultados indicaron un nivel de contaminación mínimo para Mn, Fe y Cr, de componentes principales, análisis de clúster y análisis de correlación. Zn, Cu y Pb parecen provenir de fuentes antrópicas, mientras que las concentraciones de Fe, Ni, Cr, Co y Mn en el polvo atmosférico probablemente proceden de fuentes no antrópicas. En general, la implementación de estándares ambientales y la mejora del sistema de transporte público son acciones necesarias para reducir la emisión de contaminantes peligrosos a la atmósfera (Naderizadeh, Khademi & Ayoubi, 2016).

Se llevaron a cabo a nivel de invernadero y en macetas, ensayos preliminares de fertilización en diferentes dosis de lodo procedente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR - Puente Piedra, Lima – Perú, con el objetivo de determinar su aprovechamiento agrícola. Se aplicó el diseño estadístico completamente al azar (DCA), y el método estadístico de la varianza – ANVA y el Test de Tukey (P 0,05) para el análisis de las variables agronómicas de  $\leq$  emergencia de la plántula (s), altura (H), grosor del tallo (D) y materia seca (F) de la planta f indicadora de maíz (*Zea mays L.*). El ensayo N° 1, contenía dosis de lodo seco 0, 2, 4, 6, 8 y 10 %, mezclado con arena lavada, y el ensayo N° 2 contenía dosis de lodo compostado de 0, 25, 50, 75 y 100 %. En ambos casos se usó un fertilizante inorgánico, control NPK 300-400-200 (en partes por millón, ppm). Los resultados estadísticos mostraron diferencias altamente significativas de las variables a mayores dosis de lodo seco o lodo compostado respectivamente. En tanto, el porcentaje de emergencia de la plántula en los tratamientos mostró pérdida significativa en ambos ensayos, que fue atribuido a una ligeramente alta salinidad del lodo, que generalmente inhibe el crecimiento de las plantas, y la lenta mineralización del lodo que afecta la absorción de nutrientes. Ninguna de las concentraciones de los elementos As, Hg, Pb, Cd y Cr, en el lodo, en el

suelo antes y después de la fertilización, y en la planta de maíz excedieron los valores límites exigidos por las normas de aplicación agrícola del lodo – USEPA 40 CFR Part 503, a excepción del Pb y Cr al final de la fertilización en ambos ensayos, aunque sin producir toxicidad a la planta (Francisco, Ramos & Aguirre, 2011).

Las concentraciones medias de metales pesados en el polvo fueron más altas que aquellas encontradas en los suelos cercanos, a excepción de Co en Assaluyeh y Pb en Bushehr. Por su parte, las concentraciones de Zn, Cu y Pb en las muestras de polvo de las zonas industrial y urbana fueron más altas que las de muestras tomadas en la zona rural. Además, los resultados indicaron un nivel de contaminación mínimo para Mn, Fe y Cr (Naderizadeh *et al.*, 2016).

En los países industrializados, la contaminación de suelos y aguas subterráneas por el vertido incontrolado de residuos industriales es uno de los problemas más preocupantes que se plantean, ya que su eliminación no es fácil ni barata de realizar, y sus efectos persisten durante muchos años. En España este problema es especialmente notorio a causa de una gestión inadecuada derivada de la descoordinación existente entre los diferentes sectores involucrados: administración, empresas, técnicos y científicos. La ausencia de instalaciones suficientes para su tratamiento, ha llevado a la práctica de vertidos en los cauces de ríos y en el subsuelo o a su almacenamiento en vertederos incontrolados. Las experiencias y directrices de la Environmental Protection Agency de Estados Unidos han servido como guía en los principales países industrializados para la evaluación de este tipo de contaminación. Esta metodología se basa en su identificación y delimitación tanto en el suelo como en las aguas subterráneas. Tras el diseño de un plan de seguimiento y control se establecen, en su caso, las medidas correctoras. Para ello es importante el conocer los procesos de transferencia de contaminantes entre el medio saturado y no saturado, siendo por tanto indispensable el uso conjunto de métodos geoquímicos y geofísicos y su combinación con métodos hidrogeológicos. En España, este tipo de estudios se realizan sólo desde principios de la década de los 80. Un ejemplo estudiado recientemente es el caso de la contaminación del acuífero aluvial del río Besos (Prov. de Barcelona) por Cr-VI y otros metales pesados y por micro contaminantes orgánicos (Navarro, Carmona & Font, 1996).

Representan la biodisponibilidad y la distribución de los metales en los suelos enmendados. Las concentraciones totales se determinaron por medio de una digestión

ácida en sistema abierto. La cuantificación de los metales pesados se realizó por ICP-AES. El Cd no fue detectado. La biodisponibilidad de Cu y Pb decrece con la antigüedad de aplicación y la del Zn aumenta. La antigüedad de aplicación de los biosólidos, influyó en la redistribución de Cu, Pb y Zn en las cuatro fracciones extraídas. La distribución del Ni es menos afectada por la antigüedad de aplicación de los biosólidos. Los metales estudiados están retenidos en un alto porcentaje en las fracciones más estables, oxidable y residual. La fracción biodisponible de cada metal muestra bajos porcentajes, lo cual indica escasa disponibilidad en el suelo y por lo tanto un bajo riesgo de que sean incorporados a las redes tróficas (González-Flores, Tornero-Campante, Sandoval-Castro, Pérez-Magaña & Gordillo-Martínez, 2011).

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1. Identificación del problema

Algunos de los problemas ambientales por los que la actividad minera- metalúrgica se encuentra cuestionada, se debe en gran medida al manejo de los residuos, que por su volumen los de mayor incidencia son los relaves (corresponden a la suspensión fina de sólidos en líquido, constituido fundamentalmente por el mismo material (minerales) in situ en el yacimiento, al cual se le ha extraído la fracción con mineral valioso), debido a su deficiente disposición y/o roturas que han ocasionado infiltraciones de lixiviados, provocando la contaminación del agua superficial y subterránea.

El presente estudio se ubica en el centro poblado de la Rinconada, en donde existe una descarga incontrolada de relaves, para lo cual las plantas de beneficio han construido presas en un intento de mantenerlos fuera de ríos y quebradas, siendo estas en algunas plantas seguras pero en su mayoría se encuentran de forma empíricas y no seguras desde su instalación de geomembrana.

Las Plantas de Beneficio, lugar donde se ha realizado la presente investigación, tiene implementado el proceso metalúrgico de Cianuración en Pulpa (CIP), luego de lo cual se descarta las colas o relaves hacia las piscinas de sedimentación. En dichos residuos se encuentran concentraciones importantes de cianuro y metales disueltos, con el consiguiente riesgo para el medio ambiente y salud humana.

El determinar las concentraciones de metales pesados en los relaves permitirá un mejor control y monitoreo de los mismos, contribuyendo eficazmente al cuidado medio ambiental.

➤ **Problema científico**

¿Cómo influye la concentración de los metales pesados en los relaves de cianuración y cual su riesgo ambiental en la zona de Antahuila?

- **Pregunta general**

¿Cuál es la concentración de contaminantes en los relaves en la zona de Antahuila?

- **Preguntas específicas**

¿Cuál es el grado de concentración de contaminantes de los relaves por metales pesados en la zona de Antahuila en base a la caracterización de los relaves?

¿Cómo se presenta el riesgo ambiental por los lixiviados en la zona de Antahuila?

## 2.2. Justificación

Se debe destacar que la actividad minera en la zona de la Rinconada ha generado que se implementen bastantes plantas de cianuración en la zona de la Rinconada y presentan diversos problemas en cuanto al manejo de los residuos (relaves), debido a tres factores principalmente:

- a) La implementación de gestiones adecuadas implica una inversión económica difícilmente costeable (por ejemplo, la adquisición de terrenos para el procesamiento y disposición de los relaves y la construcción de obras de ingeniería.
- b) Existe una deficiencia de profesionales especializados en el tema. Esto contribuye al manejo irresponsable de los relaves y recursos, sin planes de gestión.
- c) Conducta o cultura de la minería artesanal que prevalece de manera muy arraigada en la zona.

## 2.3. Objetivos

### 2.3.1. Objetivo general

Evaluar el contenido de metales pesados en los relaves e identificar su potencial de contaminación y conocer los riesgos ambientales que se presentan en la Zona de Antahuila.

### 2.3.2. Objetivo específicos

- a) Determinar la concentración de metales en los relaves en la zona de Antahuila Rinconada.
- b) Determinar el riesgo ambiental en la zona de Antahuila a partir de la concentración de metales pesados en los relaves en la zona de Antahuila.

## 2.4. Hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

La evaluación del contenido de metales pesados en los relaves e identificar su potencial de contaminación permitirá conocer los riesgos ambientales que se presentan en la Zona de Antahuila en base a los ECAS y la normativa vigente.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Determinar las concentraciones de metales en los relaves y conocer el potencial de contaminantes.
- b) Determinar el riesgo ambiental en la zona de Antahuila a partir de las concentraciones de metales pesados en los relaves en la zona de Antahuila.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. **Ámbito de estudio**

##### 3.1.1. **Ubicación**

El alcance de la presente investigación se circunscribe a realizar la caracterización de los relaves en la zona de Antahuila en el centro poblado de la Rinconada – San Antonio de Putina. Exactamente en las canchas de relaves de la Planta de beneficio Geza minerales Asis, cancha de Relaves de la Planta Sermetal y la cancha de relaves de la planta Seis Diamantes. A partir de la caracterización de metales pesados en muestras de relaves mineros.

La caracterización de los relaves del área de estudio permite conocer los niveles de contaminación de la zona.

##### ➤ **Ubicación y accesibilidad**

La zona de estudio; presenta la siguiente ubicación geográfica, hidrográfica y política.

##### ➤ **Ubicación geográfica**

La ubicación de la zona de estudio; tiene la siguiente ubicación geográfica:

Latitud Sur : 14°38'13.05"

Longitud Oeste : 9°27'37.96"

Coordenadas UTM (WGS84) : Centroide

Norte : 8381777  
 Este : 450405  
 Variación Altitudinal : 5000 m.s.n.m.

➤ **Ubicación hidrográfica**

Hidrográficamente la fuente de agua de abastecimiento de agua para las Plantas de cianuración ubicadas en la zona de Antahuila; pertenecen a la Cuenca del Río Ramis.

La ubicación de la Zona de estudio pertenece a la Cuenca de Río Ramis.

➤ **Ubicación política**

La zona de estudio Políticamente se encuentran en:

Región : Puno  
 Provincia : San Antonio de Putina  
 Distrito : Ananea  
 Sector : Cerro Antahuila



Figura 1. Mapa de ubicación política por departamentos de la zona de estudio



Figura 2. Mapa de ubicación política por provincia de la zona de estudio

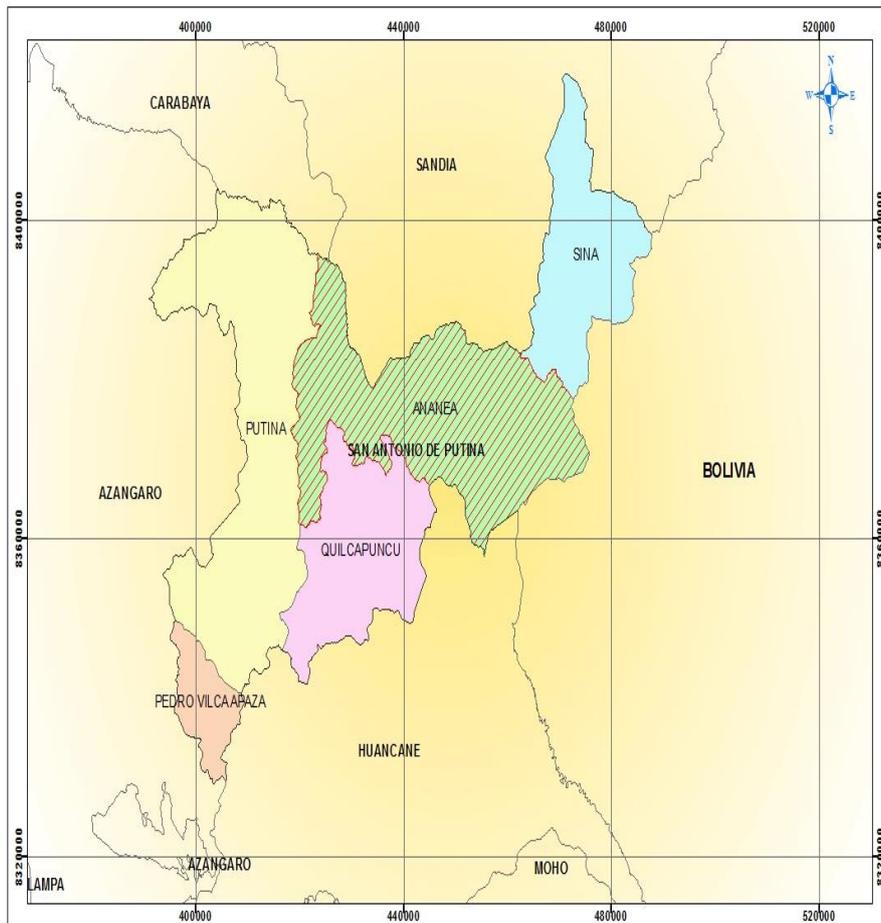


Figura 3. Mapa de ubicación política por distritos de la zona de estudio



Figura 4. Mapa de ubicación hidrográfica de la cuenca del río Ramis donde pertenece el área de emplazamiento de la zona de estudio

- ✓ Ubicación del área de la Planta de Cianuración GEZA CIP en coordenadas UTM WGS-84

Tabla 1

Ubicación de la Planta de Cianuración CIP en coordenadas UTM WGS-84

VERTICE	COORDENADAS UTM (WGS-84)	
	ESTE	NORTE
1	450284.61	8381814.43
2	450385.56	8381925.62
3	450532.00	8381723.00
4	450468.87	8381645.43

Área = 3.0860 Has      Perímetro = 750 ml

Tabla 2

*Ubicación del área de la planta Sermetal en coordenadas UTM WGS-84*

VERTICE	COORDENADAS UTM	
	ESTE	NORTE
1	450562.0000	8381536.0000
2	450786.6045	8381337.1211
3	450565.6280	8381087.5605
4	450341.0235	8381286.4394

Área = 3.2 Has

Tabla 3

*Ubicación del área de la planta Seis Diamantes en coordenadas UTM WGS-84*

VERTICE	COORDENADAS UTM	
	ESTE	NORTE
1	450949.000	8381189.000
2	450998.529	8381052.787
3	450832.624	8380936.797
4	450752.360	8381051.404

Área = 3.5 Has

✓ **Accesibilidad**

Tabla 4

*Acceso a la zona de estudio zona Antahuila*

TRAMOS (Puno – Mina)	DISTANCIA (Km)	VÍA (Terrestre)	TIEMPO (Horas)	CONDICIÓN
Puno - Juliaca	45	Asfaltada	00h 45 min.	Buena
Juliaca – Desvío Huancané	50	Asfaltada	00h 45 min.	Buena
Desvío Huancané – Putina	40	Asfaltada	00h 45 min.	Buena
Putina – Pampilla	55	Asfaltada	01h 15 min.	Buena
Pampilla - Ananea	5	Afirmada	00h 10 min.	Regular
Ananea – Antahuila	16	Afirmada	00h 25 min.	Mala
TOTAL:	211		04h 05 min.	

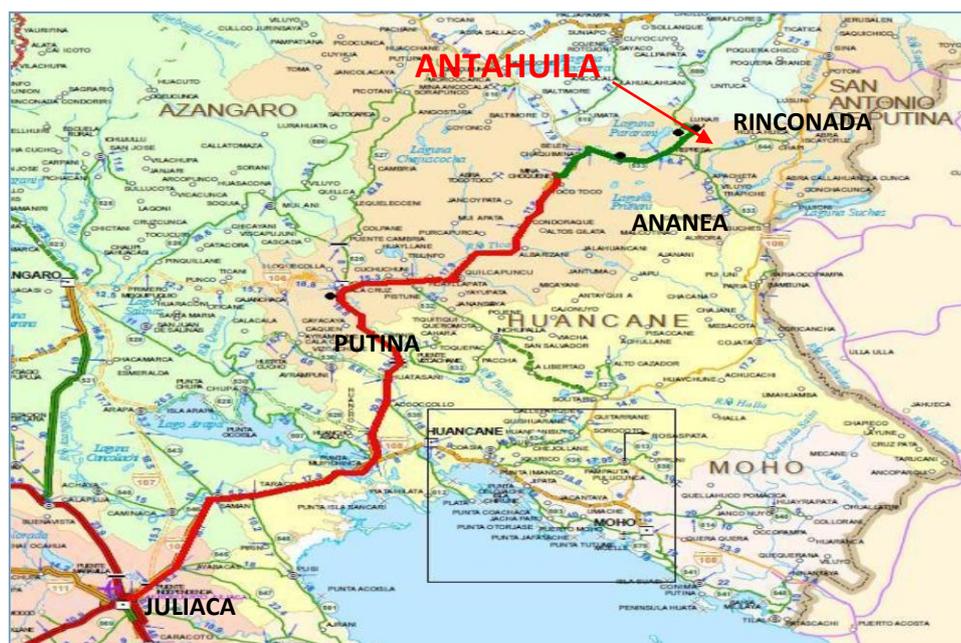


Figura 5. Mapa vial de acceso a la zona de estudio

### 3.1.2. Características climáticas

Las condiciones ambientales en el área de estudio, están influenciadas principalmente por las condiciones climatológicas, que tienen influencia sobre las precipitaciones pluviales, temperatura, evaporación, humedad relativa y vientos.

Las temperaturas que tienen una relación inversa con la altitud, con una disminución aproximada de 0.5-0.6 °C/100 m de aumento de altitud: presentan una fuerte variación entre el día y la noche, siendo esta variación, más notoria durante los meses de invierno, cuando el cielo está despejado. Con frecuencia, durante las noches la temperatura desciende por debajo de 0°C, hasta -7,5° C, La temperatura máxima diaria en °C del mes de setiembre 13.8, la temperatura máxima del mes de Octubre es de 13 y la temperatura máxima en el mes de Noviembre es de 13.6 siendo los meses que presentan las temperaturas más altas.

En la zona de influencia la temperatura mínima que presenta es de -7.5 °C en el mes de setiembre con un promedio de -3.8 °C, en el mes de Octubre la temperatura mínima es de -3.8 °C con un promedio de -1.9 °C y en el mes de noviembre la temperatura mínima es de -4.8 °C con un promedio de -1.6 °C.

La humedad relativa en el ámbito de estudio tiene un valor característico de la zona andina; los meses de otoño e invierno son los que menor humedad reportan. La evaporación como elemento meteorológico que reporta la devolución de agua a la atmósfera a partir de los cuerpos húmedos, está influenciada por la alta radiación y los fuertes vientos que se presentan principalmente en horas de la tarde (alrededor de las 13 ó 14 horas en adelante). La humedad relativa promedio del área del proyecto en los meses de setiembre a noviembre.

La caracterización meteorológica del área de Estudio se ha realizado en base a información proveniente de la Estación Meteorológica Convencional ANANEA -000826, ubicada en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, Departamento de Puno, la cual es administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) actualmente se encuentra deshabilitada pero mantiene sus records de datos de los años 2011 hasta el 2015.

Tabla 5

*Ubicación de la Estación Climatológica y Pluviométrica de Ananea*

Estación	Coordenadas Geográficas			Ubicación Política			Código de estación
	Latitud	Longitud	Altitud	Distrito	Provincia	Región	
Ananea	14°40' 43.4"	69°32' 4.3"	4550	Ananea	San Antonio de Putina	Puno	000826

Fuente: SENAMHI.

➤ **Precipitación**

Para el análisis de la precipitación total mensual, se ha hecho uso de la estación Ananea, los registros se aprecian a nivel mensual y en el lapso de 5 años. Teniendo una precipitación promedio anual de 44.44 mm anual.

➤ **Humedad relativa**

La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a la misma temperatura. Este parámetro está fuertemente influenciado por la estacionalidad

y la temperatura, por lo que para territorios altiplánicos presenta los valores más altos en los meses de verano, mientras que los mínimos ocurren durante los meses de invierno.

La Estación Meteorológica Ananea ha registrado datos de humedad relativa media anual correspondiente al periodo 20011-2015; la distribución de los valores muestra que el valor máximo es reconocido con 8.82 promedio en el mes de Junio del 2014, y un valor mínimo de 5.62 promedio en el mes de Enero del 2015.

### ➤ **Temperatura**

La temperatura disminuye conforme aumenta la altitud aproximadamente en  $0.6^{\circ}\text{C}$  cuando se incrementa en 100 m la altitud. Y las variaciones entre la noche y el día son muy fuertes, siendo más notorio durante los meses de invierno cuando se siente más la bajada de la temperatura.

La temperatura promedio de la zona de la Planta de Beneficio mínima anual es de  $-1,9$  bajo cero y el promedio máximo es de  $10.4^{\circ}\text{C}$ .

Las variaciones de temperatura promedio cambian repentinamente presentándose en el mes de Noviembre del 2014 una máxima de  $12,14^{\circ}\text{C}$ , y en el mes de Agosto del 2013 una mínima de  $-4,17^{\circ}\text{C}$  en las noches y el las mañanas  $-4$  a  $9^{\circ}\text{C}$ . Para el análisis de la temperatura media mensual se ha hecho uso de la estación Ananea.

### ➤ **Velocidad y dirección del viento**

Los vientos son nombrados en relación con las direcciones en las que soplan. La dirección del viento depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos; se desplaza de los centros de alta presión (anticiclones) y su fuerza es tanto mayor cuanto mayor es el gradiente de presiones.

Con lo determinado se puede interpretar que la Dirección de los vientos de enero a marzo presentan una dirección al este con variaciones al sureste y varían en dirección hacia los meses de abril a junio con direcciones de Norte a Sureste, de julio a octubre es casi heterogéneo hacia el Norte con ligeras variaciones al este o como el caso de agosto para el 2015 fue en promedio al Sureste; noviembre y

diciembre empiezan a variar sus direcciones al Noroeste, lo cual se empieza a volver un tanto cíclico y que por ende se estima que para el próximo año tenga similares comportamientos.

### **3.2. Metodología**

Contemplando un programa de toma de muestras de tipo estacional. En las canchas de relaves se determinaron los contenidos de metales en los relaves.

Se seleccionaron sitios de muestreo representativos de las diversas actividades antrópicas en el área de estudio y en toda la zona de Antahuila.

### **3.3. Muestreo de metales pesados**

Los muestreos se realizaran de manera aleatoria, con doble repetición. Se utilizó perseverante de muestras, el peso de cada muestra es de 1kg cada muestra. Estas muestras se tomaron al azar, disponiéndolas en envases de plástico previamente lavados in situ y rotulados adecuadamente. Para transportar las muestras al laboratorio se empacaron en bolsas de polietileno pesado protegidas con hielo triturado en un conservador de “plastoform” manteniéndose aproximadamente a 4° C. Se tuvo el cuidado respectivo mediante la cadena de custodia. Al llegar las muestras al laboratorio se conservarán a la misma temperatura en un refrigerador hasta ser procesadas. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de la universidad católica de Arequipa y en los laboratorios LAS (Laboratorios Analíticos del Sur).

#### **3.3.1. Procedimiento analítico**

Los análisis se realizaron según los procedimientos del laboratorio de la UCSM de Arequipa y el laboratorio LAS (Laboratorios Analíticos del Sur), para la determinación de metales pesados en relaves se utilizó el método:

- Método EPA METHODO 200.7 Emission Spectrometry
- 563 Método de Ensayo para Arsénico por ICP-OES
- 628 Método de Ensayo para Mercurio por ICP-OES
- 503 Método de Ensayo para plomo por Absorción Atómica-2013

### 3.4. Puntos de muestreo

Para el diagnóstico y caracterización de los metales en relaves en la zona de antahuila se ha zonificado en base a las tres plantas de beneficio con más cantidad de relaves y las que han sido instaladas con mayor antigüedad en tres escenarios:

- PMS1 (Punto N° 1 de muestreo) = Relavera Geza
- PMS2 (Punto N° 2 de muestreo) = Relavera Sermetal
- PMS3 (Punto N° 3 de muestreo) = Relavera Seis Diamantes

#### 3.4.1. Muestreo y análisis de relaves

El muestreo para relaves (suelos- sedimentos) se realizó considerando el conocimiento previo existente de la zona de estudio. En general el alcance y representatividad de la muestra de relaves, dependen del tamaño y de las características situacionales de la plantas de beneficio.

Sobre la base a lo anterior, en principio se ha podido diferenciar entre dos tipos de relaves, los que conforman la materia prima ha estas plantas de cianuración y los relaves de las plantas de cianuración, y parece claro que la representatividad y su composición es distinta de cada uno de ellos, debido a diferencias en la utilización de reactivos. Por lo cual los relaves de las plantas de beneficio acumuladas en gran cantidad podrían colapsar y generar una contaminación aguas debajo de antahuila.

Tabla 6

*Métodos de Análisis de Metales Pesados en Relaves (Suelos)*

METAL	MÉTODO
Metales pesados	• Método EPA METHODO 200.7 Emission Spectrometry
	• 563 Método de Ensayo para Arsénico por ICP-OES
	• 628 Método de Ensayo para Mercurio por ICP-OES
	• 503 Método de Ensayo para plomo por Absorción Atomica-2013(método Acreditado).

Las muestras fueron enviadas al laboratorio LAS de la ciudad de Arequipa y al laboratorio de la universidad Católica de Santa María de Arequipa.

Tabla 7

*Código de los Puntos de Muestreo de relaves*

Puntos de Muestreo	Código de campo	Numero de Muestras de Sedimentos	Elementos Analizados	Lugar de muestreo	Tipo de Envase - Volumen
PMS1	ANA28F17 -S1	1	- As - Cd - Cu - Cr - Hg - Pb - Zn	Planta Geza	Plastico-1L
PMS2	AC-18-00682	1	- As - Hg - Pb	Planta Sermetal	Plastico-1L
PMS3	AC-18-00682	1	- As - Hg - Pb	Planta Seis Diamantes	Plastico-1L

### 3.5. Resultados

Tabla 8

*Resultados de Laboratorio Planta Geza*

Código	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
PMS1	573.200	No detectable	15,800	27,000	0,086	45,200	67,200

Fuente: Resultados de Laboratorio UCSM (Ver Anexo 2).

Tabla 9

*Resultados de Laboratorio Planta Sermetal y planta Seis Diamantes*

<b>Código</b>	<b>As</b> ppm	<b>Hg</b> (mg/kg)	<b>Pb</b> (mg/kg)
PMS2	2122	531,28	0,031
PMS3	1731	557,90	<0,030

Fuente: Resultados de Laboratorio LAS (Ver Anexo 2).

## CAPÍTULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1. Niveles de contaminación por los relaves en el área de estudio

## 4.1.1. Contaminación por relaves

Para la comparación de la calidad de sedimentos se utilizó:

Tabla 10

*Estándar de calidad de Suelo (ECA suelo) – Perú*

Parámetros	Agrícola mg/kg
Arsénico	50
Cadmio	1.4
Mercurio	6.6
Plomo	70

Fuente: D.S. 011-2017-MINAM.

Tabla 11

*Límite máximo permisible en sedimentos – Holanda*

Elemento	LMP (mg/kg)
Cu	500
Pb	600
Zn	3000
Cd	20
As	50
Hg	10
Mn*	3000

Fuente: INGEMMET – Boletín N° 5, Serie E.

Tabla 12

*Límite máximo permisible en sedimentos – Suecia*

Clase	Cobre (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Arsénico (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)	Cromo (mg/kg)	Níquel (mg/kg)
<b>Muy bajo</b>	<15	<50	<150	<0.8	<5	<0.15	<15	<5
<b>Bajo</b>	15-25	50-150	150-300	0.8-2.0	5-10	0.15-0.3	15-25	5-15
<b>Mod. Alto</b>	25-100	150-400	300-1000	2-7	10-30	0.3-1	25-100	15-50
<b>Alto</b>	100-500	400-2000	1000-5000	7-35	30-150	1-5	100-500	50-250
<b>Muy alto</b>	>500	>2000	>5000	>35	>150	>5	>500	>250

Fuente: INGEMMET – Boletín N° 5, Serie E.

Tabla 13

*Límites máximos permisibles de sedimento (USEPA) - USA*

Parámetros	Moderadamente contaminado	Muy contaminado
Arsénico	2-8	>8
Cadmio	-----	>6
Cromo	25-75	>75
Cobre	25-50	>50
Fierro	17000-25000	>25000
Mercurio	-----	1
Manganeso	300-500	>500
Plomo	40-60	>60
Zinc	90-200	>200

Fuente: Revista Investigación (Esc. Posgrado) V5, N°4,2009.

Tabla 14

*Guía para la calidad de suelos para la protección ambiental y salud humana – Canadá*

<b>Parámetros</b>	<b>ISQL</b>	<b>PEL</b>
	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>
Cadmio	0.6	3.5
Cromo	4.5	8.87
Cobre	37.3	90
Mercurio	0.17	0.49
Zinc	123	315
Arsénico	5.9	17

Fuente: Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.

#### 4.1.2. Resultados del análisis químico de relaves

Se adjunta en el anexo 1 – Informe de ensayo de relaves:

- ✓ Informe de Ensayo UCSM- Arequipa ANA28F17.002811
- ✓ LAS – AC – 18-00682

Tabla 15

*Resultados del Análisis de Arsénico*

<b>Parámetro</b>	<b>Cód. Lab.</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Método</b>	<b>Unidad</b>	<b>Detección</b>	<b>Resultado</b>
As	ANA28F17.0028 11	PMS1	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	573,200
As	LAS-AC-18- 00682	PMS2	563-628-503 ICP-OES	mg/Kg	nd	2122
As	LAS-AC-18- 00682	PMS3	563-628-503 ICP-OES	mg/Kg	0,030	1731

En la tabla 15 se observa el resultado de laboratorio en ARSENICO en relaves con la unidad de medida de miligramos por kilogramo (mg/kg) codificados en laboratorio y en campo con un límite de detección de mínimo de 2mg/kg, observando que en el punto de monitoreo de relaves, punto de monitoreo 1 tiene el mayor resultado que es de 573,200 mg/kg y en el punto de monitoreo numero 3 obtuvo el menor valor que es 1731 mg/Kg según reporte de laboratorio.

Tabla 16

*Resultados del Análisis de Mercurio*

Parámetro	Cód. Lab.	Punto de muestreo	Método	Unidad	Límite de Detección	Resultado
Hg	ANA28F17.00 2811	PMS1	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	0,086
Hg	LAS-AC-18- 00682	PMS2	563-628-503 ICP-OES	mg/Kg	nd	531,28
Hg	LAS-AC-18- 00682	PMS3	563-628-503 ICP-OES	mg/Kg	0,030	557,90

En la tabla 16 se observa el resultado de laboratorio en MERCURIO en relaves con la unidad de medida de miligramos por kilogramo (mg/kg) codificados en laboratorio y en campo con un límite de detección de mínimo de 2 mg/kg, observando que en el punto de monitoreo de relaves, en todos los puntos existe una variación de los resultados en el primer punto se encuentra por debajo del ECA del Perú pero en los otros dos puntos de muestreo existe mercurio por encima de los ECAS del Perú.

Tabla 17

*Resultados del Análisis de Plomo*

Parámetro	Cód. Lab.	Punto de muestreo	Método	Unidad	Límite de Detección	Resultado
Pb	ANA28F17.0 02811	PMS1	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	45,200
Pb	LAS-AC-18- 00682	PMS2	563-628-503 ICP-OES	mg/Kg	0,030	0,031
Pb	LAS-AC-18- 00682	PMS3	563-628-503 ICP-OES	mg/Kg	<0,030	<0,030

En la tabla 17 se observa el resultado de laboratorio en PLOMO en sedimentos con la unidad de medida de miligramos por kilogramo (mg/kg) codificados en laboratorio y en campo con un límite de detección de mínimo de 2 mg/kg, observando que en el punto de monitoreo de relaves, punto de monitoreo 1 tiene el mayor resultado que es de 45,200 mg/kg y en el punto de monitoreo de relaves numero 3 obtuvo el menor valor que es <0,030 mg/kg.

✓ **Discusión general**

Las concentraciones de Arsenico en los 3 puntos se encuentran por encima de los ECAS de suelo norma del Perú y de los limites maximos permisibles para suelo y sedimentos de Holanda, para las tablas de calidad de sedimentos de los paises Suecia, USA y Canada.

**Análisis del Mercurio**

Referente al mercurio, los valores de detección no sobrepasan los estándares de calidad de suelo (ECA) en el punto N° 1; sin embargo sobrepasa los ECA de suelo norma peruana en la muestra 2 y 3, indicando que existe presencia en elevadas concentraciones de mercurio en la zona de estudio por efectos antrópicos.

### Análisis de Plomo

Referente al plomo, los valores de detección no sobrepasan los estándares de calidad de suelo (ECA) en el punto de muestreo 2 y tres pero en el punto N° 1 existe plomo por encima de los ECAS de Suelo según norma peruana, Indicando que existe presencia de elevadas concentraciones pero si considerar como un elemento que puede presentarse en la zona de estudio.

#### 4.2. Análisis de riesgo ambiental

Riesgo ambiental Se define como la probabilidad de ocurrencia que un peligro afecte directa o indirectamente al ambiente y a su biodiversidad, en un lugar y tiempo determinado, el cual puede ser de origen natural o antropogénico.

En esta etapa una buena prospección de la situación y un adecuado manejo técnico, permitirá obtener una matriz estructurada.

Tabla 18

*Análisis de la situación presentada*

Causa	Efecto
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los pasivos ambientales de una minera permanentemente están desprotegidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición de la población a contaminación crónica.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de implementación de plan de cierre de un pasivo ambiental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación de áreas adyacentes a la zona de la relavera y sistema hídrico;</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los muros de contención de una relavera colapsan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición de la población a la contaminación</li> </ul>

#### ➤ Descripción de la metodología

La guía de evaluación de riesgos ambientales propone un **modelo estandarizado** para la identificación, análisis y **evaluación** de los **riesgos ambientales** que generan las actividades productivas en un área geográfica, así como la consecuencia de los peligros naturales.

#### ➤ Análisis de riesgos ambientales

Los lineamientos y criterios a definirse son prioritarios, ya que permiten establecer las bases técnicas, denotar los límites de la evaluación, determinar el tipo de información,

así como otorgar con claridad que criterios y/o decisiones el evaluador debe de considerar en situaciones no contempladas, todo ello permitirá alcanzar una óptima evaluación del riesgo ambiental.

Tabla 19

*Causas*

Causas		
Humano	Ecológico	Socioeconómico
<p><b>Ambito organizativo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Errores humanos;</li> <li>▪ Sistemas de Gestión</li> <li>▪ Condiciones ambientales</li> <li>▪ Esporádica capacitación del personal técnico y auxiliar de la empresa, organización o entidad gubernamental.</li> </ul> <p><b>Instalaciones y actividades:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manipulación de materia prima;</li> <li>▪ Generación de residuos sólidos; 0</li> <li>▪ Generación de efluentes;</li> <li>▪ Generación de emisiones atmosféricas;</li> <li>▪ Deficiente nivel de medidas de seguridad;</li> <li>▪ Deficiente gestión de mantenimiento;</li> <li>▪ Deficiente calidad de tratamiento de emisiones atmosféricas.</li> <li>▪ Inadecuada implementación de los planes de cierre de los pasivos mineros.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Escaso conocimiento sobre la ocurrencia de desastres naturales;</li> <li>▪ Falta de actitud frente a la ocurrencia de desastres naturales;</li> <li>▪ Construcción de viviendas cercanas a la zona de estudio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Movimiento continuo de masas de tierra;</li> <li>▪ Alteración del paisaje natural;</li> <li>▪ Manejo inapropiado de los recursos hídricos;</li> <li>▪ Sobreexplotación de Los recursos naturales;</li> <li>▪ Uso excesivo de Sustancias contaminantes;</li> <li>▪ Incremento de precipitaciones (lluvias, nevadas etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajo nivel de ingresos que cubre necesidades básicas;</li> <li>▪ Baja oferta laboral;</li> <li>▪ Deficiente nivel organizacional;</li> <li>▪ Proceso migratorio de zonas rurales a zonas urbanas.</li> <li>▪ Aprovechamiento de los recursos naturales indiscriminadamente;</li> <li>▪ Acumulación continuada de material.</li> </ul>

Tabla 20

Análisis del entorno

Elemento de Riesgo	Suceso Iniciador / Parámetros de Evaluación	Fuente de Información
<b>Exposición Potencial de Aire a:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se identifica y contrasta los contaminantes.</li> <li>Contaminación por material particulado</li> <li>Contaminación por emisiones atmosféricas</li> </ul>	Análisis químicos
<b>Exposición potencial de suelo a:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emisiones generadas o a generarse (generado por los relaves) son parametradas con los ECA para el establecimiento preliminar del riesgo ambiental</li> <li>Se identifica y contrasta los contaminantes emitidos. Según los resultados de los análisis.</li> <li>Deposiciones generadas o a generarse (generado por los relaves) son parametradas con los ECA para el establecimiento preliminar del riesgo ambiental</li> </ul>	Comparacion con ECAS suelo
Contaminación por Residuos		
Contaminación por sustancias químicas		
<b>Error humano</b>	Falta de conocimiento	Fuente: minería informal
<b>Vertimiento accidental</b>	Mala disposición de relaves	Fuente: falta de capacitación
<b>Derrames de sustancias peligrosas</b>	Uso de reactivos químicos	Fuente: desconocimiento de manejo de insumos químicos

Tabla 21

Formulación de escenarios

Tipología de peligro	Escenario de riesgo		Causas	Consecuencias
	Natural	Antrópico		
Ubicación de Zona	Si	MP	Fauna Lagunas Bofedales Colapso de relavera. Transporte de partículas por el viento. Lixiviados	Contaminación de aguas, suelo y aire

Tabla 22

*Formulario para la estimación de la gravedad de las consecuencias*

<b>Gravedad</b>	<b>Limites del entorno</b>	<b>Vulnerabilidad</b>
Entorno natural	= Cantidad + 2 peligrosidad + extensión	+ Calidad del medio
Entorno humano	= Cantidad + 2 peligrosidad + extensión	+ Población afectada
Entorno socioeconómico	= Cantidad + 2 peligrosidad + extensión	+ Patrimonio y capital productivo

Fuente: En base a norma UNE 150008 2008 - Evaluación de riesgos ambientales.

- **Cantidad:**

Es el probable volumen de sustancia emitida al entorno; = Afecta la calidad del medio

- **Peligrosidad:**

Es la propiedad o aptitud intrínseca de la sustancia de causar daño (toxicidad, posibilidad de acumulación, bioacumulación, etc.); debido a la cantidad de presencia de metales pesados afectaría la calidad del medio.

- **Extensión:**

Es el espacio de influencia del impacto en el entorno; la extensión es toda la zona de Antahuila aprox. 30 ha.

- **Calidad del medio:**

Se considera el impacto y su posible reversibilidad; aguas debajo de la zona donde se encuentran las plantas de beneficio existen lagunas y bofedales.

- **Población afectada:**

Número estimado de personas afectadas; la comunidad de Ananea y pobladores que pastean sus alpacas en la zona de estudio.

Tabla 23

*Valoración De Consecuencias (Entorno Humano)*

Cantidad (Según ERA)(Tn)			Peligrosidad (Según caracterización)		
1	Poca	Menor a 5	1	peligrosa	• Daños leves y reversibles
		Radio		<b>Población afectada</b>	
3	Extenso	Radio hasta 1 Km.	3	Alto	Entre 50 y 100
		Radio menos a 0.5			
2	Poco extensor	Km. (zona emplazada)	2	Bajo	Entre 5 y 50
		Area afectada			Bajo < 5 personas
1	Puntual	(zona delimitada)	1	Alto	Alto >

Fuente: UNE 150008 2008 – Evaluación de riesgos ambientales.

➤ **Estimación del riesgo ambiental**

El producto de la probabilidad y la gravedad de las consecuencias anteriormente estimadas, permite la estimación del riesgo ambiental. Éste se determina para los tres entornos considerados, natural, humano y socioeconómico según lo analizado se tiene un riesgo significativo en la zona por ser una extensa con pendiente hacia lagunas, y existir aguas naturales aguas abajo. Así mismo existe pastoreo en la zona de influencia.

## CONCLUSIONES

- Se demuestra que hay la presencia de las concentraciones de los metales pesados en los relaves del área de estudio, debido a que presentan en los tres puntos de muestreo elevadas concentraciones de Arsénico el mayor valor de 573,200mg/kg.
- El Mercurio en la zona de estudio se encuentra por encima de los estándares de calidad para suelo, por que dieron un valor máximo de 557,90 mg/kg de modo que en el corto plazo se podría esperar efectos a nivel de la biología y ecología de organismos asociados al río en la zona aguas debajo de Antahuila.
- El Pb en el punto N<sup>o</sup> 1 de muestreo se encuentra por encima de os ECAs de suelo según norma peruana pero se en el mediano y largo plazo se puede tener alteraciones en la biología, ganadería y salud de los pobladores de la zona.
- El riego ambiental en base a las concentraciones de As, Hg Y Pb en la zona de estudio es alto en comparación con los Estandares de Calidad Ambiental en el Perú y si es que colapsaría las pozas o canchas de relaves de la zona de Antahuila se produciría contaminación ambiental considerable en las zonas circundantes aguas abajo.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar estudios de geotecnia en las canchas de relave para conocer su estabilidad de todas las canchas de relave en la zona de estudio.
- Realizar estudios similares en todas las plantas de beneficio de la zona.
- Recomendar a todas las plantas de beneficio a instalar canchas de relave con impermeabilización de manera obligatoria para evitar lixiviados con metales pesados hacia los acuíferos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, J. (2011). *Informe Preparado por el Instituto de la Amazonía peruana - IIAP y el Ministerio del Ambiente*. Lima- Perú, p. 29
- Astete, J., Cáceres, W. y Gatanaga, M. (2009). *Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros*. Revista Peruana de medicina. Salud pública. Pp 15-19.
- Badilla, H., Víquez, C. y Zamora, E. (2005). *Evaluación de las Fuentes de Agua Potable de la Ciudad de Grecia*. Taller de Diseño Escuela de Ingeniería Civil.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D. y Stribling, J. B. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. (Segunda edición). EPA 841B99002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C
- Bech, J., Tobías, F. y Roca, N. (1995). *Nivells basals de metalls pesants i elements traça a sòls de catalunya. Dossiers Agraris: Sòls contaminats*. Institución catalana d'estudis agraris pp. 19-35.
- Betancourt, O., Narvaez A. y Roulet, M. (2005). *Small- scale gold mining in the Puyango River basin, southern Ecuador: A study of environmental impacts and human exposures*. EcoHealth, (Segunda edición), pp. 323-332.
- Bitar, J. y Camacho, L. (2005). *Implementación de un modelo de transporte de metales pesados en el Río Magdalena tramo Girardot – Honda*.

- Bombardelli, F. A., Menendez, A. N. y Montalvo, J. L. (1994). *Cuantificación del Impacto de los Vertidos en la Ría de Bahía Blanca*. Informe LHA-INCYTH 124-03-94, Vol. I, pp. 11-16.
- Boxall, J. B., Gymer, I. y Marion, A. (2003). *Transverse mixing in sinuous natural open channel flows*. *Journal of Hydraulic Research* Vol. 41, N° (2) pp. 153–165.
- Bradshaw, A. D. y Mcneilly (1985). *Evolución y Contaminación*. Ed. Omega, 82 p.
- Brantley, S. L., Goldhaber, M. B. y Ragnarsdottir, V. (2007). *Cruce de disciplinas y escalas para comprender la Zona Crítica*. Elementos 3, 307-314. . DOI: 10.2113 / gselements.3.5.307
- Brooks, R. R., Morrison, R. S., Reeves, R. D. y Malaisse, F. (1978). *Copper and cobalt in african species of aeolanthus mart. (plectranthinae, labiatae)*. *Plant and Soil*. pp. 503-507.
- Cardini, J., Zabalett, A., Oliver, N. y Mársico, D. (2004). *Efecto de los coeficientes de dispersión sobre la modelación bidimensional del transporte de contaminantes*. Caso de estudio. Bariloche, Argentina. *Mecánica Computacional* Vol. XXIII, pp. 1201-1214.
- Castro, J. y Monroy, M. (2002). *Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente*. San Luís de Potosí, México. UNESCO – INGEMMET – Perú.
- Cullen, W. y Reimer, K. J. (1989). *Arsenic Speciation in the Environment*. *Chemical Revit*. N° 89, pp. 713-764.
- Chapra, S. C. (1997). *Surface water quality modeling*. Ed Mc Graw Hill, University of Colorado at Boulder, United States.
- Chessman, B. C. (1995). *Rapid assessment of river using macroinvertebrates: a procedure based on habitatspecific sampling, family level identification and biotic index*. *Australian Journal of Ecology* 20: 122129
- Chaney, R. L., Chaney, LI., Brown, S. L., Homer, F. A., Malik, M., Angle, J. S., Baker, A. J. M. y Chin, M. (2000). *Improving metal hyperaccumulator wild plants to develop commercial phytoextraction systems: approaches and progress*. En:

- Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Elder, J. M. (1959). *The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow*, *Journal of Fluid Mechanics*. Vol. 5, 541-560.
- Espinosa, G. (2001). *Fundamentos de la Evaluación de Impacto Ambiental Banco Interamericano de Desarrollo - BID, centro de estudios para el Desarrollo – CED*. Santiago de Chile.
- Estay, L. A. (1990). *Estudio de los niveles de contaminación por metales pesados y otros parámetros de calidad en las aguas y sedimentos del río Henares*. Tesis Doctoral, Departamento: Ordenación del Territorio Urbanismo y Medio Ambiente programa de doctorado: Ingeniería Civil y Medio Ambiente. 57- Universidad: Politécnica de Madrid.
- Francisco, J., Ramos, P. y Aguirre, G. (2011). *Aprovechamiento agrícola del lodo generado en la PTAR de Puente Piedra - Lima*. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 77(1), 66–74. Retrieved from [/scielo.php?script=sci%7B\\_%7Darttext%7B%7Dpid=S1810-634X2011000100008%7B%7Dlang=pt](http://scielo.php?script=sci%7B_%7Darttext%7B%7Dpid=S1810-634X2011000100008%7B%7Dlang=pt)
- Ferrer, A. (2003). *Metal poisoning*. San Navarra; 141-153. Análisis. 26 p.
- Fisher, H. B. (1969). *The Effects of Bends on Dispersion in Streams*, *Water Resources Research* 5(2), pp. 496–506.
- Flores, H. (2008). *Inspección del Río Ramis, Puno: Núcleo de afirmación del saber andino*. Autoridad Nacional del Agua. 35 p.
- Forstner, U. (1993). *Metals speciation general concept and application*. *En proceeding of the workshop on the sequential extraction of trace metals in soils and sediments*. Ins. J. Environ. Anal. Chem. Ed. 51, pp. 5-23.
- Forstner, U. y Wittmann, G. T. W. (1979). *Metal pollution in the Aquatic Environment*. Springer-Verlag, Berlín, 486 p.

- Galán, E. y Romero, A. (2008). *Contaminación de Suelos por Metales Pesados*. Macla. <https://doi.org/10.1520/C0033-03>.
- Gerbrandt, B. (2004). *Contaminación del Lago Titicaca y afluentes por mercurio y otros elementos pesados*. Metalurgia, Materiales y Soldadura, N° 1, pp. 34-39.
- Ghetti, P. F. (1986). *I macroinvertebrati nell' analisi di qualittia dei corsi d' aqua*. Provincia Autonoma de Trento. In: Toman, M.J. & F. Steinman, (Eds.). Biological assessment of stream water quality (theory, application and comparison methods). University of Ljubjana. Ljubjana. 145 pp.
- González, V. J. y León, V. L. (1992). *Estudio de Trazado y Calibración de Modelo Numérico en un Tramo del Río Lerma*. México. 200 p.
- González, J. A. y Martínez, A. P. (1990). *Método general para calcular coeficiente de dispersión longitudinal en ríos*. Revista Ingeniería Hidráulica en México, Vol. V, (2), II Época, pp. 26-31.
- González-Flores, E., Tornero-Campante, M. A., Sandoval-Castro, E., Pérez-Magaña, A. y Gordillo-Martínez, A. J. (2011). *Biodisponibilidad y fraccionamiento de metales pesados en suelos agrícolas enmendados con biosólidos de origen municipal*. Revista Internacional de Contaminacion Ambiental.
- Guerrero, B., Carlos, B. y Zavala, C. (2006). *Influencia de la actividad minera en la cuenca del río Ramis – Puno*. Obtenido el 17 de Noviembre del 2008 en el sitio web <http://www.ingemmet.gob.pe/publicaciones/Cap2-Trab4.pdf>
- García, I. y Dorronsoro, C. (2005). *Contaminación por metales pesados*. En: Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. 125 p.
- GEO Titicaca (2011). *Apoyo a la gestión integrada y participativa del agua en el sistema hídrico Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa (TDPS)*. Copyright © 2011, PNUMA. Avenida Morse, edificio 103. Clayton, Ciudad del Saber, corregimiento de Ancón. Ciudad de Panamá, Panamá. Editora Novo Art, S.A. en Panamá.

- Gutiérrez, A. (1997). *Concentraciones de metales pesados en la vegetación autóctona desarrollada sobre suelos del entorno de una mina abandonada Bubierca-Zaragoza*. Boletín Geológico y Minero.; 108 p. edc. 1, pp69-74.
- Guevara, R., Gonzales, J. y Sanoja, E. (2005). *Vegetación pionera sobre rocas, un potencial biológico para la revegetación de áreas degradadas por la minería de hierro*. Interciencia, 30 p.
- Harleman, D. H. F. (1971). *Estuarine Modelling: An Assessment, TRACON, Inc., for the Water Quality Office – EPA*.
- Hawkes, H. A. (1979). *Invertebrates as indicators of river water quality*. In: James A. y L. Evison (Eds.). *Biological indicators of water quality*. John Wiley & Sons. Great Britain, 145 p.
- Hellawell, J. M. (1986). *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier Applied Science, London. 122 p.
- ITCR (2000). *Evaluación ambiental para un manejo sostenible de la Cuenca del Río San Carlos y Río Tres Amigos*. Obtenido el 17 de Noviembre del 2008 en el sitio web [http://www.eco-index.org/search/pdfs/APROSAMA\\_4.pdf](http://www.eco-index.org/search/pdfs/APROSAMA_4.pdf)
- Kuiper, D. (1984). *Genetic differentiation and phenotypic plasticity in populations of Plantago lanceolata I response to nutrient level*. In: Genetic differentiation and Dispersal in Plants. Ed. P. Jacquard, G.Heim y J. Antonovics. Ecological Science 5. pp: 251-269.
- León, L. F. y Martínez, A. P. (1990). *Stability Criterion for Explicit Schemes (Finite-Difference Method), on the Solution of the Advection-Diffusion Equation, Proc. of the VIII International Conf. on Computational Methods on Water Resources, Venice, Italy, pp. 381-386*.
- Lopez, M. V. (1981). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales en Prospectiva de la Biotecnología*. México: Ed. CONACYT.
- López, M. y Grau J. M. (2005). *Metales pesados, Materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y de los pastos de la España*

- peninsular*. II Resultados por Provincias. Ministerio de Educación y Ciencia e Instituto Nacional de Tecnología Agraria y Alimentaria.
- López, H. M. (1997). *Caracterización limnológica del Río Duero, Michoacán*. Tesis Doctoral en ciencias Biológicas UNAM Facultad de ciencias. 105 p.
- López, M., Ramos, M. y Hernández, M. (2002). *Biomonitoreo rápido para evaluar contaminación orgánica en el río Lerma*. UFBA, Argentina, 215 p.
- Llugany, M., Tolrá, R.; Poschenrieder, C. y Barceló, J. (2007). *Hiperacumulación de metales: ¿Una ventaja para la planta y para el hombre? Ecosistemas*. edic.2, 16 p: pp.4-9.
- Macnair, M. (1987). *Heavy metals tolerance in plants: A model evolutionary system*. Tree. 2(12).
- Mcnaughton, S. J., Folsom, T. C., Lee, T., Park, F., Price, C., Roeder, D., Schmitz, J. y Stockwell, C. (1974). *Heavy metal tolerance in Typha latifolia without the evolution of tolerant races*. Ecology, edic: 55, pp. 1163-1165.
- Monroy, M., Díaz, F., Razo, I. y Carrizales, L., (2009). *Evaluación de la contaminación por arsénico y metales pesados (Pb, Cu, Zn) y análisis de riesgo en salud en Villa de la Paz, Matehuala, S.L.P*, Cuad. med. Forense 2004, 35 (fecha de acceso 15 de junio del 2009).
- Martínez, A. (1988). *Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría*. Primera Edición. Editorial Trillas. México DF, México. 756 p.
- Müller, G. (1979). *Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins-Veränderungen SEIT*. Umschau, 79, p. 778-783
- Mustow, S. E. (2002). *Biological monitoring of rivers in Thailand; use and adaptation of the BMWP score*. Hydrobiology 479: 229229.
- Minson, D. J. (1990). *Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press: San Diego, USA.
- Navarro, A., Carmona, J. M. y Font, X. (1996). *Contaminación de suelos y aguas subterráneas por vertidos industriales*. Acta Geológica Hispánica.

- Naderizadeh, Z., Khademi, H. y Ayoubi, S. (2016). *Biomonitoring of atmospheric heavy metals pollution using dust deposited on date palm leaves in southwestern Iran*. *Atmosfera*, 29(2), 141–155. <https://doi.org/10.20937/ATM.2016.29.02.04>
- Navarro, A., Carmona, J. M. y Font, X. (1996). Contaminacion de suelos y aguas subterranas por vertidos industriales. *Acta Geológica Hispánica*.
- Oldecop, L. y Rodríguez, R. (2007). *Licuefacción de los relaves mineros Riesgo ambiental*. In Universidad Nacional de San Juan. Instituto Geologico Y Minero De Espana. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1795.2409>
- Olivero-Verbel, J., Young-Castro, F. y Caballero-Gallardo, K. (2014). *Contaminación por mercurio en aire del distrito minero de San Martín de Loba en el departamento de Bolívar*. Colombia. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*.
- Payne, A. I. (1986). *The ecology of tropical lakes and rivers*. John Wiley & Sons, Chichester, Great Britain. 245 p.
- Prasad, M. N. V. y Hagemeyer, J. (1999). *Eds. Heavy metals Stress in plants*, Springer, Berlin, 401 p.
- Proctor, J. (1992). *Chemical and ecological studies on the vegetation of ultramafic sites*, Britain, pp. 135-167. In, Roberts, B.A. and J. Proctor (eds). *The ecology of areas with serpentized rocks. A world view*. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Ramírez, A. V. (2006). *Biomarcadores en monitoreo de exposición a metales pesados en metalurgia*. *Anales de La Facultad de Medicina de Lima - Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 67(1), 49–58.
- Rascio, N. (1977). *Metal accumulation by some plants growing on zinc-mine deposits*. *Oikos* 29, pp. 250-253.
- Reid, R. (2001). *Mechanisms of micronutrient uptake in plants*. *Australian Plant Physiology*. pp. 659-666.

- Reeves, R. D. y Baker, A. J. M. (1984). *Studies on metal uptake by plants 190 from serpentine and non-serpentine populations of Thlaspi goesingense Hálácsy (Cruciferae)*. New Phytologist, pp. 191-204.
- Reeves, R. D. (2006). *Hyperaccumulation of trace elements by plants*. In: *Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils*. Ed. Springer. 2 (68), pp. 25-52.
- Rivera, H. (2001). *Introducción a la geoquímica general y aplicada*. UNI Lima- Perú, 279 p.
- Roca, N. (2004). *Salinidad, alcalinidad y metales pesados en suelos semiáridos de Fray Mamerto Esquiú (Catamarca, Argentina): Aplicabilidad de la taxonomía de suelos*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.
- Romero, K. P. (2009). *Contaminación Por Metales Pesados*. Revista Científica Ciencia Médica SCEM.
- Rutherford, J. C. (1994). *River mixing, NIWA Ecosystems Natural Institute of Water and Atmosphere Research Hamilton*. New Zealand, 85 p.
- SEDUE (1989). Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. *Criterios Ecológicos de Calidad de Agua*. CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación, Tomo CDXXX. No. 9. México, D.F.
- SER. (2007). *Conflicto en el Altiplano Actividad minera informal en Ananea y contaminación de la cuenca del río Ramis*. Documento informativo, Oficina Regional Puno Asociación SER, Puno, Perú. 13 p.
- Taylor, G. J. y Crowder, A. A. (1984). *Copper and nickel tolerance in Typha latifolia clones from contaminated and uncontaminated environments*. Canadian Journal of Botany, 62, 1304-1308.
- Taylor, G. L. (1954). *The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe*, Proc. Soc. London Ser., A-223, pp. 446-468.
- Tchernitchin, A. N. y Herrera, L. (2006). *Relaves Mineros y sus Efectos en Salud, Medio Ambiente y Desarrollo Económico*. Ejemplo de Relave en el Valle de Chacabuco-Polpaico. Cuad Méd Soc (Chile).

- Tello, L., Jave, J. y Guerrero, J. (2018). *Analysis of lead quantification in recreational park soils of the city of Lima-Peru*. *Ecología Aplicada*, 17(1).  
<https://doi.org/10.21704/rea.v17i1.1168>
- Thorne, R. S. y Williams, W. P. (1997). *The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment*. *Freshwater Biology* 37: 671-686.
- Turekian, K. K. y Wedepohl, K. H. (1961). *Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust*. *Geological Society of America, Bulletin* 72: 175-192.
- Valdez, F. y Cabrera, V. M. (1999). *Contaminación por metales pesados en Torreon, Coahuila*. México (Primera edición). Texas Center for Policy Studies CILADHAC, Torreon. 75 p.
- WHO. (1993). *Guidelines for drinking-water quality*. Volume 1: Recommendations, (Segunda edición) World Health Organisation, Geneva.
- Wilhm, L. F. (1975). *Biological indicators of pollution*. En: Whiton, B.A. (ed). *River Ecology*. Univ. of Calif. Press. Berkeley, California. 375-402 pp.
- Zavala, B. y Guerrero, C. (2005). *Estudio geoambiental de la cuenca del río Ramis*, informe en edición. Normas Riverside.



**ANEXOS**

**Anexo 1.** Evidencias fotográficas



*Figura 6.* Conservación de muestras



*Figura 7.* Existencia de lagunas aguas abajo



*Figura 8.* Punto N° 1 de muestreo



*Figura 9.* Punto N° 2 de muestreo



*Figura 10.* Punto N° 3 de muestreo



*Figura 11.* Aspectos típicos en las plantas de beneficio

Anexo 2. Certificados de laboratorio



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**




Uc. San José de Cuzco, Cuzco, Perú. Teléfono: 054 382038 ANEXO 1106  
 E-mail: laboratorio@ucsm.edu.pe y laboratorio@ucsm.edu.pe  
 1992-1994 - PERU

**INFORME DE ENSAYO**  
**Nº DE INFORME: ANA28F17.002811**

---

**Nombre del Cliente** : Dante Salas Avila  
**Dirección del Cliente** : Av Goyoneche 2311 Cooperativa 14 Miraflores  
**RUC** : No corresponde  
**Condición del Muestreado** : Por el cliente  
**Descripción** : Relave Poza GCZA-ASIS 23-06-17  
**Tamaño de muestra** : 600 g  
**Fecha de Recepción** : 10/10/2018  
**Fecha de Inicio del Ensayo** : 10/10/2018  
**Fecha de Emisión de Informe** : 10/10/2018  
**Página** : 1 de 2

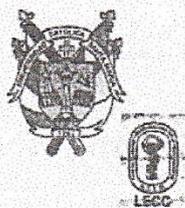
---

**I. ANALISIS FISICO - QUIMICO:**

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES (mg/Kg)	
Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7	
ANALISIS	RESULTADO
Plata (Ag)	No detectable
Aluminio (Al)	26322,900
Arsénico (As)	573,200
Boro (B)	27,000
Bario (Ba)	60,900
Berilio (Be)	0,800
Calcio (Ca)	324,700
Cadmio (Cd)	No detectable
Cobalto (Co)	6,000
Cromo (Cr)	27,000
Cobre (Cu)	15,800
Hierro (Fe)	36527,500
Potasio (K)	3701,200
Litio (Li)	36,000
Magnesio (Mg)	15,200
Manganeso (Mn)	248,500
Molibdeno (Mo)	No detectable
Sodio (Na)	417,200
Niquel (Ni)	12,300
Fosforo (P)	258,900
Plomo (Pb)	45,200
Antimonio (Sb)	7,300
Selenio (Se)	No detectable
Silicio (Si)	29138,300



65



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-254/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
 ✉ laboratorioensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apúto. 1350  
 AREQUIPA - PERU



**INFORME DE ENSAYO**  
**Nº DE INFORME: ANA28F17.002811**

**Nombre del Cliente** : Dante Salas Avila  
**Dirección del Cliente** : Av Goyoneche 2311 Cooperativa 14 Miraflores  
**RUC** : No corresponde  
**Condición del Muestreado** : Por el cliente  
**Descripción** : Relave Poza GCZA-ASIS 23-06-17  
**Tamaño de muestra** : 600 g  
**Fecha de Recepción** : 10/10/2018  
**Fecha de Inicio del Ensayo** : 10/10/2018  
**Fecha de Emisión de Informe** : 10/10/2018  
**Página** : 2 de 2

Estaño (Sn)	1,100
Estroncio (Sr)	7,700
Titanio (Ti)	1012,900
Talio (Tl)	No detectable
Vanadio (V)	39,000
Zinc (Zn)	67,200
Mercurio (Hg)	0,086
DETERMINACION DE CIANURO TOTAL (mg/Kg) Metodo EPA METHOD #: 335.2 Metodo Volumétrico	No detectable

**OBSERVACIONES:**

- Este documento al ser emitido sin el simbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL –DA.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril Ramirez  
 COFDA 00024  
 ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-18-06578

Fecha de emisión: 13/10/2018

Página 1 de 1

Señores: HERNAN ROMULO APAZA PORTO  
 Dirección: JR. SUCRE N° 740 JULIACA- PUNO  
 Atención: HERNAN ROMULO APAZA PORTO  
 Recepción: 10/10/2018  
 Realización: 10/10/2018  
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

### Métodos ensayados

\*552 Método de Ensayo a fuego para Oro por reconocimiento Gravimetría  
 \*628 Método de Ensayo para Mercurio por ICP-OES

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*552 Au		*628 Hg
				g/TM	oz/TC	ppm
MN18012294	N°1	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	14,19	0,4139	143,65
MN18012295	N°2	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	14,02	0,4089	226,57
MN18012296	N°3	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	12,15	0,3544	202,01

*[Handwritten Signature]*  
 Laboratorio Analítico del Sur  
 Sra. Vicenta Juárez Nolasca  
 Arequipa - Perú  
 Ing. César G. G. G.

"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 5811

Anexo 3. Normas legales

**14** **NORMAS LEGALES** Sábado 2 de diciembre de 2017 / **El Peruano**

ANEXO  
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO

Parámetros en mg/kg PS <sup>(2)</sup>	Usos del Suelo <sup>(1)</sup>			Métodos de ensayo <sup>(7) y (8)</sup>
	Suelo Agrícola <sup>(3)</sup>	Suelo Residencial/Parques <sup>(4)</sup>	Suelo Comercial <sup>(5)</sup> /Industrial/Extractivo <sup>(6)</sup>	
<b>ORGÁNICOS</b>				
<b>Hidrocarburos aromáticos volátiles</b>				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 <sup>(9)</sup> EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos <sup>(10)</sup>	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
<b>Hidrocarburos poliaromáticos</b>				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
<b>Hidrocarburos de Petróleo</b>				
Fración de hidrocarburos F1 <sup>(11)</sup> (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F2 <sup>(12)</sup> (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F3 <sup>(13)</sup> (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
<b>Compuestos Organoclorados</b>				
Bifenilos policlorados - PCB <sup>(14)</sup>	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
<b>INORGÁNICOS</b>				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total <sup>(15)</sup>	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 <sup>(16)</sup>
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/o ISO 17690:2015

**Notas:**

- [\*\*] Este símbolo dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el uso de suelo agrícola.
- (1) Suelo: Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.
- (2) PS: Peso seco.
- (3) Suelo agrícola: Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

- (4) Suelo residencial/parques: Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.
- (5) Suelo comercial: Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.
- (6) Suelo industrial/extractivo: Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.
- (7) Métodos de ensayo estandarizados vigentes o métodos validados y que cuenten con la acreditación nacional e internacional correspondiente, en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la *International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC)*. Los métodos de ensayo deben contar con límites de cuantificación que estén por debajo del ECA

**Cuadro 7.2**  
**Límites de calidad de aguas para consumo y estándares de la Ley General de Aguas del Perú (D.L. 17752) y parámetros internacionales**

Parámetros	Clase I µg/l	Clase III µg/l	Clase VI µg/l	U.S.EPA (2002) µg/l	OMS (2004) µg/l	FAO Irrigación µg/l
pH	5-9	5-9	5-9			
Arsénico	100	200	50	10	10	1 000
Cadmio	10	50	4	5	3	10
Cromo	50	1 000	50	100	50	100
Cobre	1 000	500	*	1 300	2 000	200
Hierro	—	—	—	—	—	—
Plomo	50	100	30	15	10	—
Manganeso	—	—	—	—	—	200
Mercurio	2	10	0,2	2(inorg)	1	na
Zinc	5 000	25 000	**	5 000	5 000	—
Niquel	2	1+	**	20	20	—

\* Prueba de 96 horas LC50 multiplicadas por 0,1.

\*\* Pruebas de 96 horas multiplicadas por 0,02.

N.A. Valor no aplicable.

1+ Valores que deben ser determinados.

Las concentraciones metal en sedimentos pueden clasificarse en base al análisis individual. Las muestras de sedimentos deben ser tomadas del suelo en zonas acumuladas.

**Valores referenciales**

Los valores de referencia son estimados de las concentraciones de metal original y natural en diferentes tipos de agua de Suecia.

**Metales en sedimentos**

La clasificación de concentrados de metal en sedimentos se basa en la distribución de concentración de sedimentos en la superficie de los lagos de Suecia (mg/kg de sustancia seca en superficie).

**Cuadro 7.4**  
**Límite máximo permisible en sedimentos según la tabla holandesa**

Elemento	LMP ppm
Cu	500
Pb	600
Zn	3 000
Cd	20
As	50
Hg	10
Mn*	3 000

\* Límite referencial.

**Cuadro 7.3**  
**Límite máximo permisible en sedimentos según la tabla de Suecia**

Clase	Cobre ppm	Plomo ppm	Zinc ppm	Cadmio ppm	Arsénico ppm	Mercurio ppm	Cromo ppm	Niquel ppm
Muy bajo	< 15	< 50	< 150	< 0,8	< 5	< 0,15	< 15	< 5
Bajo	15 – 25	50 – 150	150 – 300	0,8 – 2,0	5 – 10	0,15 – 0,3	15 – 25	5 – 15
Mod. alto	25 – 100	150 – 400	300 – 1 000	2 – 7	10 – 30	0,3 – 1	25 – 100	15 – 50
Alto	100 – 500	400 – 2 000	1 000 – 5 000	7 – 35	30 – 150	1 – 5	100 – 500	50 – 250
Muy alto	> 500	> 2 000	> 5 000	> 35	> 150	> 5	> 500	> 250

**Tabla 1.** Análisis estadístico de las concentraciones de metales pesados en las muestras de agua del río San Pedro y comparación con los valores de referencia.  
**Table 1.** Statistical analysis of the heavy metal concentrations in the water samples of the San Pedro river and a comparison with the reference values.

Metal	Campaña de muestreo	Q1 (mg L <sup>-1</sup> )	Mediana (mg L <sup>-1</sup> )	Q3 (mg L <sup>-1</sup> )	Máximo (mg L <sup>-1</sup> )	Valor de referencia <sup>1</sup> (mg L <sup>-1</sup> )
Al	S*	0.138	0.770	2.088	<b>7.400</b>	5.0 <sup>ce</sup>
	L	ND	ND	0.103	4.780	
As	S*	0.010	0.010	0.013	0.030	0.2
	L	ND	ND	0.002	0.020	
Cr	S*	ND	0.010	0.010	0.460	1.0
	L	ND	ND	0.010	0.010	
Cu	S*	ND	0.013	0.040	0.110	4.0
	L	ND	ND	0.006	0.100	
Fe	S*	0.260	0.765	2.240	<b>8.860</b>	5.0 <sup>ce</sup>
	L	ND	ND	0.288	3.790	
Hg	S*	ND	0.001	0.001	0.004	0.01
	L	ND	ND	0.002	0.003	
Mn	S*	0.030	0.050	0.133	1.010	—
	L	ND	ND	0.042	0.440	
Zn	S*	0.478	0.100	0.152	0.560	10.0
	L	ND	0.002	0.045	0.460	

<sup>1</sup>LMP señalado en la NOM-001-ECOL-1996 (Anónimo 1996). <sup>ce</sup> LMP de los criterio ecológicos para uso agrícola (Anónimo 1989). ND: No Detectable. S: Sequía. L: Lluvia. \* Diferencia significativa entre campañas de muestreo (Mann-Whitney; P = 0.05). En negritas las concentraciones que sobrepasan los valores de referencia.

punto de la zona centro (sitio 21), inferior al criterio (71 000 mg kg<sup>-1</sup>) señalado por Lindsay (1979) para considerar a los sedimentos contaminados por este metal. Más del 50 % de los sedimentos (Tabla 2) presentaron concentraciones de As entre 0.5 a 10 veces superiores al criterio establecido por la USEPA (Anónimo 1977) como "muy contaminado" (> 8.0 mg kg<sup>-1</sup>); estos sitios se encontraron dispersos en todo el cauce. En el resto de los sedimentos se observaron concentraciones en el nivel de "moderadamente contaminado" (2.0 a 8.0 mg kg<sup>-1</sup>). Con respecto al Cu y Zn, el 25 % de los sitios se encontraron "moderadamente contaminados" (25 a 50 mg kg<sup>-1</sup> para Cu y 90 a 200 mg kg<sup>-1</sup> para Zn) y "muy contaminados" (más de 50 mg kg<sup>-1</sup> para Cu y más de 200 mg kg<sup>-1</sup> para Zn). También estos sitios se encontraron dispersos por todo el cauce. El 13 % de los sedimentos estuvieron "moderadamente contaminados" por Cr (de 25 a 75 mg kg<sup>-1</sup>) y Fe (de 17 000 a 25 000 mg kg<sup>-1</sup>); en ambos casos los sitios se ubicaron en la zona centro del estado. El 10 % de los sitios se observaron "muy contaminados" con Hg (> 1 mg kg<sup>-1</sup>), Mn (> 500 mg kg<sup>-1</sup>) y Pb (> 60 mg

kg<sup>-1</sup>). Los sitios muy contaminados por Hg y Mn se presentaron en la zona norte, mientras que los muy contaminados por Pb se observaron en la zona centro. En la Figura 6 se muestra la distribución de la contaminación de sedimentos por estos metales en la entidad. Considerando las concentraciones de referencia totales (CR<sub>T</sub>), señaladas para remediación de suelo para uso agrícola/residencial en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (Anónimo 2004), únicamente el 25 % de los sitios sobrepasaron la concentración de referencia de As (22 mg kg<sup>-1</sup>). En todos los sitios, los metales Cd, Cr, Hg y Pb estuvieron por debajo de las CR<sub>T</sub> (37, 280, 23 y 400 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente). En las muestras de sedimentos, únicamente las concentraciones de SAAM mostraron diferencias significativas entre las campañas de muestreo evaluadas (Mann-Whitney; p < 0.05). El análisis de correlación entre las concentraciones de los contaminantes en agua y sedimentos mostró coeficientes de correlación (r<sup>2</sup>) por debajo de 0.35 en todos los casos (Tabla 3). Lo cual indica que la correlación de contaminantes encontrados en agua y sedimentos no es significativa.



Users are advised to consult the Canadian Environmental Quality Guidelines introductory text, factsheet, and/or protocols for specific information and implementation guidance pertaining to each environmental quality guideline.

		Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life					
		Freshwater			Marine		
Chemical name	Chemical groups	Concentration (µg/kg dry weight)	Concentration (µg/kg dry weight)	Date	Concentration (µg/kg dry weight)	Concentration (µg/kg dry weight)	Date
		ISQG	PEL		ISQG	PEL	
2-Methylnaphthalene PAHs	Organic Polyaromatic compounds Polycyclic aromatic hydrocarbons	20.2	201	1998	20.2	201	1998
Acenaphthene PAHs	Organic Polyaromatic compounds Polycyclic aromatic hydrocarbons	6.71	88.9	1998	6.71	88.9	1998
Acenaphthylene PAHs	Organic Polyaromatic compounds Polycyclic aromatic hydrocarbons	5.87	128	1998	5.87	128	1998
Anthracene PAHs	Organic Polyaromatic compounds Polycyclic aromatic hydrocarbons	46.9	245	1998	46.9	245	1998
Aroclor 1254 PCBs	Organic Polyaromatic compounds Polychlorinated biphenyls	60	340	2001	63.3	709	2001
Arsenic	Inorganic Metals	5900	17 000	1998	7240	41 600	1998
<b>CASRN none</b>							
Benz(a)anthracene PAHs	Organic Polyaromatic compounds Polycyclic aromatic hydrocarbons	31.7	385	1998	74.8	693	1998

Benzo(a)pyrene PAHs	Organic Polycyclic aromatic hydrocarbons	31.9	782	1998	88.8	763	1998
Cadmium <b>CASRN 7440439</b>	Inorganic Metals	600	3500	1997	700	4200	1997
Chlordane	Organic Pesticides Organochlorine compounds	4.5	8.87	1998	2.26	4.79	1998
Chromium (total) <b>CASRN 7440-47-3</b>	Inorganic Metals	37 300	90 000	1998	52 300	160 000	1998
Chrysene PAHs	Organic Polycyclic aromatic hydrocarbons	57.1	862	1998	108	846	1998
Copper	Inorganic Metals	35 700	197 000	1998	18 700	108 000	1998
Dibenz(a,h)anthracene PAHs	Organic Polycyclic aromatic hydrocarbons	6.22	135	1998	6.22	135	1998
Dichloro diphenyl dichloroethane, 2,2- Bis (p-chlorophenyl)-1,1-dichloroethane DDD	Organic Pesticides Organochlorine compounds	3.54	8.51	1998	1.22	7.81	1998
Dichloro diphenyl ethylene, 1,1- Dichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl)-ethene DDE	Organic Pesticides Organochlorine compounds	1.42	6.75	1998	2.07	374	1998
Dichloro diphenyl trichloroethane, 2,2- Bis(p-chlorophenyl)-1,1- trichloroethane DDT	Organic Pesticides Organochlorine compounds	1.19	4.77	1998	1.19	4.77	1998
Dieldrin	Organic Pesticides Organochlorine compounds	2.85	6.67	1998	0.71	4.3	1998

Endrin	Organic Pesticides Organochlorine compounds	2.67	62.4	1998	2.67	62.4	1998
Fluoranthene PAHs	Organic Polycyclic aromatic hydrocarbons	111	2355	1998	113	1494	1998
Fluorene PAHs	Organic Polycyclic aromatic hydrocarbons	21.2	144	1998	21.2	144	1998
Heptachlor Heptachlor epoxide	Organic Pesticides Organochlorine compounds	0.6	2.74	1998	0.6	2.74	1998
Hexachlorocyclohexane Lindane	Organic Pesticides Organochlorine compounds	0.94	1.38	1998	0.32	0.99	1998
Lead	Inorganic Metals	35 000	91 300	1998	30 200	112 000	1998
Mercury CASRN 7439976	Inorganic Metals	170	486	1997	130	700	1997
Naphthalene PAHs	Organic Polycyclic aromatic hydrocarbons	34.6	391	1998	34.6	391	1998
Nonylphenol and its ethoxylates CASRN 84852153	Organic Nonylphenol and its ethoxylates	1400	No data	2002	1000	No data	2002
Phenanthrene PAHs	Organic Polycyclic aromatic hydrocarbons	41.9	515	1998	86.7	544	1998
Polychlorinated biphenyls PCBs	Organic Polycyclic aromatic hydrocarbons	34.1	277	2001	21.5	189	2001

