

**Ministerio de Obras Públicas
Dirección General de Aguas**

**Fase I
Evaluación preliminar de contingencia en
tranque de relaves Las Palmas, Sector
Pencahue, Región del Maule**



Informe Final

DICTUC

**Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas
Escuela de Ingeniería de la
Pontificia Universidad Católica de Chile**

División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

Abril del 2010

**Ministro Obras Públicas
Hernán de Solminihac**

**Director de la Dirección General de Aguas
Matías Desmadril**

**Jefa Depto. de Conservación y Protección de Recursos Hídricos
Mesenia Atenas Vivanco**

DICTUC:

Especialistas

**Ingeniero Civil Sr. Gonzalo Pizarro P., PhD
Ingeniero Civil Sr. Pablo Pastén G., PhD
Ingeniero Agrónomo Sr. Carlos Bonilla M., PhD**

Ingeniero de Proyecto

Ingeniero Civil Sr. Felipe Tarud G., Mag. Cs. Ing.

Químico

Srta. Sara Acevedo G.

1. Tipo Informe Informe técnico folio N° - 887033		2. Cuerpo del Informe 59 hojas+Anexos
3. Título del Proyecto Evaluación preliminar de contingencia en tranque de relaves Las Palmas, Sector Penciahue, Región del Maule		4. Fecha Informe Abril 2010
5. Autor (es) Especialistas Ingeniero de Proyecto Químico	<i>Gonzalo Pizarro Puccio, Ing. PhD. Pablo Pastén González, Ing. PhD. Carlos Bonilla Meléndez, Ing. Agr. PhD. Felipe Tarud Garrido, Ing. MSc. Sara Acevedo Godoy, Químico.</i>	6. Contrato
6. Nombre y Dirección de la Organización Investigadora DICTUC; Pontificia Universidad Católica de Chile Vicuña Mackenna N° 4860, Casilla 306 – Correo 22, Macul – Santiago		7. Período de Investigación Marzo - Abril 2010
8. Antecedentes de la Institución Mandante Nombre : Dirección General de Aguas DGA Dirección: Morandé 59 - Santiago RUT: 61.202.000-0 Teléfono: (56 2) 4494000 Fax: (56 2) 4410914		9. Contraparte Técnica Mónica Musalem Jara Mesenia Atenas Vivanco
10. Resumen Informe Final. El objetivo de este trabajo fue describir y caracterizar preliminarmente y de manera rápida la magnitud del área impactada, las secciones de la red de drenaje directamente comprometidas, la calidad físico-química del material derramado, y el potencial de movilización del relave e incorporación a la red de drenaje.		

Sr. Gonzalo Pizarro P.
Jefe de Proyecto

DICTUC

INDICE

1. RESUMEN EJECUTIVO	4
2. PRESENTACIÓN	6
3. DESARROLLO DEL ESTUDIO	7
3.1 DESCRIPCIÓN DE ANTECEDENTES DISPONIBLES	7
3.2 CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS IMPACTADAS POR EL RELAVE.....	10
3.2.1 <i>Caracterización del área de derrame de relave</i>	10
3.2.2 <i>Caracterización hidrológica de la zona afectada</i>	16
3.2.3 <i>Identificación georeferenciada de lugares de muestreo</i>	18
3.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA: SCREENING.....	24
3.4 ANÁLISIS INTEGRADO Y CARACTERIZACIÓN EN LABORATORIO ACREDITADO	31
3.5 EVALUACIÓN PRELIMINAR DE EROSIÓN DEL RELAVE Y TRANSPORTE DEL CONTAMINANTE A LA RED DE DRENAJE	36
3.6 POTENCIAL DE LIBERACIÓN DE CONTAMINANTES DEL RELAVE EN MATRIZ ACUOSA.....	44
3.7 RIESGOS POTENCIALES DE LOS CONTAMINANTES LIBERADOS	49
3.8 REFERENCIAS	55
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
ANEXOS.....	60

1. RESUMEN EJECUTIVO

Luego del terremoto ocurrido en Chile el 27 de febrero de 2010, se registró el colapso parcial del relave de la mina Las Palmas (UTM WGS-84: 6102668.16 N, 248923.94 E), ubicado al norte poniente de la ciudad de Talca. Este derrame obstruyó la red de drenaje local y alteró la morfología del sector. De acuerdo a la información disponible, este relave corresponde a la minería del oro, caracterizada por usar sustancias tóxicas (ej., cianuro) y generar residuos con alto potencial de producir impactos ambientales negativos. Los antecedentes de la geología de la zona de la Mina Las Palmas permiten esperar que el relave derramado existan concentraciones potencialmente importantes de Zn, Pb, Cu, y Fe, además del residuo cianurado generado por el procesamiento del mineral. El objetivo de este trabajo fue describir y caracterizar preliminarmente y de manera rápida la magnitud del área impactada, las secciones de la red de drenaje directamente comprometidas, la calidad físico-química del material derramado, y el potencial de movilización del relave e incorporación a la red de drenaje. Asimismo, en virtud de la información anterior, se proponen medidas preliminares orientadas a reducir los efectos ambientales negativos del evento.

Para alcanzar los objetivos planteados se realizaron las siguientes actividades:

- Visita a terreno, medición y caracterización geográfica de la zona para calcular los volúmenes de relaves colapsados y estimar las obstrucciones a los cauces principales en la zona.
- Caracterización in-situ de muestras de suelo y aguas.
- Análisis en laboratorio certificado de parámetros fisicoquímicos de suelo, relave y agua.
- Estimaciones de caudales y potencial de erosión del terreno.
- Estimación de potencial de liberación de contaminantes y capacidad de formar drenaje ácido del relave.

Se estimó que 2,44 hectáreas de tranque de relave colapsaron en 10,86 hectáreas de terreno aledaño, bloqueando dos cauces, correspondientes a la Quebrada Los Ladrones y el Estero Las Palmas. El área de la zona noroeste del tranque no colapsó, pero presenta serios riesgos de derrumbe, punto que no es el foco de este estudio y que deberá ser evaluado por otro grupo de especialistas. El volumen total colapsado representa aproximadamente 200.000 m³, las obstrucciones de los cauces se estiman en 23.000 m³ para las dos zonas del Estero Las Palmas y en 42.000 m³ para la Quebrada Los Ladrones. El material colapsado está compuesto principalmente por relave y en parte por la cobertura de suelo dispuesta originalmente sobre el relave para el proceso de cierre. Localmente, el material derrumbado contiene objetos arrastrados durante el evento, incluyendo mangueras, máquinas, y restos de estructuras.

La caracterización química del relave demostró que contiene concentraciones elevadas de plomo, cinc, hierro, manganeso. Como criterio de contrastación se empleó las concentraciones

que gatillan acciones de remediación para suelos de uso industrial en EE.UU., Canadá, Gran Bretaña, Suecia, Alemania, y Bélgica, y en particular el percentil 50 de estos valores. Las experiencias de laboratorio para determinar el potencial de liberación de contaminantes de los relaves a la matriz acuosa indican que el relave en contacto con agua libera cantidades importantes de cinc y azufre y en menor cantidad cobre y plomo comparado con el material de origen natural. Bajo condiciones oxidantes, se determinó que todas las muestras de relave tienen una capacidad neta de formar drenaje ácido. Esto puede ser relevante por el potencial de movilizar metales cuando el relave sea erosionado e incorporado al sedimento, o también por el contacto del agua de lluvia y la percolación a través del relave.

Los análisis de aguas de un afloramiento en el relave y del agua retenida por el relave en el Estero Las Palmas mostraron comparativamente altos niveles de plomo (0.012 y 1.16 mg/L), cinc (0.114 y 33.7 mg/L), hierro (4 y 1.74 mg/L), cobre (0.034 y 0.06 mg/L) y manganeso (3.06 y 2.53 mg/L). Sólo en la muestra de aguas del afloramiento del relave se observó la presencia de cianuro libre (0.59 mg/L). La muestra de agua del Estero los Puercos (12.3 km aguas abajo de la zona afectada) no presentó concentraciones elevadas de contaminantes, sugiriendo que no se observa aún efectos del evento de derrame en su calidad.

A partir de la información de precipitación se estimó la capacidad de transporte de material desde el relave a cursos de agua. En promedio se estima un volumen de material arrastrado igual a 189 m³/año, de los cuales, el 90% corresponde a relave.

Según los datos de calidad química del relave, del potencial de liberación de contaminantes y de su capacidad de formar drenaje ácido, se puede prever efectos en las zonas no obstruidas actualmente con respecto a: i) contaminación de sedimentos en red de drenaje (principalmente cobre, cinc, plomo), ii) incremento de la concentración de contaminantes disueltos (principalmente sulfato y cinc y en menor medida plomo y cobre), iii) aumento de sólidos suspendidos, y iv) contaminación de aguas subterráneas por sustancias disueltas desde el relave producto del drenaje ácido.

Las recomendaciones tienen por objetivo prevenir la contaminación de los recursos hídricos y los cauces, y mantener un nivel de monitoreo que permita conocer el nivel de contaminación presente y evaluar si las medidas de control son efectivas. En orden de prioridad las recomendaciones son:

- a) Evitar que el relave colapsado sea transportado por el agua de la Quebrada Los Ladrones y del Estero Las Palmas. Se debe despejar los cauces en el más breve plazo o construir un by-pass.

- b) Evitar el ingreso de agua al relave y prevenir erosión. Se requiere evaluar la posibilidad de confinar en un área menor el relave colapsado y cubrirlo con un material tipo geomembrana.
- c) Implementar plan de monitoreo en la zona y determinación de cambios en la calidad del agua.
- d) Evaluar necesidad de remediación de suelos. Se recomienda usar el enfoque de análisis de riesgo ambiental para definir esta necesidad sobre una base cuantitativa.

2. PRESENTACIÓN

Luego del terremoto ocurrido en Chile el 27 de febrero de 2010 se registró el colapso parcial del relave de la mina Las Palmas (UTM WGS-84: 6102668.16 N, 248923.94 E), ubicado al norte de la ciudad de Talca, obstruyendo la red de drenaje local y alterando la morfología local producto del derrame de relave. Este relave corresponde a la minería del oro, que de acuerdo a la información disponible tiene un importante potencial de liberar especies químicas tóxicas al medio ambiente. El Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Aguas, encargó a DICTUC una cuantificación preliminar del problema ambiental.

En particular, el proyecto estuvo orientado a la descripción y caracterización preliminar rápida de la magnitud del área impactada, las secciones de la red de drenaje directamente comprometidas, la calidad físico-química del material derramado, y el potencial de movilización del relave e incorporación a la red de drenaje. Asimismo, en virtud de la información anterior, se propuso medidas preliminares orientadas a reducir los efectos ambientales negativos del evento. El carácter preliminar de esta evaluación se debe a que se requirió ejecutar trabajo de terreno y entrega de informes en un plazo bastante acotado que requirió centrar el trabajo en los aspectos fundamentales, en el uso de herramientas rápidas de medición y la toma de un número acotado de muestras que permiten tener efectivamente una noción de la magnitud del problema ambiental y disponer de información para la toma de decisiones contingentes.

Este informe corresponde a una versión corregida del informe final que se entregó 30 días corridos después de la visita a terreno efectuada por profesionales de DICTUC, que incluyó un equipo de cinco especialistas (Gonzalo Pizarro, Ingeniero Civil, PhD.; Pablo Pastén, Ingeniero Civil, PhD; Carlos Bonilla, Ingeniero Agrónomo, PhD; Felipe Tarud, Ingeniero Civil, Mag. Cs. de la Ing.; Sara Acevedo, Químico Ambiental UC).

3. DESARROLLO DEL ESTUDIO

3.1 Descripción de antecedentes disponibles

Antecedentes geológicos y de explotación de Mina Las Palmas

Millán (2001) citando a Ruiz y Peebles (1998) indica que la geología de la Mina Las Palmas se caracteriza por "vetas de rumbos variables en andesitas y brechas andesíticas del Cretácico Inferior. Las vetas son subverticales, tienen corridas de hasta 1500 m y clavos de varios cientos de metros; los espesores varían entre 0,5 y 8 m. La mineralización primaria consiste en cuarzo bandeado con pirita, calcopirita, blenda, galena, y specularita. El oro está asociado a la blenda, la galena y la pirita. La textura es coloidal con drusas y cocardas, indicando un origen epitermal" De acuerdo a esta fuente, la mina Las Palmas paralizó sus labores en 1989, señalando de acuerdo a Anfruns (1986) que "hasta 1980 operaba una planta de flotación de 50 ton/día que producía concentrados de 150 g/ton de oro, pero al penetrar la explotación en la zona de los sulfuros, las leyes del concentrado bajaron a 80 g/ton Au, lo que llevó al metalurgista Jaime Anfruns a efectuar pruebas metalúrgicas y posteriormente a diseñar una moderna Planta de cianuración por agitación, adsorción por carbón activado en pulpa, y reextracción mediante solución en caliente que contiene alcohol, hidróxido de sodio, y cianuro de sodio. Posteriormente el oro se precipita en celdas electrolíticas y se funde obteniendo barras de 90% fino en oro. La planta se amplió en 1986 a una capacidad de 150 ton/día y luego a 350 ton/día y la producción subió de los 50 kg/año a 450 kg de oro en 1991"

Estos antecedentes son interesantes porque:

- Entregan una composición litológica de los materiales explotados y que son las fuentes originales de los materiales depositados. Se menciona la presencia de los siguientes minerales:
 - blenda: sulfuro de zinc, ZnS
 - galena: sulfuro de plomo, PbS
 - pirita: sulfuro de hierro, FeS₂
 - calcopirita: sulfuro de cobre y hierro, CuFeS₂
 - specularita: hematita specular, Fe₂O₃
- Se indica que la planta usaba el proceso de cianuración para extraer el oro.

En consecuencia, se espera que el relave derramado contenga cantidades potencialmente relevantes los metales Zn, Pb, Cu, y Fe, así como también cianuro. No se menciona la presencia de cinabrio o cinabarita (sulfuro de mercurio) en la mineralogía, de modo que no existiría un enriquecimiento por mercurio.

Antecedentes del Plan regulador de la comuna de Penciahue

El recuadro siguiente (Tabla 1) muestra secciones de interés de la memoria explicativa del Estudio Plan Regulador de la comuna de Penciahue (Infracon S.A., Diciembre de 2006). Se considera que la zona del estero Las Palmas es un sitio importante para la conservación comunal de la biodiversidad por la presencia de palma chilena.

Asimismo, se indica que todas (8) las especies de peces dulceacuícolas nativos están en categoría de conservación como amenazados, seis vulnerables y otras dos en categoría inadecuadamente conocida.

Notablemente, en la sección que discute el riesgo por la presencia de actividades humanas peligrosas se indica que la zona de la mina Las Palmas es una posible zona de deterioro ambiental. En esa misma categoría se identifica a las áreas en que se ubican las plantas industriales de las viñas Botalcura, Concha y Toro, y San Pedro.

Tabla 1. Descripción Flora y Fauna del sector afectado. Fuente: Estudio Plan Regulador de la comuna de Penciahue (Infracon SA, Diciembre de 2006)

Respecto a sitios prioritarios se consideraron importantes para la conservación comunal de la biodiversidad los siguientes: el cerro Manquimahuida, la zona del estero Las Palmas-(Tapihue) con presencia de la palma chilena y la cuesta La Chépica, con presencia de bosque esclerofilo aún en buen estado.

*La fauna de vertebrados de Penciahue está compuesta por 112 especies: nueve peces (dulceacuícolas), tres anfibios, seis reptiles (dos culebras y cuatro lagartos), 75 aves y 19 mamíferos. Del total de especies, 102 son nativas y 10 son introducidas. De acuerdo al Libro Rojo de la UICN, la güiña (*Oncifelis guigna*) se encuentra Vulnerable. Según el Libro Rojo de CONAMA y el Reglamento de la Ley de Caza, 28 especies están mencionadas como amenazadas. Todos los peces dulceacuícolas nativos (ocho especies) están amenazados: seis especies son Vulnerables y las otras dos están en categoría Inadecuadamente Conocida. Los tres anfibios están amenazados (dos especies son Vulnerables y una está En Peligro), cinco de los seis reptiles están en alguna categoría de amenaza (cuatro especie son Vulnerables y una es Inadecuadamente Conocida). De las 71 especies de aves nativas, seis están citadas en el Reglamento: una está En Peligro, una es Vulnerable, dos son Raras y dos son inadecuadamente conocidas. Entre los mamíferos hay seis especies citadas en el Reglamento, una está En Peligro, dos son Vulnerables, una es Rara y dos son Inadecuadamente Conocidas. De las 102 especies nativas que habitan en la comuna, 12 son endémicas de Chile, lo que implica un 11.7% de endemismo. De ellas cinco corresponden a peces, dos son anfibios, dos son reptiles, tres son aves y ningún mamífero es endémico. Ninguna especie está restringida a la comuna o a la VII Región. En la comuna de Penciahue no existen áreas pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), ni Santuarios de la Naturaleza, ni hay áreas incluidas en el Libro Rojo de Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica, sin embargo, al norte de la comuna de Penciahue, Huaquén está incluida entre los sitios prioritarios de*

acuerdo a la Estrategia y Plan de Acción para la Conservación de la Biodiversidad en la Región de Maule, aunque no está citada entre los cinco Sitios de Primera Prioridad.

En la comuna se distingue cuatro grandes hábitats: zonas agrícolas, matorrales y bosques, humedales, y zonas urbanas. En las zonas agrícolas existe un mamífero y tres reptiles que están amenazados y dos aves son endémicas, los matorrales y bosques albergan un total de 14 especies, 11 especies amenazadas y cinco especies endémicas, los humedales concentran el mayor número de especies amenazadas/endémicas de la comuna, 17 especies en total, ocho peces, tres anfibios, cinco aves y un mamífero están amenazados y cinco peces y dos anfibios son endémicos (además se encuentran en este hábitat crustáceos amenazados). Las zonas urbanas son las que presentan el número más bajo de especies amenazadas (dos reptiles) y una especie endémica.

*En Penciahue, las especies amenazadas y/o endémicas son sólo dos reptiles amenazados (*Liolaemus lemniscatus* y *L. tenuis*) y la tenca (*Mimus thenca*) que es endémica, éstas especies son comunes en la zona central y habitan en zonas intervenidas, incluyendo áreas peri-urbanas, zonas agrícolas y bordes de caminos. Por lo anterior se le considera una zona de baja sensibilidad para este componente. Corinto es similar a Penciahue y se le considera una zona de baja sensibilidad para este componente, pero el río cercano es una zona de alta sensibilidad por tratarse de un humedal. Las zonas agrícolas, tienen baja diversidad de especies amenazadas/endémicas (seis especies) y presentan una sensibilidad baja para el componente fauna. Los matorrales y bosques presentan una sensibilidad media/alta para el componente fauna, con 14 especies endémicas y/o amenazadas. Los humedales, por la mayor riqueza de especies (17 especies) y por la cantidad de especies endémicas y/o amenazadas de peces y anfibios, se consideran zonas de una sensibilidad alta para la comuna. Fuera del radio urbano las zonas agrícolas son las áreas que presentan la menor sensibilidad ambiental y el mayor potencial para una expansión urbana y/o industrial, por otra parte las zonas agrícolas y de plantaciones forestales tienen potencial para un desarrollo sustentable, compatible con la conservación de la diversidad biológica. Las áreas de matorral/bosque nativo y los humedales presentan una mayor sensibilidad a la modificación antrópica y debe considerarse entregar grados adecuados de protección a estas áreas.*

3.2 Caracterización de áreas impactadas por el relave

3.2.1 Caracterización del área de derrame de relave

Para el levantamiento de la información geográfica de la zona afectada por el derrame del relave, se utilizaron dos receptores GPS absolutos (modelo Garmin etrex Vista C y Garmin etrex Vista HCx) y un dispositivo GPS diferencial (modelo TOPCON GB-500 Hiper+).

Con el objetivo de definir los alcances geográficos del derrame de relave se midieron los principales atributos que permitirán modelar procesos de erosión y lluvia-escorrentía. En la Figura 1 se observa el alcance del área que colapsó producto del movimiento sísmico del 27 de febrero. Se estima que 2,44 hectáreas de tranque de relave colapsaron en 10,86 hectáreas de terreno aledaño, bloqueando dos cauces, correspondientes a la Quebrada Los Ladrones y el Estero Las Palmas. Por otro lado, el área de la zona noroeste del tranque no colapsó, pero presenta serios riesgos de derrumbe que deberían ser evaluados por los especialistas en mecánica de suelos.

La cartografía IGM del lugar (escala 1:50.000) presenta una escala que permite contextualizar el problema y verificar las cuencas afectadas, sin embargo, su resolución no permite dimensionar el área afectada por el colapso, por lo que se complementó esta información con las mediciones GPS en terreno (ver **Anexo 1**). En la Figura 2 se presentan curvas de nivel (escala de 2 metros [1:2000]) del terreno afectado, estimadas mediante interpolación de los 33 puntos medidos con GPS diferencial. Las pendientes del terreno colapsado dependiendo de cómo se distribuyó el relave y varían entre un 2 y un 10% aproximadamente.

Las obstrucciones de los cauces se estiman en 23 mil metros cúbicos para las dos zonas del Estero Las Palmas y en 42 mil metros cúbicos para la Quebrada Los Ladrones (ver Figura 3). Para estimar estos volúmenes, se supuso una altura promedio de 2 metros en base a las diferencias de cota obtenidas con GPS diferencial. Se considera que el cauce debe estar despejado y alejado del relave en 20 metros a cada lado del eje central del estero, esto para evitar la contaminación de las aguas (e.g. partículas de polvo con plomo pueden escurrir con viento y lluvia hacia el estero). En caso de que se construyan taludes recubiertos con tierra compactada sobre el relave, es posible considerar un ancho de cauce menor a los 20 metros. Se pueden observar fotografías geo-referenciadas de la obstrucción de cauces en el **Anexo 2**.

Se realizó una estimación del volumen total, calculando el volumen inicial que tenía la zona del tranque colapsado en función de sus características geométricas y de lo medido en terreno. No se cuenta con la topografía original del tranque, para realizar un cálculo exacto de la cantidad de tierra desplazada, sin embargo, la estimación se sustenta razonablemente en imágenes

satelitales, fotografías aéreas y mediciones de terreno. Se utilizó un trapecio de 130 metros de coronamiento con talud 3:1 (H:V) y una altura de relave de 12 metros, que se desarrolla en 182 metros (ver Figura 4). El volumen calculado es de 200 mil metros cúbicos, los que si estuviesen repartidos homogéneamente en el área afectada, generarían una altura promedio de 1,8 metros.

Los datos más relevantes del área afectada se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen características del área afectada.

Zona	Área (hás)	Pendientes (%)	Volumen de cauces obstruidos (m ³)	Volumen Colapsado (m ³)
Porción de Tranque no-colapsado	2,6	S-6a - 10,6 S-6b - 3,7	-	-
Área Colapsada	10,9	S-1 = 2,7 S-2 = 6,1 S-3 = 10 S-4 = 1,5 S-5 = 5,3	Quebrada Los Ladrones 42.400 Estero Las Palmas 23.400	200.000

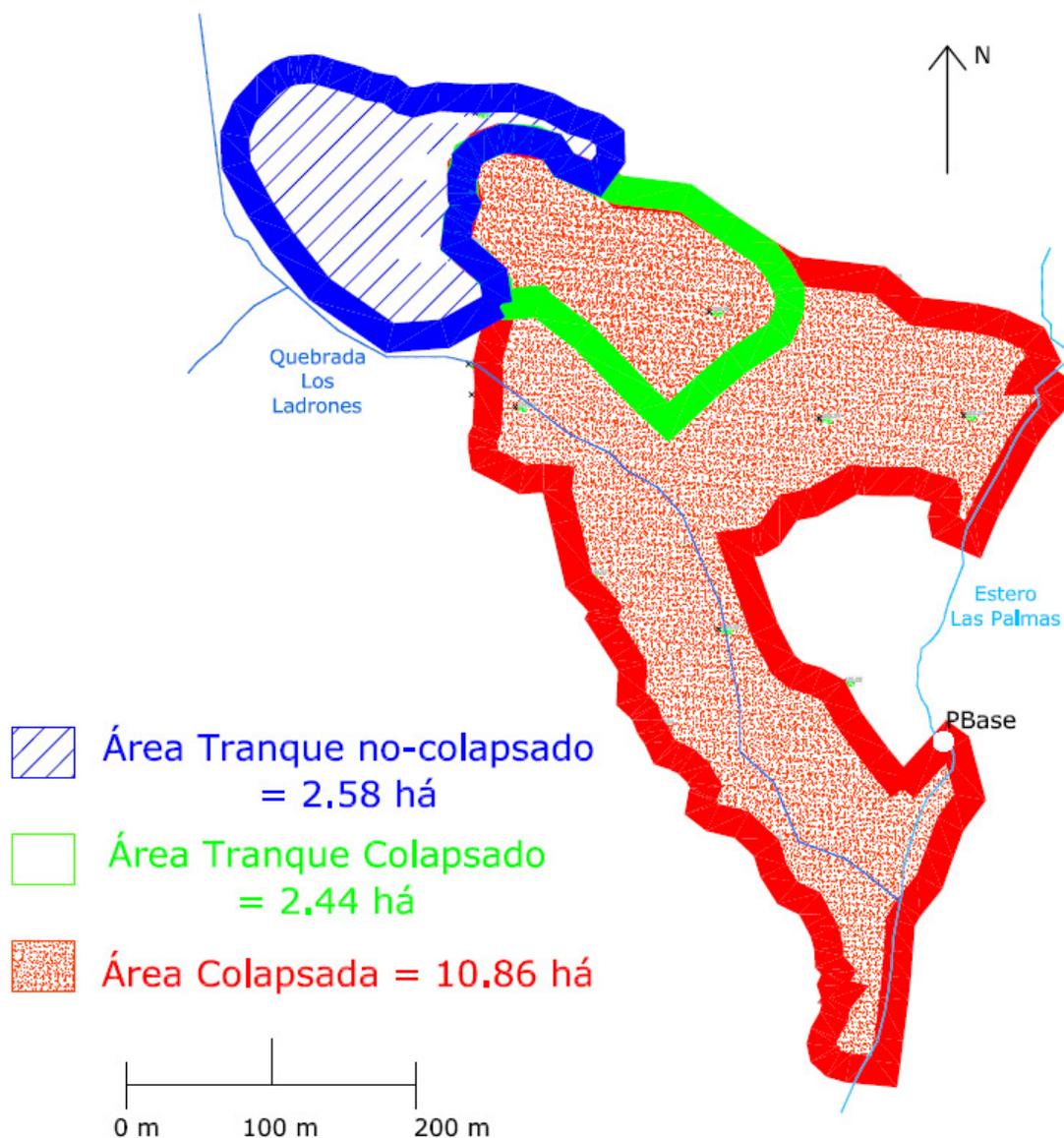


Figura 1. Representación de la zona afectada por el derrumbe del Tranque de Relave Las Palmas. PBase: Punto estación GPS diferencial TOPCON con coordenadas (WGS-84): N: 6102630.273 E: 248990.828, Elevación 116.97 msnm.

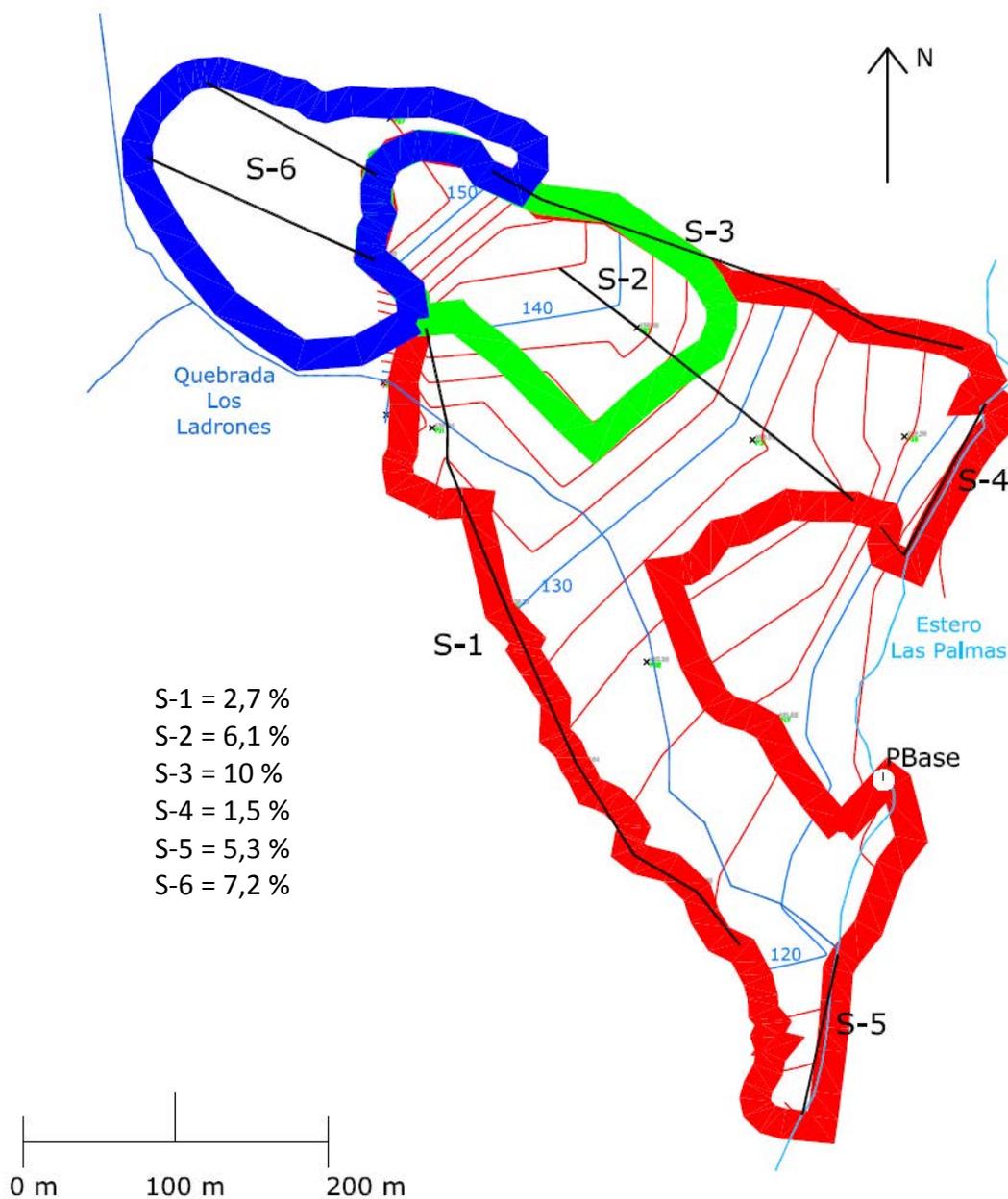


Figura 2. Estimación de pendientes para la zona afectada utilizando puntos de GPS diferencial. Cabe notar que dada la heterogeneidad espacial característica del material existen pendientes locales que no están identificadas en esta figura.

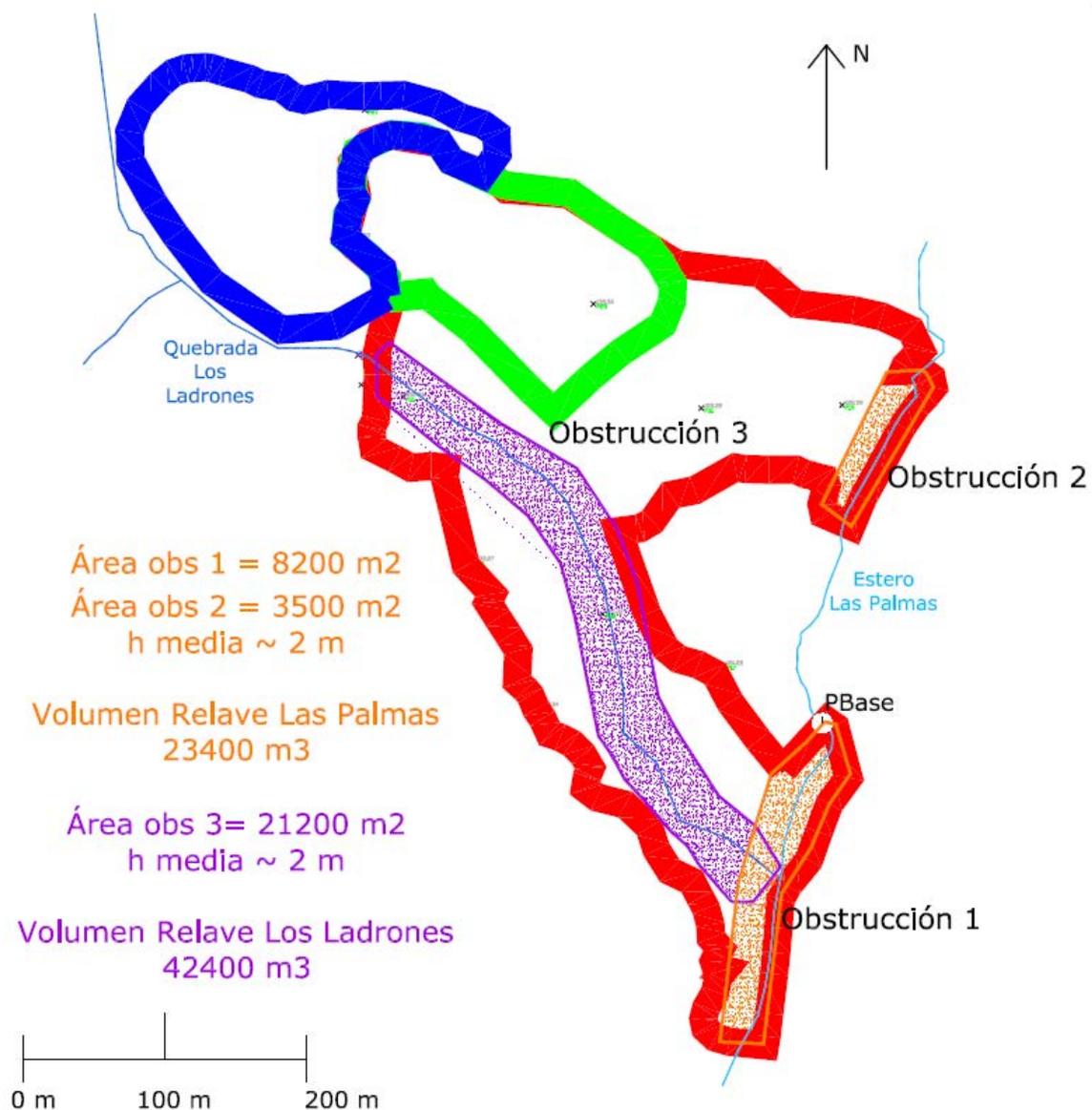


Figura 3. Estimación de volúmenes de obstrucción de cauces.

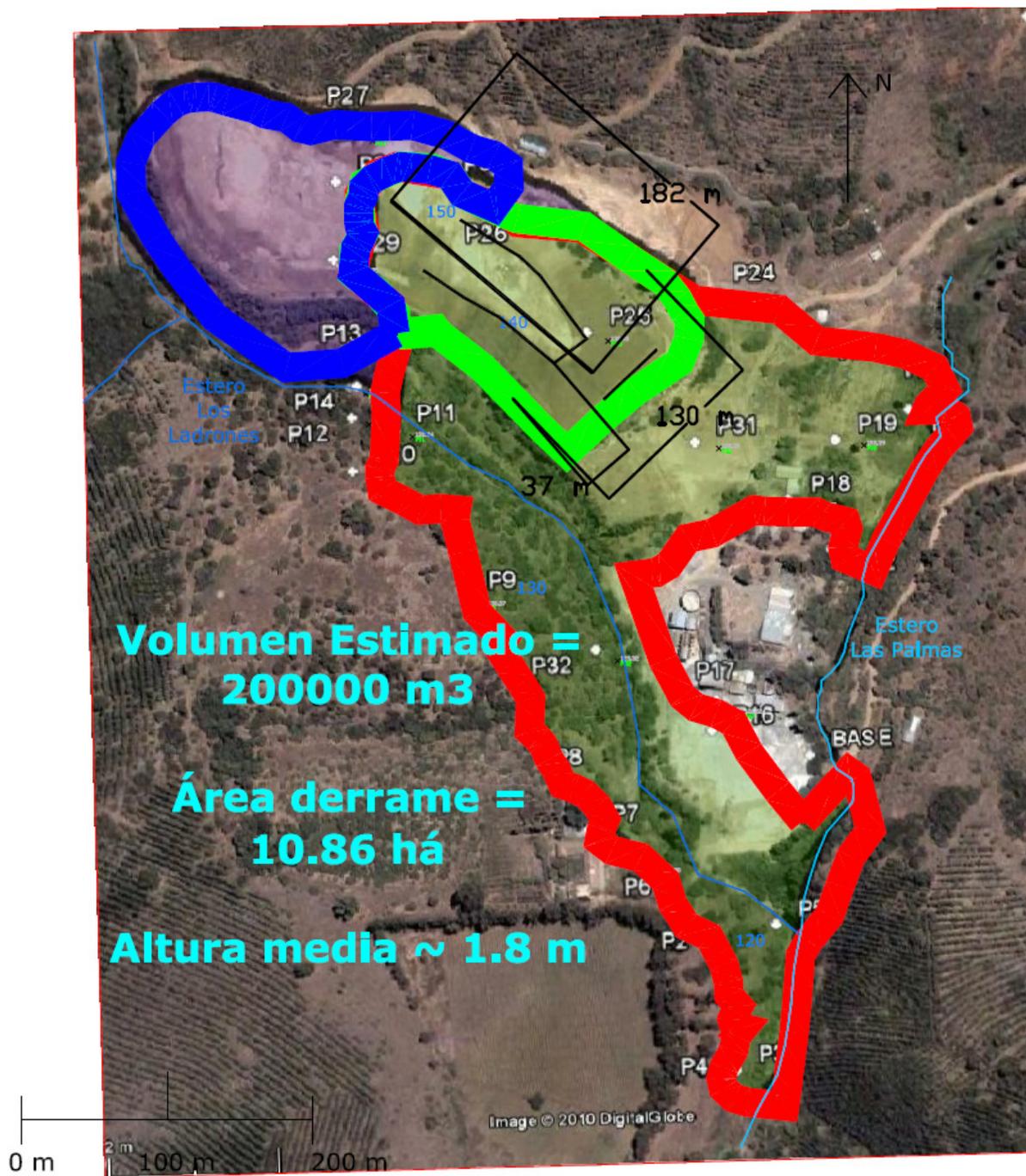


Figura 4. Estimación del volumen de relave desplazado por el terremoto del 27 de febrero.

3.2.2 Caracterización hidrológica de la zona afectada

La caracterización del régimen de precipitaciones en la zona afectada se hizo en base a los registros de lluvias de la estación climatológica Penciahue (35°22'21" S, 71°49'57" O), dependiente de la Dirección General de Aguas (código 07381003-5). La estación Penciahue se ubica 20 km al sur poniente del tranque de relave, posee registro de precipitación a partir del año 1979, y es la estación climatológica más cercana con análisis de curvas intensidad-duración-frecuencia. En el análisis se emplearon las lluvias mensuales comprendidas entre los años 1979 y 2007 (27 años de registro). El sector en el cual se ubica la zona afectada se caracteriza por un régimen pluvial bien definido, con una lluvia anual del orden de 650 mm. La mayor parte de las precipitaciones se concentran entre los meses de mayo y agosto, con un 73% del total de agua caída (ver Tabla 3 y Figura 5). En estos meses la dispersión de los valores mensuales es menor a la observada el resto del año, registrándose en todos ellos un coeficiente de variación inferior al 100%.

Tabla 3. Precipitaciones medias mensuales (mm) en el sector de estudio según registros de lluvia en estación climatológica Penciahue (período 1979-2007).

	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	5	6	17	43	107	152	131	90	59	24	13	8
Desv	7	12	26	48	92	110	95	62	54	32	19	11
Coef Var	153	197	152	113	86	73	73	69	91	133	142	143
Máxima	24	46	102	228	357	459	377	265	196	153	70	41
Mínima	0	0	0	2	10	16	5	11	4	0	0	0

La red hidrográfica en la zona se compone de una combinación de cursos permanentes y otros que aparecen sólo durante la temporada de lluvias (ver estimación de caudales en **Anexo 3**). El terreno afectado se encuentra flanqueado por la Quebrada Los Ladrones y el Estero Las Palmas (ver **Anexo 4**). En el caso de la Quebrada Los Ladrones, el área de la cuenca aportante es de aproximadamente 4,4 km². El Estero Las Palmas por su parte posee a la altura del sitio afectado una cuenca de 20,4 km². La figura del **Anexo 4** muestra en forma gráfica las cuencas aportantes y la topografía del terreno mediante curvas de nivel. Además se indican las longitudes de los principales cursos de agua.

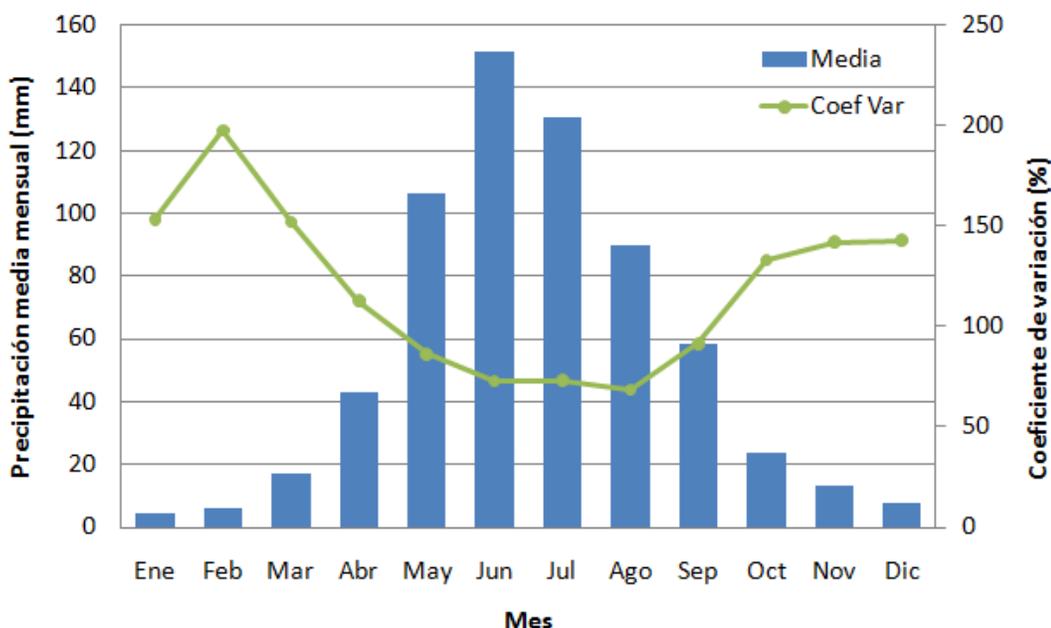


Figura 5. Distribución mensual y coeficiente de variación de las precipitaciones en la estación climatológica Penciahue.

Red hidrográfica potencialmente afectada

Las precipitaciones que afecten el lugar pueden generar transporte de contaminantes (metales pesados, cianuro, etc.) hacia aguas abajo. En el **Anexo 4** se muestra la red hidrográfica de la subcuenca comprometida. El transporte de contaminantes se podría dar a través de flujos superficiales desde la quebrada Los Ladrones y el estero Las Palmas hacia el estero los Puercos (punto 831), y posteriormente movilizarse hasta el río Maule. Se indican las coordenadas UTM del tranque de relave (zona colapsada), de una zona de muestreo de agua que corresponde a la confluencia de los esteros Los Puercos y Las Palmas, y de una estación de calidad del agua de DGA en el río Maule (Código: 07383001-K). Esta estación se propone como un punto de control para reportar cualquier tipo de variación de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua, y también para muestrear y medir específicamente los contaminantes críticos que traiga el relave. Es importante considerar además un programa de monitoreo de parámetros de calidad del agua (metales peligrosos que traiga el relave) en puntos clave, como en el estero Las Palmas, sector aguas abajo de la zona colapsada (UTM-WGS84: 6102887.79 N, 248665.92 E) y en la confluencia del estero Los Puercos y Las Palmas (punto muestreo 831, UTM-WGS84: 6092091.65 N, 248392.7 E).

3.2.3 Identificación georeferenciada de lugares de muestreo

Los objetivos de este trabajo y las condicionantes de plazos y recursos disponibles requirieron de la realización de un muestreo dirigido y un screening en terreno y laboratorio. Los expertos analizaron los antecedentes disponibles del sitio, los antecedentes aportados por profesionales y por los habitantes del lugar, las características de la faena industrial asociada al tranque de relaves, y las observaciones del recorrido por toda el área impactada por el colapso y sus alrededores.

Se tomaron 21 muestras de suelo y 4 de agua cuidadosamente seleccionadas. De las 21 muestras de suelo, 14 corresponden a suelo de relave, 5 a suelo de cubierta natural, 1 al lecho seco del estero Las Palmas y 1 a suelo ubicado en los alrededores de la planta minera. Para ver detalles de posición, tipo de suelo, fotografías y código de muestras, ver Tabla 4.

Tabla 4. Detalle de muestreo en terreno.

Tipo de Muestra	Código de Muestra	Proyección Y Norte (m) Datum: WGS-84	Proyección X Este (m) Datum: WGS-84	Tipo de suelo	Comentario	Código Foto (ver Anexo 5)
Sólido	807	6102899.72	248622.10	Suelo (Talud)	Embalsamiento Quebrada Los Ladrones producto de relave bloqueando el cauce.	P14
	809	6102914.98	248594.08	Suelo Natural	Sitio donde Quebrada Los Ladrones recibe filtración del relave.	281
	810	6102629.32	248780.26	Relave	Esquina relave (entrada hacia donde estaba la casa destruida)	P8b

División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

Tipo de Muestra	Código de Muestra	Proyección Y Norte (m) Datum: WGS-84	Proyección X Este (m) Datum: WGS-84	Tipo de suelo	Comentario	Código Foto (ver Anexo 5)
	812	6102600.40	248949.44	Suelo	Polvo blanco camino entrada a la planta. Material altamente desagregado.	179
	813	6102647.48	248923.57	Suelo	Suelo empleado como cubierta del relave. Presente raíces y estructura de bloques.	187
	814	6102651.11	248920.94	Relave	Sustrato del relave color gris. Muestra tomada en la base del relave. Estructura de bloques desagregados, se desarma con facilidad.	192
	815	6102860.91	248912.58	Relave	Sustrato pardo (amarillo) del relave. Material altamente compactado, estructura masiva que frente a un golpe fuerte se divide en bloques.	202
	816	6103006.06	248764.23	Relave	-	207
	817	6103052.25	248706.23	Relave	Salida lateral del relave	209

División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

Tipo de Muestra	Código de Muestra	Proyección Y Norte (m) Datum: WGS-84	Proyección X Este (m) Datum: WGS-84	Tipo de suelo	Comentario	Código Foto (ver Anexo 5)
	818	6103048.76	248680.50	Relave	Sedimento superficial de color amarillo y también afloramientos de color gris. En detalle el material consolidado luce tonos jaspeados, estructura masiva pero suave a la entrada de la pala. Al golpear los bloques, éstos se desarman en pequeños prismas.	214
	819	6103042.99	248639.13	Relave	Parte superior del tranque. Se encuentra en estado original (probablemente similar al cierre de faena). Se toma muestra del tercer horizonte, color gris claro, estructura masiva. Al golpe se desagrega fácil en prismas.	224
	820	6103075.58	248546.57	Relave	Muestreo in situ mediante XRF portátil sobre sustrato del relave color gris	233

División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

Tipo de Muestra	Código de Muestra	Proyección Y Norte (m) Datum: WGS-84	Proyección X Este (m) Datum: WGS-84	Tipo de suelo	Comentario	Código Foto (ver Anexo 5)
	821	6103117.21	248524.14	Suelo natural	Suelo natural antes (cerro arriba) del relave. Estructura granular, fácil de desagregar. Amplios macroporos entre los pequeños bloques	234
	823	6102945.51	248671.72	Relave	Muestra de suelo color pardo (amarillo), estructura masiva de poca resistencia, la cual se desagrega en pequeños primas.	243
	824	6102936.37	248698.05	Suelo	Dentro del relave (zona cero). Muestra de la cubierta de suelo dispuesta al cierre del relave. Color café, estructura firme y granular.	251
	825	6102904.71	248712.86	Relave	Muestreo in situ mediante Pistola XRF	259
	826	6102889.05	248715.32	Relave	Relave de color gris que se deslizó sobre otro de consistencia distinta. Se desarma fácil en pequeños gránulos.	267

División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

Tipo de Muestra	Código de Muestra	Proyección Y Norte (m) Datum: WGS-84	Proyección X Este (m) Datum: WGS-84	Tipo de suelo	Comentario	Código Foto (ver Anexo 5)
	827	6102848.08	248728.36	Relave	Relave de color pardo. Se dispone en capas. Compacto. Al parecer oxidación desde afuera hacia adentro.	274
	828	6102713.03	248818.45	Relave	Relave de color pardo frente a bodega. Muy polvoriento pero que puede formar bloques grandes (masiva). Se desagrega fácil, escasa micro-estructura.	289
	13	6102401.53	248935.64	Suelo Natural lecho	Lodo seco ubicado aguas abajo de la obstrucción de relave del Estero Las Palmas	11
	830	6102608.68	248992.25	Relave	Muestra de relave completamente mezclado al final del sitio (costado alcantarilla). Mezcla de colores y material desagregado pero no polvoriento.	304
Agua	808	6102946.17	248528.90	No aplica	Muestra de agua Quebrada Los Ladrones	160

División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

Tipo de Muestra	Código de Muestra	Proyección Y Norte (m) <i>Datum: WGS-84</i>	Proyección X Este (m) <i>Datum: WGS-84</i>	Tipo de suelo	Comentario	Código Foto (ver Anexo 5)
	811	6102530.37	248826.56	No aplica	Agua en casa patronal. Fuente: vertiente en sector alto antes del relave.	174
	829	6102871.23	249062.44	No aplica	Taco Estero Las Palmas.	294
	831	6092091.65	248392.70	No aplica	Muestra de agua Estero Los Puercos.	308

3.3 Caracterización físicoquímica: screening

Como método de screening *in situ*, se empleó la técnica de análisis químico denominada fluorescencia de rayos X (XRF) portátil que permitió realizar mediciones puntuales de metales y metaloides y obtener resultados inmediatos que permitieron definir tipos y lugares de muestreo. Se usó un Analizador Portátil Alfa-8000 LZX Serie 9207V) con tubo de tungsteno usando el programa analítico de análisis para suelos, con 120s tiempo total de medición; live time=90s aprox. En esta técnica, se genera un haz de rayos X que al ser irradiado sobre la muestra produce una señal de fluorescencia que está directamente asociado a su composición y concentración. Con este dispositivo se puede identificar la presencia de 21 elementos: Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, y Pb.

La calidad cuantitativa de los resultados de la técnica de XRF portátil depende de la matriz analizada, el software de cuantificación, el parámetro considerado, y la presencia de interferentes. En consecuencia, cuando no se ha hecho una validación previa con otras técnicas, debe considerarse a priori que XRF entrega resultados semicuantitativos, lo que es suficiente para el propósito empleado en este estudio. En este caso, al contrastar ex post los resultados de *screening* versus los resultados obtenidos con las técnicas rutinarias lentas en laboratorio (espectrometría ICP y AA) se encontró una muy buena correlación entre los valores reportados por distintas técnicas. Esto permite validar el uso de las técnicas de *screening* para los objetivos indicados (ver gráficos en el **Anexo 6**).

El análisis de *screening* en terreno fue apoyado por un análisis de más detallado en el laboratorio con la técnica de fluorescencia de rayos X con reflexión total (TXRF) que permitió definir rápidamente muestras y parámetros para análisis en laboratorio con técnicas rutinarias más demorosas y bajo certificación (espectrometría ICP y AA). La medición se realizó en un equipo S2Picofox Bruker con ánodo de Mo, y 50 kV, para 750 uA de corriente, usando Ga como estándar interno.

La Tabla 5 y la Tabla 6 presentan los valores de concentraciones medidos con XRF y TXRF, respectivamente. Se identificaron tres tipos de muestras que representan el sitio: (a) material original del sitio; (b) relave; y (c) polvo superficial del sector de la planta (sector no cubierto por el derrame).

Para poner en contexto los valores de la Tabla 5 y la Tabla 6 es necesario considerar valores de referencia que permitan evaluar el significado del valor de la concentración en relación con sus efectos. Aunque en Chile no se han establecido límites de concentración que una vez superados obligan a la descontaminación de un suelo, se dispone como referencia los valores de normativa extranjera (por ejemplo, los valores de remediación para el plomo en EE.UU. son de 400 mg/kg

para uso residencial y 750 mg/kg para uso industrial). En el relave derramado se midieron concentraciones en exceso de los 10.000 mg/kg. Para mayor información sobre la variabilidad de los valores usados como criterios que gatillan remediación se recomienda revisar **Anexo 7** y la Figura 6. La Figura 6 muestra el rango de variación de los valores adoptados por distintos países para cada parámetro. Este gráfico demuestra que los valores pueden variar desde uno a tres órdenes de magnitud. La Tabla 7 y la Tabla 8 presentan valores de referencia para la comunidad internacional y nacional.

Como criterio general, en este trabajo se usará la columna asociada al percentil 50 en la Tabla 7, que indica valores que gatillan remediación en un conjunto de países de referencia. El percentil 50 define un valor tal que aproximadamente la mitad de los países adoptan criterios de remediación más estrictos y la otra mitad adopta criterios de remediación menos estrictos para el parámetro en cuestión. Es importante recalcar que se consideró los valores que gatillan remediación para suelos de *uso industrial*, que determina valores menos exigentes respecto a cuándo se considera un uso residencial. Por ejemplo, para el plomo se considera que concentraciones de plomo sobre 419 mg/kg requieren remediación si el suelo es de uso residencial, mientras que si el suelo es de uso industrial, entonces la remediación se requiere a partir de 1150 mg/kg de plomo.

El análisis integrado de los valores presentados desde la Tabla 5 a la Tabla 8 permite definir los parámetros prioritarios. Los parámetros prioritarios se definieron usando tres criterios: (a) aquellos en que la magnitud es comparable con los umbrales de acción; (b) el valor es pequeño respecto a los umbrales de acción, pero el parámetro es de especial interés por su toxicidad a niveles bajos; (c) o porque condicionan la distribución de los otros contaminantes. Los parámetros seleccionados de acuerdo a los criterios anteriores son: (a) plomo y cinc (en la Figura 7 se observa que el mayor problema es el plomo); (b) mercurio y arsénico; (c) hierro y manganeso. Adicionalmente, considerando que el derrame proviene de la minería del oro, se considera que el cianuro es un parámetro prioritario.

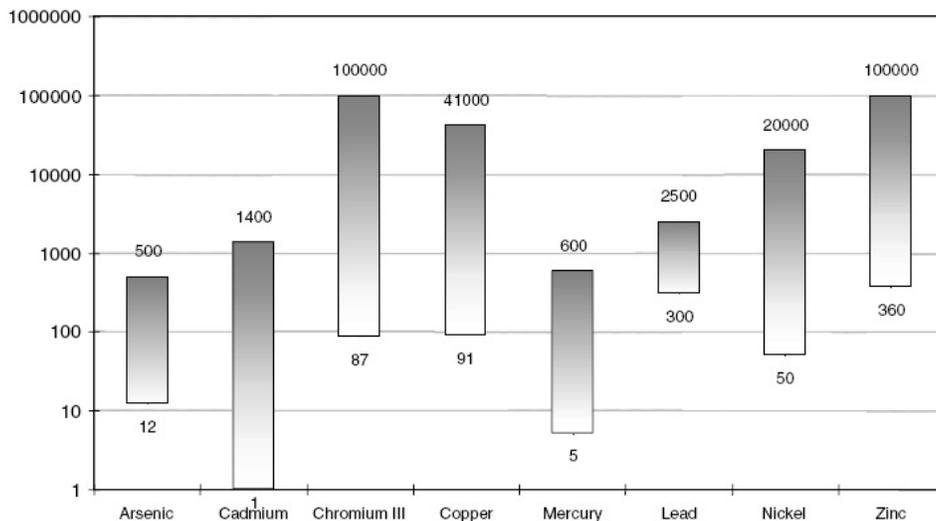


Figura 6. Rangos de variación para los valores de parámetros que gatillan remediación de un suelo de uso industrial. Este gráfico demuestra que los valores pueden variar desde uno a tres órdenes de magnitud. Los valores se presentan en la Tabla 7 (Fuente: Provoost, J., Cornelis, C., & Swartjes, F. (2006). Comparison of soil clean-up standards for trace elements between countries: Why do they differ? Journal of Soils and Sediments, 6(3), 173-181.

Tabla 5. Concentraciones elementales en mg/kg medidas con XRF (fluorescencia de rayos X portátil) y el valor de la desviación estándar instrumental (identificado por +/-). Se presentan tres tipos de muestras que se consideró representativas del sitio: (a) material natural del sitio constituida por horizonte superficial de suelo fuera del relave (821), sedimento lecho del Estero Las Palmas (13), y cubierta del relave (813,824); (b) muestras de relave; y (c) polvo superficial fino del sector de la planta industrial no cubierto por el derrame.

Parámetro	Material natural y cubierta relave				Relave														Polvo planta industrial
	821	824	813	13	814	815	818	819	823	826	827	828	830	8A	8B	DGA1	DGA2	812	
Pb	16	144	31	247	7.041	8.559	1.064	1.278	1.003	2.736	8.603	2.497	4.419	155	1.035	9.951	3.682	7.492	
Pb +/-	12	30	78	104	91	13	16	2	4	80	26	43	4	12	5	40		3	
Zn	72	770	106	642	12.870	1.235	127	2.769	649	8.555	1.854	7.276	7.258	1.727	230	903	8.117	100.329	
Zn +/-	3	12	4	10	140	19	5	31	10	83	23	69	70	17	6	16	84	1.293	
Cu	78	130	80	113	619	761	266	399	218	873	867	531	948	116	284	708	535	1.017	
Cu +/-	4	5	4	5	15	16	7	9	6	15	15	11	16	4	7	15	12	27	
As	12	17	14	35	<LOD	<LOD	34	<LOD	118	<LOD	414	<LOD	<LOD	23	106	<LOD	<LOD	<LOD	
As +/-	2	4	2	5	84	91	9	31	9	46	28	43	57	3	9	97	56	106	
Mn	1.135	1.277	661	371	673	188	197	265	189	652	486	417	387	225	139	254	494	2.243	
Mn +/-	30	35	27	24	35	26	18	21	16	28	28	23	24	15	16	28	28	72	
Fe	35.825	43.949	38.999	41.019	38.883	37.303	17.560	16.822	15.410	21.882	44.996	17.146	24.510	10.066	19.325	44.757	31.318	37.493	
Fe +/-	293	391	346	360	428	401	169	172	139	223	418	172	238	92	170	472	323	519	
Ti	4.036	4.940	4.958	8.650	<LOD	517	462	<LOD	494	<LOD	574	<LOD	565	478	<LOD	915	636	<LOD	
Ti +/-	182	218	212	260	562	171	117	372	101	419	158	361	136	91	309	186	163	847	
Cr	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
Cr +/-	87	105	103	103	144	136	94	105	77	108	108	98	104	69	82	135	119	213	
Co	47	60	55	73	54	<LOD	29	29	<LOD	44	74	27	41	20	25	52	50	46	
Co +/-	7	9	8	9	10	29	6	6	15	7	10	6	7	4	6	11	9	14	
Ni	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
Ni +/-	23	28	27	27	39	34	23	26	20	29	31	25	28	17	21	36	33	65	
Se	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	9	<LOD	6	<LOD	3	12	6	<LOD	
Se +/-	2	2	2	2	8	8	3	3	3	5	3	4	2	2	1	3	2	10	
Rb	59	82	80	35	13	20	19	7	12	12	15	10	9	16	12	35	37	14	
Rb +/-	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
Sr	21	16	24	86	17	11	5	8	12	13	<LOD	6	<LOD	14	6	14	17	27	
Sr +/-	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	4	1	4	1	1	2	1	2	
Zr	59	83	80	252	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	35	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	53	23	<LOD	14	<LOD	
Zr +/-	2	3	3	4	9	9	7	8	2	8	8	8	7	2	2	9	3	12	
Mo	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	143	
Mo +/-	38	43	42	42	54	52	42	45	39	46	44	44	44	36	39	52	49	23	
Ag	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	82	
Ag +/-	28	31	31	30	38	38	31	33	28	34	32	32	32	26	28	38	35	16	
Cd	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	232	<LOD	61	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	449							
Cd +/-	35	39	39	38	18	48	39	42	34	44	41	41	14	31	35	49	47	24	
Sn	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
Sn +/-	57	65	64	63	85	82	66	72	55	73	68	68	68	50	57	85	79	111	
Sb	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
Sb +/-	59	68	67	66	91	87	70	76	57	78	72	72	72	52	59	91	85	119	
Ba	389	398	343	578	<LOD														
Ba +/-	78	91	87	99	292	267	180	201	154	222	245	195	209	139	163	282	250	440	
Hg	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	
Hg +/-	4	5	5	5	15	15	6	7	6	9	13	9	11	4	6	15	11	27	

Notas: las muestras DGA1 y DGA2 fueron tomadas y proporcionadas por la DGA en forma previa a la campaña de terreno.

Tabla 6. Concentraciones elementales de acuerdo a la técnica TXRF (S2 PICOFOX). Se presentan tres tipos de muestras que se consideró representativas del sitio: (a) material natural del sitio constituida por horizonte superficial de suelo fuera del relave (821), sedimento lecho del Estero Las Palmas (13), y cubierta del relave (813,824); (b) muestras de relave; y (c) polvo superficial fino del sector de la planta industrial no cubierto por el derrame.

Tipo	Relave																																
	814			815			818			819			823			826			827			828			830			8A			8B		
Identificación	mg/kg	%CV	%LLD	mg/kg	%CV	%LLD	mg/kg	%CV	%LLD	mg/kg	%CV	%LLD	mg/kg	%CV	%LLD	mg/kg	%CV	%LLD															
Pb	3.692	11,3%	0,0%	8.535	19,6%	0,0%	1.256	1,0%	0,1%	1.068	7,9%	0,1%	2.093	14,0%	0,0%	1.982	7,7%	0,0%	13.279	5,1%	0,0%	2.741	9,2%	0,0%	3.564	15,2%	0,0%	252	6,9%	0,3%	243	8,9%	0,3%
Zn	3.858	24,5%	0,0%	1.071	13,0%	0,2%	124	5,0%	0,9%	1.879	7,2%	0,1%	1.062	3,9%	0,1%	5.097	13,6%	0,0%	2.300	1,8%	0,1%	5.971	9,7%	0,0%	4.075	13,9%	0,0%	1.215	8,7%	0,1%	1.224	11,2%	0,1%
Cu	200	10,0%	0,8%	534	17,9%	0,3%	180	3,6%	0,7%	176	6,0%	0,8%	219	9,1%	0,5%	264	26,8%	0,5%	1.002	5,2%	0,2%	350	12,9%	0,4%	606	14,1%	0,2%	61	29,5%	1,4%	61	29,6%	1,4%
Cr	8	41,4%	47,9%	9	49,1%	51,4%	6	35,5%	66,4%	5	27,7%	63,5%	7	9,7%	42,4%	9	24,5%	33,1%	23	20,7%	20,6%	13	16,0%	28,6%	5	29,5%	54,9%	3	37,3%	68,3%	3	18,8%	64,3%
As	<LOD	<LOD	<LOD	3	16,5%	42,0%	3	0,0%	28,4%	<LOD	<LOD	<LOD	3	28,6%	24,0%	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Hg	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD															
Cd	45	29,7%	67,4%	67	9,4%	59,4%	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD									
Mn	327	17,3%	1,0%	119	9,2%	3,5%	157	14,6%	2,1%	168	3,9%	1,8%	243	12,9%	1,2%	497	10,2%	0,6%	652	3,7%	0,7%	420	10,6%	0,8%	275	10,8%	0,9%	238	3,8%	0,9%	232	4,8%	0,9%
Fe	11.430	17,9%	0,0%	20.418	18,5%	0,0%	13.688	5,7%	0,0%	5.003	11,5%	0,1%	15.366	13,7%	0,0%	8.788	14,4%	0,0%	43.716	5,5%	0,0%	12.703	10,2%	0,0%	10.200	11,3%	0,0%	6.510	2,6%	0,0%	6.513	0,9%	0,0%
S	2.965	2,4%	2,0%	5.030	12,6%	1,5%	1.711	5,3%	3,5%	605	33,7%	9,5%	5.028	6,7%	1,0%	3.453	10,5%	1,4%	4.047	7,4%	1,7%	2.837	6,7%	2,0%	3.225	1,9%	1,3%	1.758	1,2%	2,1%	1.811	0,6%	2,0%
V	27	24,9%	18,1%	13	50,5%	45,5%	16	27,0%	31,1%	7	0,0%	59,0%	16	14,7%	26,5%	13	24,3%	29,3%	65	15,6%	9,5%	20	11,2%	23,5%	18	23,4%	19,2%	10	25,1%	31,4%	11	1,6%	27,2%
Al	3.221	12,8%	16,2%	1.109	29,8%	57,9%	1.140	0,5%	47,2%	660	2,5%	75,8%	2.291	23,3%	18,7%	1.627	13,2%	26,3%	9.744	16,7%	6,0%	2.090	7,3%	24,4%	2.312	15,0%	15,4%	3.330	10,0%	10,2%	3.111	5,5%	10,6%
Au	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD															
Br	<LOD	<LOD	<LOD	3	49,6%	43,3%	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1	0,0%	94,9%	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD									
Ca	1.723	9,6%	0,6%	1.673	6,2%	0,8%	947	13,5%	1,1%	2.238	1,8%	0,5%	2.126	6,6%	0,4%	5.372	10,1%	0,2%	1.505	2,1%	0,8%	4.482	10,7%	0,2%	1.090	6,9%	0,7%	2.499	0,7%	0,3%	2.458	0,4%	0,3%
Ni	-	0,0%	0,0%	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD												
Rb	6	36,1%	15,2%	5	59,9%	23,9%	11	8,9%	8,9%	1	0,0%	88,1%	11	24,0%	6,2%	5	29,8%	13,1%	41	11,2%	2,2%	7	8,9%	11,6%	7	17,4%	7,9%	11	2,0%	5,1%	11	4,6%	4,9%
Se	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2	31,2%	25,8%	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD															
Si	41.153	17,5%	0,6%	27.558	11,1%	1,0%	31.966	9,7%	0,7%	30.763	7,2%	0,8%	43.203	17,7%	0,4%	49.159	13,6%	0,4%	121.454	7,7%	0,2%	90.163	13,9%	0,3%	39.572	18,0%	0,4%	50.980	7,5%	0,3%	50.285	3,9%	0,3%
Sr	4	30,0%	29,5%	<LOD	<LOD	<LOD	3	28,4%	39,8%	2	0,0%	71,6%	4	29,7%	21,4%	3	37,2%	28,4%	1	0,0%	104,8%	5	35,7%	22,9%	2	38,9%	40,8%	5	5,9%	13,5%	6	1,8%	12,3%
Ti	260	24,2%	2,1%	235	16,6%	2,9%	316	25,7%	1,8%	77	9,9%	6,7%	349	20,4%	1,3%	185	39,4%	2,4%	767	12,8%	0,9%	225	9,2%	2,4%	232	25,4%	1,6%	302	4,7%	1,2%	296	0,7%	1,1%

Tipo	Material natural y cubierta relave												Polvo planta industrial					
	821			824			813			13-lecho			812					
Identificación	mg/kg	%CV	%LLD	mg/kg	%CV	%LLD	mg/kg	%CV	%LLD	mg/kg	%CV	%LLD	mg/kg	%CV	%LLD	mg/kg	%CV	%LLD
Pb	52	15,2%	1,7%	144	6,0%	0,6%	49	11,4%	2,6%	432	7,1%	0,2%	4.077	13,0%	0,0%			
Zn	99	11,0%	0,9%	1.005	5,7%	0,1%	113	0,7%	1,2%	621	10,9%	0,1%	59.185	1,2%	0,0%			
Cu	42	7,7%	2,3%	86	7,0%	1,2%	28	6,1%	5,3%	81	7,2%	1,1%	336	13,8%	1,0%			
Cr	<LOD	<LOD	<LOD	7	0,0%	51,2%	9	33,9%	60,9%	9	30,1%	33,3%	<LOD	<LOD	<LOD			
As	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
Hg	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
Cd	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	74	5,4%	63,6%			
Mn	1.126	8,1%	0,3%	977	4,9%	0,4%	526	6,6%	0,9%	272	9,2%	1,0%	1.048	1,6%	0,5%			
Fe	30.952	6,4%	0,0%	28.904	5,1%	0,0%	27.366	3,9%	0,0%	22.050	9,3%	0,0%	8.198	13,6%	0,1%			
S	-	0,0%	0,0%	935	9,5%	5,2%	<LOD	<LOD	<LOD	149	0,0%	29,5%	18.259	3,1%	0,5%			
V	103	5,0%	5,1%	95	7,5%	5,2%	80	10,5%	8,5%	76	13,7%	5,6%	18	0,0%	38,8%			
Al	25.476	5,8%	1,8%	21.085	9,8%	2,1%	18.962	6,9%	3,5%	11.528	15,6%	3,3%	2.284	26,3%	32,4%			
Au	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
Br	2	4,4%	29,8%	<LOD	<LOD	<LOD	2	17,5%	59,2%	<LOD	<LOD	<LOD	1	0,0%	98,2%			
Ca	949	9,5%	1,0%	355	17,3%	2,5%	1.249	3,1%	1,1%	3.615	15,5%	0,2%	916	7,8%	1,7%			
Ni	3	6,8%	33,1%	2	19,0%	55,7%	4	4,4%	46,8%	1	0,0%	68,9%	7	12,2%	45,7%			
Rb	86	9,9%	0,8%	75	5,7%	0,9%	75	7,7%	1,4%	39	14,3%	1,5%	6	24,1%	16,1%			
Se	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD			
Si	56.570	5,1%	0,4%	49.058	9,1%	0,4%	47.205	4,1%	0,6%	52.006	14,4%	0,3%	23.499	13,8%	1,4%			
Sr	28	5,2%	3,1%	13	6,4%	6,5%	20	2,4%	6,8%	51	14,6%	1,5%	2	0,0%	51,9%			
Ti	2.866	11,4%	0,2%	2.312	8,6%	0,2%	2.630	4,3%	0,3%	2.714	13,4%	0,2%	254	13,5%	3,2%			

%CV = Coeficiente de Variación
%LLD = Límite de Detección

Tabla 7. Valores que gatillan remediación para países desarrollados en suelos de uso industrial. Se observa que los valores varían hasta tres órdenes de magnitud, de acuerdo a lo que se grafica en la Figura 6 Cabe señalar que para suelos de uso residencial se consideran valores más restrictivos (Fuente: Provoost, J., Cornelis, C., & Swartjes, F. (2006). Comparison of soil clean-up standards for trace elements between countries: Why do they differ? Journal of Soils and Sediments, 6(3), 173-181.

Contaminant (mg/kg dm)	Belgium ¹	Germany	France	Sweden + groundwater ³	Sweden - groundwater ⁴	Great Britain	Canada	U.S.A.	Minimum	25 th percentile	50 th percentile	75 th percentile	Maximum
Arsenic	300	140	120	15	40	500	12	260	12	34	173	270	500
Cadmium	30	60	60	1	12	1400	22	450	1	20	254	158	1400
Chromium III	800	1000	7000 ²	250	250	5000	87	100000	87	250	14298	5500	100000
Copper	800	N.A.	950	200	200	N.A.	91	41000	91	200	7207	913	41000
Mercury	30	80	600	5	7	480	50	310 ⁵	5	24	195	353	600
Lead	2500	2000	2000	300	300	750	600	750	300	525	1150	2000	2500
Nickel	700	900	900	150	200	5000	50	20000	50	188	3488	1925	20000
Zinc	3000	140	120	700	700	500	360	100000	360	700	20952	3000	100000

Tabla 8. Valores a partir de los cuales se considera excesiva la concentración de metales en una matriz sólida a ser aplicada en el suelo (Fuente: Elaboración de guía de aplicación al suelo de residuos orgánicos. Servicio Agrícola y Ganadero, SAG, Chile.

Metal	1	2	3	4
Arsénico	20	50		
Bario	200	2000		
Cadmio	1	20	1 – 20	3
Cobalto	20	300		
Cromo	100	800	100 – 1.000	
Cobre	50	500	50 – 1.000	140
Mercurio	0,5	10	1 – 16	1,5
Molibdeno	10	200		
Níquel	50	500	30 – 300	75
Plomo	50	600	50 – 750	300
Estaño	20	300		
Zinc	200	3000	150 – 2.500	300

1	Nivel de referencia en Holanda. Nivel indicativo por encima del cual hay contaminación demostrable.
2	Nivel C en Holanda. Superado este valor el suelo ha de ser saneado.
3	Límite de concentración para poder añadir lodos en España (suelos de pH <7 y >7 respectivamente)
4	Máximo aceptable en suelos agrícolas (CE, 1986)

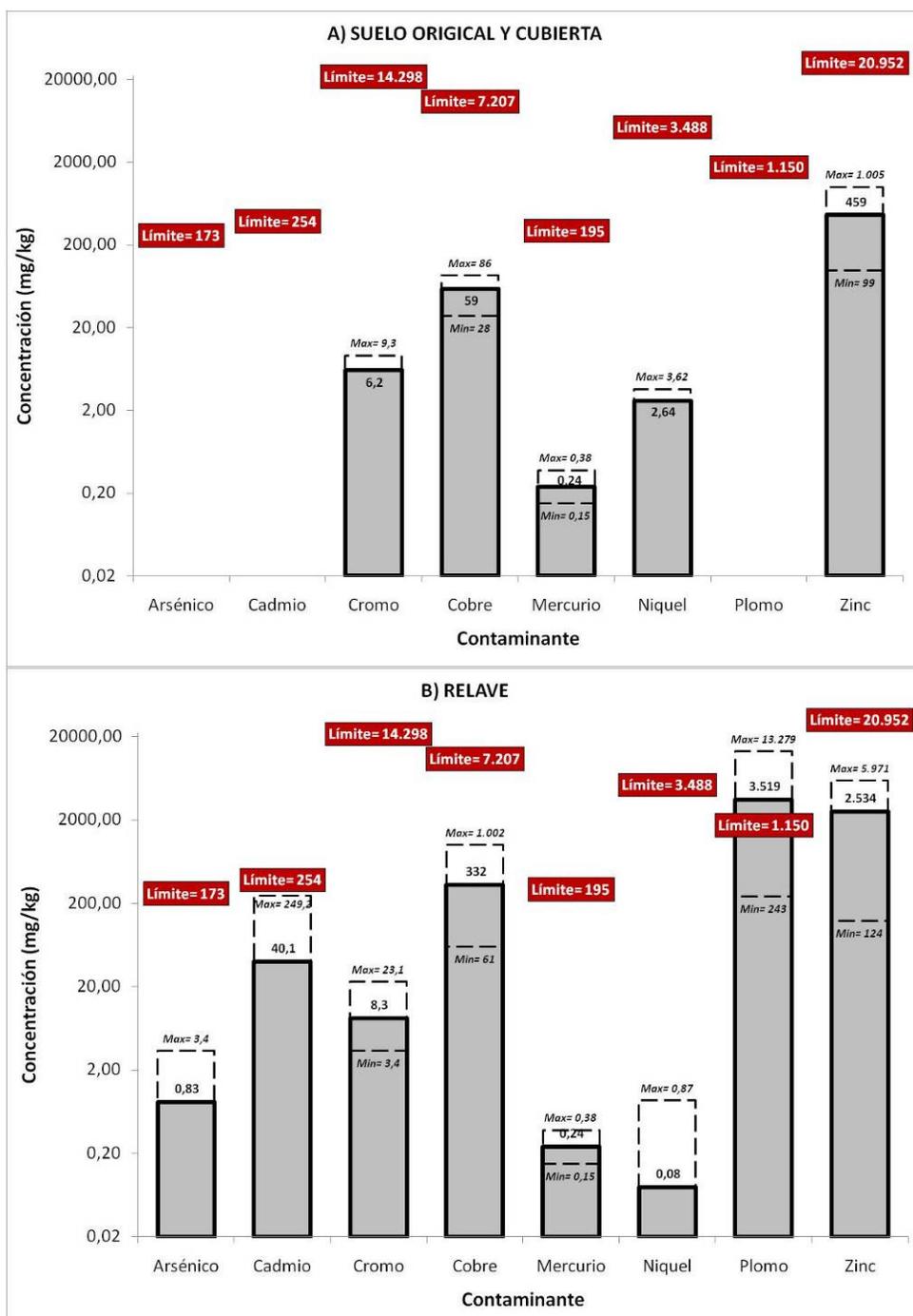


Figura 7. Comparación entre los valores observados (Panel A: relaves; Panel B: suelos originales) para parámetros críticos y el nivel de acción correspondiente al percentil 50 indicado en la Tabla 7 (valor destacado en rojo): Las columnas contienen el valor promedio observado (relleno gris) y los extremos (línea discontinua). Se observa que el mayor problema es el plomo.

3.4 Análisis integrado y caracterización en laboratorio acreditado

Para el muestreo y preservación de las agua naturales se aplicó el método descrito en las normas oficiales chilenas: NCh411/2 Of. 96 y NCh411/3 Of. 96, y la sección N°1060 (Collection and Preservation of Samples) de la referencia técnica “Standards Methods for Examination of Water & Wastewater” (APHA, AWWA, WEF, 2006). Para el análisis de las aguas naturales se aplicó el método descrito en las normas oficiales chilenas: NCh2313/10 Of. 96, DS N°879 de 1996 del MOP; NCh2313/14 Of. 97, DS N°949 de 1997 del MOP; y NCh2313/17 Of. 97, DS N°1144 de 1997 del MOP, y las secciones N°3111 (Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry), N°4500CN- (Cyanide) y N°4500-S2- (Sulphide) respectivamente, de la referencia técnica “Standards Methods for Examination of Water & Wastewater” (APHA, AWWA, WEF, 2006).

Para el muestreo de los suelos se aplicó el método descrito por Mason, (1992), “Preparation of Soil Sampling Protocols: Sampling Techniques and Strategies”, EPA/600/R-92/128. Para el análisis de las muestras de suelo se aplicó el método descrito por Sadzawka et al., (2004), “Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos”, Comisión de Normalización y Acreditación, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, y por Pansu y Gautheyrou, (2006), “Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods”, Springer.

Las muestras fueron preservadas y mantenidas de acuerdo a los tiempos y procedimientos estándar recomendados para cada parámetro. Las muestras fueron analizadas por el laboratorio de Análisis de Aguas y Riles de DICTUC SA, acreditado INN ISO17025. La Tabla 9 y la Tabla 10 presentan los resultados de los análisis de aguas y sólidos en laboratorio acreditado (ver certificados y acreditación Laboratorio en **Anexo 8**).

Al comparar los resultados del laboratorio acreditado con los obtenidos por la metodología de XRF y TXRF se encuentra gran consistencia, conmensurada con el uso que se da a los valores medidos (ver **Anexo 6**). Es importante destacar que el rango observado de valores para un mismo tipo de material (e.g., relave) se debe a su variabilidad espacial, que se da tanto en la microescala como en la macroescala. El procesamiento del mineral da lugar a una matriz que contiene una mezcla de minerales y especies químicas que varían de acuerdo al material original y los procesos físicoquímicos empleados para la obtención del concentrado. Asimismo, una vez depositados en el tranque, los relaves están expuestos a condiciones heterogéneas de humedad, temperatura y ambiente químico, que agregan otra fuente de heterogeneidad. No obstante esta heterogeneidad, las características físicoquímicas del releve son radicalmente distintas a las características del suelo original y el material usado en la cubierta del relave. Las muestras fueron obtenidas con protocolos normalizados y aceptados que consideran estos factores para este tipo de matrices ambientales.

Los valores reportados por el laboratorio acreditado confirman lo observado durante el proceso de screening:

- Tanto el material natural como el material del relave es rico en hierro, lo que es consistente con la geología del lugar.
- El relave muestra un claro enriquecimiento de Pb, Cu, y Zn.
- No se observa pruebas de contaminación por Hg (<1 mg/kg Hg).

Por otra parte, las mediciones de cianuro libre son bajas, excepto por un afloramiento desde el relave (muestra 809), que presenta un valor de 0,59 mg/L de cianuro libre (para una concentración de referencia de 0,2 mg/L en agua para riego y 0,05 mg/L en agua para bebida humana). Las otras muestras presentan cianuro libre menor que el LOD (limit of detection). Para tener una estimación del cianuro total se solicitó un análisis por destilación, entregando una concentración de 1,78 g/L, bastante superior a los valores indicados como criterio. Una explicación a esta observación son las altas concentraciones de hierro presentes en el sistema. El hierro forma complejos estables con el cianuro, disminuyendo su concentración libre. La determinación analítica de la especiación de complejos de cianuro y su comportamiento en matrices ambientales es un tema complejo y de reciente desarrollo (Johnson C.A., et al 2008), de modo que escapa del alcance del presente estudio.

Tabla 9. Resultados de análisis de sólidos seleccionados en laboratorio acreditado. Las muestras fueron seleccionadas de modo que contengan relave (814, 815, 827), suelo original (821), y polvo del sector de la planta industrial (812).

Muestra	Tipo	Suelo original	Relave			Polvo Planta Industrial
	Valor remediación	821	814	815	827	812
						
Manganeso (mg/kg)	-	1,265.00	751.00	251.00	635.00	1,016.00
Hierro (mg/kg)	-	54,707.00	37,406.00	32,420.00	47,074.00	25,051.00
Cobre (mg/kg)	7,207.00	29.40	612.00	611.00	1,350.00	783.00
Zinc (mg/kg)	20,952.00	390.00	11,389.00	1,267.00	2,512.00	48,034.00
Mercurio (mg/kg)	195.00	0.15	0.20	0.16	0.32	0.38
Plomo (mg/kg)	1,150.00	40.89	7,192.00	8,023.00	10,460.00	9,874.00
Arsénico (mg/kg)	173.00	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006

Las muestras de sólidos también fueron evaluadas por la técnica de difracción de rayos X en polvo (XRD). Esta técnica permite obtener para cada muestra un patrón asociado a su composición mineralógica, denominado patrón de difracción o difractograma. Distintas mineralogías producen patrones de difracción característicos, donde la posición de los picos es indicadora de los distintos minerales.

La Figura 8 presenta los difractogramas de las muestras de suelo natural (821), relave (814, 815, 826, 828, y 830) y de polvo de la planta (812). Una evaluación preliminar de estos difractogramas permite definir las siguientes características desde el punto de vista mineralógico:

a) La muestra de suelo (821) tiene un difractograma esencialmente distinto a los relaves, y al polvo de la planta, indicando una composición mineralógica diferente. Esto es consistente con los análisis químicos expuestos anteriormente.

b) Las muestras de relave presentan un difractograma similar, con una excepción notable: el pico de $2\theta=14,8^\circ$ presente para las muestras 815 y 827. Esto sugiere la presencia de una matriz sólida mineralógicamente similar para todos los relaves, pero con la presencia de un mineral adicional para las muestras 815 y 827. Esto es consistente con que las muestras 815 y 827 presentan un color pardo distintivo. La presencia de este mineral podría provenir de una mineralización secundaria del relave principal o de la disposición de un relave con distintas características. Esto sería consistente con la identificación de estratos de distintos colores.

La comparación de los relaves con patrones estandarizados encontrados en bases de datos permite definir minerales probables. El patrón dominante en los relaves es el del cuarzo (algo esperable para este tipo de material) con fracciones menores de óxidos de hierro (e.g., magnetita, hematita), silicatos, aluminosilicatos, óxidos de cobre, yeso, y sulfatos de plomo y cinc. Cabe destacar que es difícil distinguir la identidad de minerales no cristalinos con XRD, como pueden ser fases sólidas hidratadas de hierro (e.g., ferrihidrita) y manganeso (birnessita, vernadita). Asimismo, la presencia de algunos peaks en las muestras 827 y 815 podría ser consistente con la presencia de cianuros (e.g., cianuro de hierro), cianatos y tóxicanos.

Los difractogramas permiten tener una huella espectral de la mineralogía de las distintas muestras y proponer la presencia de fases minerales. Esta información complementa la información de composición química discutida anteriormente. Un análisis mineralógico cuantitativo detallado debería ser soportado con análisis cristalográficos especializados y escapa de las posibilidades, alcances y requerimientos de este trabajo.

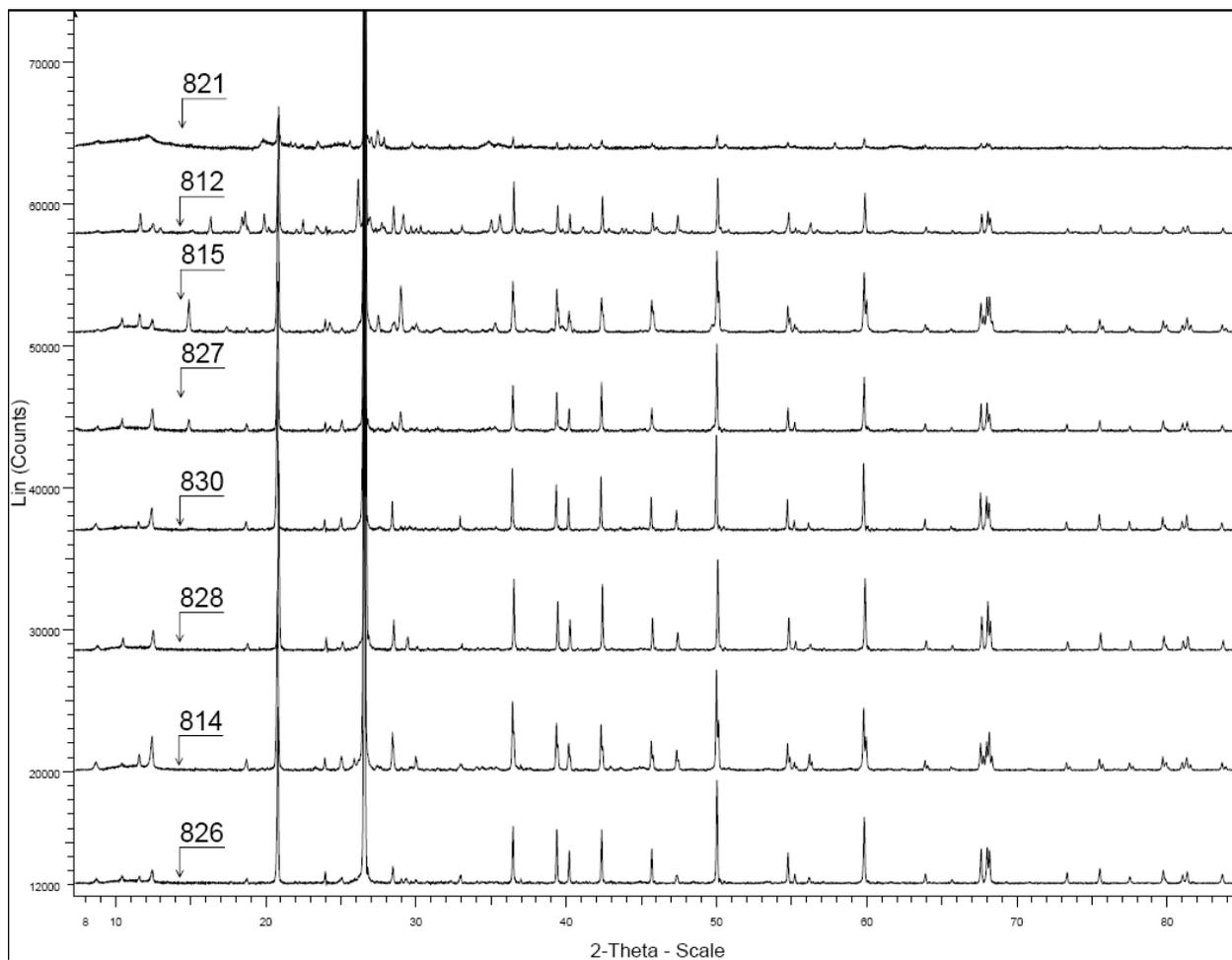


Figura 8. Patrones de difracción de rayos X de muestras pulverizadas de suelo natural (muestra 821), muestras de relave (827, 815, 830, 828, 814, y 826), y polvo superficial de la planta (muestra 812). Los patrones fueron medidos con un equipo Bruker D2 Phaser con ánodo de cobre, 30 kV, 10 mA, step size=0,01°, y 2theta de 3 a 90°. Las variaciones en los peaks del difractograma indican diferencias mineralógicas entre las muestras.

Tabla 10. Resultados de análisis de aguas seleccionadas en laboratorio acreditado. La muestra 829 corresponde al lugar donde se encuentra apozada el agua en el Estero Las Palmas. La muestra 831 corresponde al puente Botalcura en el estero Los Puercos.

Descripción	Valores referenciales		Muestras		
	Muestra Nº	Nch1333/1978	Afloramiento relave	Apozamiento Est. Las Palmas	Estero Los Puercos
809			829	831	
Foto	Nch1333/1978	NCh409/2005			
Plomo (mg/L)	5	0.05	0,012*	1.16	0.02
Zinc (mg/L)	2	3	0,114*	33.7	0.92
Hierro (mg/L)	5	0.3	4*	1.74	1.63
Cobre (mg/L)	0.2	2	0,034*	0.06	0.02
Manganeso (mg/L)	0.2	0.1	3,06*	2.53	1.26
Arsénico (mg/L)	0.1	0.01	<LOD	<0,006	<0,006
Mercurio (mg/L)	0.001	0.001	<LOD	<0,001	<0,001
Cianuro libre(mg/L)	0.2	0.05	0.59	<0,05	<0,05
Cianuro por destilación (mg/L)			1.78	no medido	no medido

Notas: * medido por TXRF; LOD: límite de detección

Tabla 11. Caracterización físicoquímica de muestras de aguas (pH, CE, O₂ medidos en terreno). Alcalinidad total medida en laboratorio por titulación.

Muestra	Nombre	pH	CE (μS/cm)	O ₂ (mg/L)	Alcalinidad total (mg CaCO ₃ /L)
829	Apozamiento Estero Las Palmas	7,2	1088	9,37	83,3
831	Estero Los Puercos	7,62	202,1	8,89	88,2

Los valores de pH son circumneutrales, con una baja conductividad para el Estero Los Puercos y niveles de oxígeno de saturación. La alcalinidad total es relativamente baja, lo que sugiere una baja capacidad de amortiguar el efecto de adiciones de ácidos, inducidos por procesos de oxidación de sulfuros, como los que pueden estar en el relave. La conductividad específica del Estero Las Palmas puede deberse a la adición de sulfatos por parte de la disolución de los relaves (posiblemente sulfatos) que entraron en contacto con el agua.

3.5 Evaluación preliminar de erosión del relave y transporte del contaminante a la red de drenaje

Se realizó una evaluación preliminar de las tasas de erosión en la condición actual del relave y posterior transporte del material erodado a la red de drenaje. Con este fin se realizó un muestreo en terreno tendiente a caracterizar las propiedades físicas y químicas del relave y su relación con el proceso de erosión. De las muestras identificadas en el inciso 3.2.3, se utilizaron 10 muestras provenientes del relave mismo, una del suelo utilizado como material de cobertura en la parte superior del tranque, y una proveniente de suelo nativo. Las muestras fueron sometidas a análisis de textura (arena, limo y arcilla), materia orgánica y densidad aparente en el Laboratorio de Servicios de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile (ver certificados en **Anexo 8**). Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 12. Salvo el caso de las muestras provenientes de los puntos 812, 815, 824 y 828, en todas las restantes fue posible obtener muestras con un nivel de agregación suficiente para determinar su densidad aparente en laboratorio.

Tabla 12. Análisis físico-químico del material de relave y suelo en el sector del tranque.

N° muestra	Arcilla <0,002 mm (%)	Limo 0,002-0,05 mm (%)	Arena 0,05-2,0 mm (%)	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	Clase textural USDA	Descripción
Relave							
812	30,1	39,3	30,6	2,49		Franco arcillosa	Polvo blanco camino entrada al tranque. Material desagregado.
814	8,1	49,3	42,6	2,39	1,37	Franca	Sustrato color gris.
815	8,1	47,3	44,6	0,80		Franca	Sustrato color amarillo.
818	10,1	57,3	32,6	0,67	1,08	Franco limosa	Sustrato superficial color amarillo con afloramientos color gris.
819	6,1	19,3	74,6	1,23	1,17	Franco arenosa	Sustrato parte superior del tranque. Tercer horizonte, color gris.
823	6,1	41,3	52,6	0,79	1,09	Franco arenosa	Sustrato color amarillo.
824	8,1	47,3	44,6	1,38		Franca	Sustrato de la zona cero del relave. Color café, estructura firme y granular.
827	18,1	81,3	0,6	2,15	1,09	Franco limosa	Sustrato color amarillo.
828	10,1	57,3	32,6	2,45		Franco limosa	Sustrato color amarillo frente a bodega. Polvoriento.
830	6,1	43,3	50,6	1,76	1,15	Franco arenosa	Relave mezclado al final del sitio afectado (alcantarilla).
Suelo							

División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

813	38,1	29,3	32,6	2,10	1,23	Franco arcillosa	Suelo empleado como cubierta del relave.
821	34,1	27,3	38,6	4,06	1,30	Franco arcillosa	Suelo natural antes (cerro arriba) del relave.

De acuerdo al análisis de laboratorio, las muestras de relave exhiben texturas del tipo franco, franco arcillosa y franco limosa. Como era de esperar en el relave, la cantidad de partículas con diámetro inferior a 0,002 mm (arcilla) es reducida, promediando un 11% en peso. En las muestras de suelo, el contenido de arcilla es del orden del 36%. Por otra parte, los contenidos de arena (0,05-2,0 mm) y limo (0,002-0,05 mm) en las muestras de relave son del orden de 41 y 48%, respectivamente. Un aspecto interesante del análisis de las muestras de relave es el contenido de materia orgánica, el cual en promedio es de 1,6%. No era esperable un nivel tan alto de materia orgánica en un sustrato de este tipo, pero desde el punto de vista de la erosión, es una condición deseable pues la materia orgánica contribuye a la estructura del sedimento y reduce las tasas de erosión. En lo que a densidad aparente respecta, el valor promedio en las muestras de relave fue de 1,16 g/cm³, valor muy cercano a los 1,27 g/cm³ que presentan los suelos en el sector.

Existen distintos métodos para estimar las tasas de erosión en terrenos abiertos. En base a la información disponible sobre la topografía, composición del relave y disponibilidad de registros de lluvia en el sector afectado, se seleccionó y empleo la versión Revisada de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE). El modelo RUSLE fue desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Renard, et al., 1997) y ha sido ampliamente utilizado en todo el mundo desde su publicación. Si bien la primera versión del modelo fue desarrollada para suelos agrícolas y forestales (USLE), la versión revisada (RUSLE) fue mejorada y modificada para estimar las tasas de erosión en sitios mineros, en construcción y en suelos degradados.

En RUSLE, la tasa de erosión de un sitio se estima como el producto de seis factores, los cuales se expresan numéricamente a través de la siguiente ecuación:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad [1]$$

donde A es la tasa de erosión promedio anual (t/ha·año); R es el factor de erosividad de la lluvia (MJ·mm/ha·h); K es el factor de erodabilidad del suelo (t·h/MJ·mm); L es el factor de longitud de la ladera (adimensional); S es el factor de la pendiente de la ladera (adimensional); C es el factor de cubierta vegetal (adimensional) y P es el factor de prácticas de conservación (adimensional). Si bien el modelo RUSLE fue originalmente propuesto para estimar la tasa de erosión promedio anual, es posible desagregar ese total a valores mensuales en función de la

distribución de precipitaciones (Figura 5). Esto se puede realizar gracias a la relación lineal que existe entre el factor de erosividad R y la tasa de erosión A.

Para el empleo de RUSLE se identificaron tres sectores en el sitio del relave. El primer sector correspondió al área no colapsada de la parte superior del tranque, donde todavía está presente el suelo de cobertura. El segundo sector correspondió al área colapsada que mira hacia el Estero Las Palmas. El tercer sector correspondió al área colapsada que se orienta hacia la Quebrada Los Ladrones. Cada sector se representó mediante un rectángulo, donde las propiedades del relave y la topografía se asumieron homogéneas. La Figura 9 muestra un diagrama con la disposición espacial y características de cada uno de los sectores y rectángulos empleados.

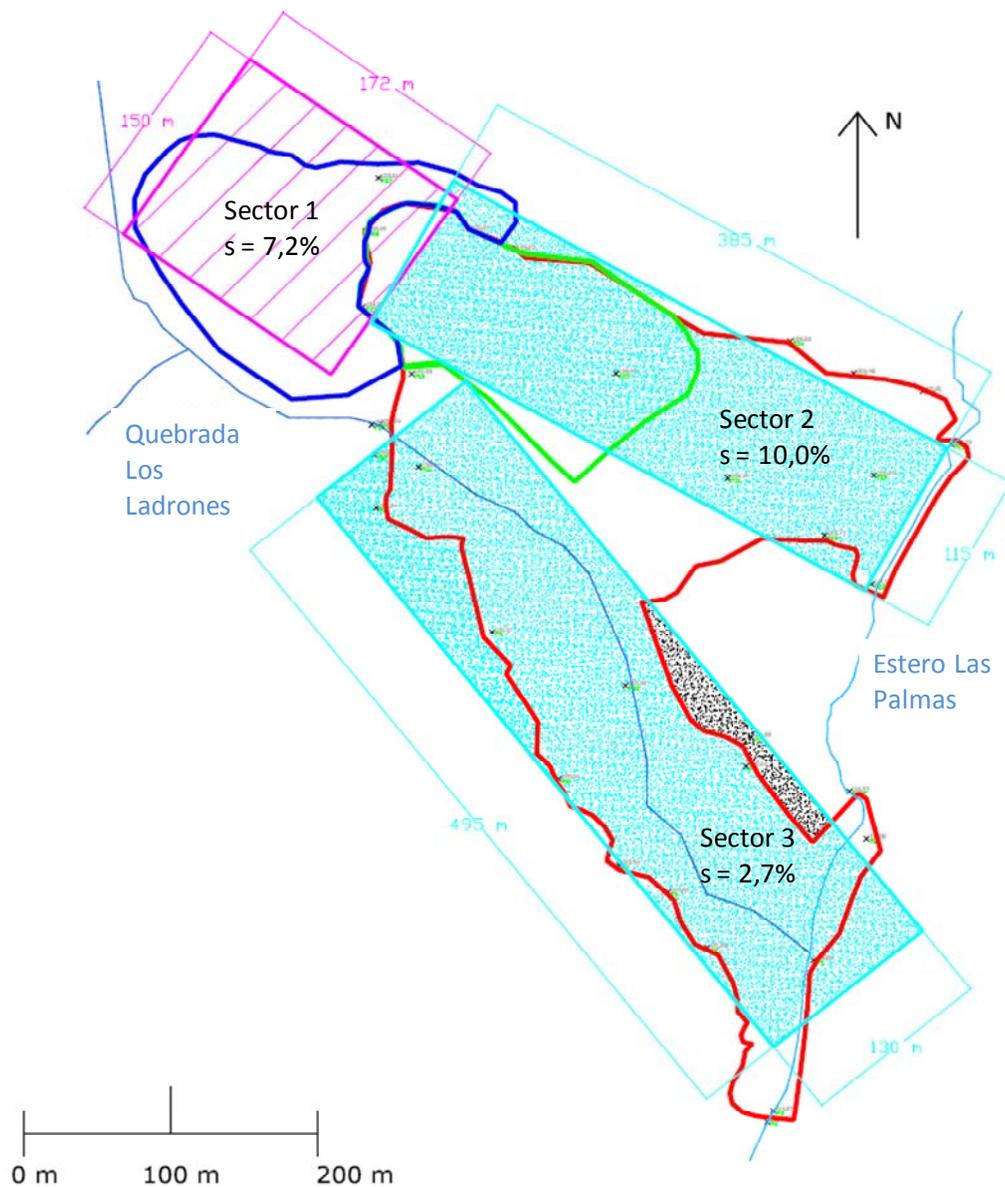


Figura 9. Disposición espacial y características de los sectores empleados en el cálculo de las tasas de erosión.
Para cada sector se indica su largo y ancho representativo (en metros) y la pendiente dominante s (%). Se identifican con colores distintos la parte superior del tranque aun no colapsado (sector 1) y el relave expuesto (sectores 2 y 3).

Los parámetros del modelo RUSLE se determinaron en base a información tomada en terreno y documentación previamente existente. El factor de erosividad de la lluvia R se calculó a partir de la precipitación media mensual y la relación de Renard y Freimund (1994) modificada por Bonilla et al. (2009). El factor de erodabilidad del suelo K se calculó mediante la relación propuesta por Wischmeier y Smith (1978). Los valores de K para los sectores 1, 2 y 3 fueron 0,017, 0,035 y 0,035 t·h/MJ·mm, respectivamente.

En el cálculo de los factores asociados a la topografía, es decir los factores de longitud L y pendiente S de ladera, se empleó la información presentada en la Figura 9 y las relaciones matemáticas propuestas por Renard et al. (1997). El producto de los factores L y S para los sectores 1, 2 y 3 fue 2,074, 5,211 y 0,790, respectivamente.

Los dos factores restantes del modelo (cobertura vegetal C y prácticas de conservación P), se asumieron iguales a 1. En el caso del factor C un valor igual a 1 corresponde a una condición de suelo desagregado y sin vegetación. En el caso del factor P un valor unitario indica la no implementación de prácticas de conservación de suelo. Como superficie expuesta a erosión se empleó 2,58 ha en el caso del sector 1; 4,43 ha en el sector 2 y 6,43 ha en el sector 3. El resultado de la estimación de la erosión se presenta en la Tabla 13 y en la Figura 10.

En base al tipo de superficie expuesta a erosión es posible distinguir dos condiciones. La primera condición corresponde al sector 1, donde aun está presente la cobertura de suelo en la superficie del tranque. La segunda condición corresponde al relave distribuido en los sectores 2 y 3. La desagregación del relave en los sectores 2 y 3 favorece la remoción y arrastre de material. Además, el relave de estos dos sectores poseen una carga de contaminantes mayor a la existente en el suelo del sector 1 (ver Tabla 9).

Las tasas de erosión calculadas para el sector 1 equivalen aproximadamente al 10% del valor estimado en los sectores 2 y 3. De acuerdo a esto, casi la totalidad del material arrastrado a los cursos de agua (aproximadamente un 90%) sería material de relave. Se estima que la producción anual de sedimento sería del orden de 220 t/año (200 toneladas de relave y 20 toneladas de suelo). A modo de comparación, un nivel aceptable de erosión en terrenos agrícolas puede ir de 2 a 12 t/ha·año. En el caso del tranque colapsado, los sectores 1 y 3 tendrían una erosión promedio del orden de 7 y 6 t/ha·año, respectivamente. Sin embargo, en el sector 2 la tasa de erosión sería del orden de 37 t/ha·año.

En términos de la distribución mensual de la erosión, en el mes de junio se podría generar la mayor producción de sedimento. En dicho mes los sectores 2 y 3 producirían en conjunto 60 t/ha, lo que sumado a las 6 t/ha provenientes del sector 1, explican al 30% de la erosión total anual. Mediante un análisis similar es posible determinar que en orden de magnitud le siguen los meses de julio y mayo, con un 24 y 17% de la erosión total anual, respectivamente.

En términos de volumen de material removido, y considerando las densidades aparentes indicadas en la Tabla 12 ($1,16 \text{ g/cm}^3$ para el relave y $1,23 \text{ g/cm}^3$ para el suelo), se estima que el volumen de material arrastrado sería igual a $189 \text{ m}^3/\text{año}$, de los cuales 173 m^3 corresponderían a relave y 16 m^3 a suelo de cobertura.

Tabla 13. Tasas de erosión mensual estimadas para el área afectada por el tranque de relave.

	Sector	Mes											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
A (t/ha)	1	0,010	0,017	0,077	0,321	1,292	2,220	1,766	0,996	0,516	0,130	0,052	0,024
	2	0,052	0,085	0,384	1,608	6,469	11,114	8,841	4,986	2,583	0,653	0,259	0,119
	3	0,008	0,013	0,058	0,244	0,980	1,684	1,339	0,755	0,391	0,099	0,039	0,018
A (t/sector)	1	0,027	0,044	0,198	0,829	3,333	5,727	4,556	2,569	1,331	0,337	0,133	0,061
	2	0,231	0,376	1,701	7,119	28,642	49,207	39,146	22,075	11,436	2,892	1,145	0,528
	3	0,051	0,083	0,374	1,568	6,307	10,835	8,620	4,861	2,518	0,637	0,252	0,116
	2+3	0,282	0,459	2,075	8,687	34,949	60,042	47,765	26,936	13,954	3,529	1,397	0,644
	Total	0,309	0,502	2,273	9,515	38,282	65,769	52,321	29,505	15,285	3,865	1,530	0,705

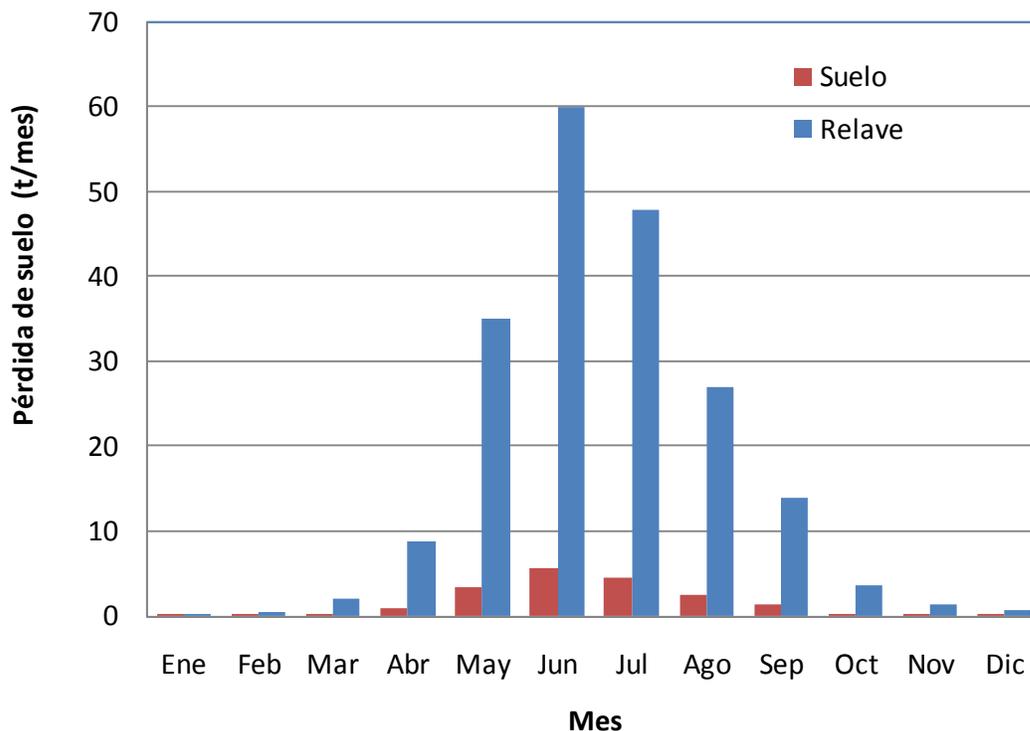


Figura 10. Estimación de la erosión en el área afectada por el colapso del tranque de relave.

En la elaboración de la Tabla 13 se emplearon los registros de lluvia media mensual indicados en la Tabla 3. De acuerdo esto, las estimaciones realizadas corresponden a valores de erosión esperados en promedio. Con el fin de tener una aproximación sobre lo que podrían llegar a ser las tasas de erosión bajo un escenario de precipitación mayor al año normal, se realizó un análisis de probabilidad sobre los registros de lluvia. Se ajustó un modelo log-normal a los valores mensuales registrados en la estación climatológica Penciahue, y se estimaron las precipitaciones mensuales con períodos de retorno de 5 a 100 años. Con estos valores se calcularon las tasas de erosión en el tranque de relave (Tabla 14). Como se puede observar en la Tabla 14, en un año promedio la cantidad de material removido (relave + suelo) sería del orden de 220 t/año, cifra que se incrementa a 371 t/año para un T=5. En una situación más extrema, ya sea T=50 o T=100, la remoción de material podría llegar a las 1.400 t/año y 1.900 t/año, respectivamente. Respecto a estas últimas estimaciones, es necesario considerar que en el caso de la ocurrencia de eventos de lluvia de gran magnitud, las propiedades de rugosidad y resistencia a la erosión (erodabilidad) de la superficie del relave pueden cambiar considerablemente. En la mayoría de los casos dichos cambios reducirían las tasas de erosión a causa de un aumento en la consolidación del material de superficie. De acuerdo a esto, los valores presentados en la Tabla 14 constituirían una estimación del tipo peor escenario.

Tabla 14. Estimación de las tasas de erosión en el tranque de relave para distintos períodos de retorno.

		Erosión (t/mes)												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Promedio		0	1	2	10	38	66	52	30	15	4	2	1	220
T	Prob. excedencia													
5	0,20	1	1	4	16	66	111	88	49	26	7	3	1	371
10	0,10	1	2	8	30	109	172	137	75	45	13	5	2	598
25	0,04	2	4	17	58	185	273	218	116	78	27	11	5	994
50	0,02	4	8	29	88	262	371	296	155	112	43	18	8	1.393
100	0,01	6	13	45	129	359	488	390	202	155	65	28	13	1.894

Respecto al destino final del material erodado y su distribución a través de la red de drenaje, es necesario indicar que los valores presentados en la Tabla 14 corresponden a la cantidad de material arrastrado desde el relave al curso de agua más cercano. No obstante lo anterior, y en forma preliminar, es posible indicar que dada la composición granulométrica del relave descrita en la Tabla 12 (50% limo y 10% arcilla), un 60% del material erodado exhibe un alto potencial de ser arrastrado en la red de drenaje. Las partículas con diámetros en la categoría de limo (0,002-0,05 mm) podrían desplazarse y alcanzar el Estero Los Puercos. En el caso de las arcillas (< 0,002 mm), éstas podrían ser arrastradas inclusive más allá, o definitivamente no sedimentar en la red de drenaje. El 40% restante, correspondiente partículas con el tamaño de la arena (0,05-2,0 mm), podría ser atrapadas en el lecho del Estero Las Palmas y su transporte aguas abajo ocurriría sólo en el caso de eventos de crecidas y arrastre de fondo.

3.6 Potencial de liberación de contaminantes del relave en matriz acuosa

Se realizaron dos experiencias para estimar el comportamiento y liberación de contaminantes del relave frente a condiciones de lluvia-escorrentía. La primera tiene que ver con un comportamiento más pasivo de liberación de contaminantes por procesos de disolución y desorción, mientras que la segunda tiene que ver con un proceso oxidativo de los sulfuros y la posible neutralización del ácido generado por parte de minerales presentes.

Experiencia 1- Elución de sólidos en columna

Elución es la extracción de una sustancia absorbida desde un lecho poroso (en este caso relave), al cual se le hace circular agua (un disolvente). Se espera que el agua pase completamente por el relave, lo que puede durar desde 8 a 48 horas, según las propiedades de capilaridad y % humedad del suelo. El agua eluida se espera que contenga algún tipo de contaminante, estos volúmenes de agua (volúmenes eluidos) son analizados por TXRF y por laboratorio certificado (en **Anexo 8**, Certificado 883041).

Se dispuso 200g de relave en una columna y se eluyó con 250 mL de solución que simula el escurrimiento (0,1 M NaNO₃, CE= 7,65 mS/cm pH=7,00±0,05). Se usó esta composición para favorecer elución de especies lábiles débilmente sorbidas a las superficies minerales, al mismo tiempo que lograr una disolución de sales. La carga hidráulica de la columna fue cercana a los 10 cm, usando un volumen de eluyente de 400mL, y obteniendo volúmenes eluidos desde 280 a 320 mL, tal como se indica en la Tabla 15. Se seleccionan las muestras 821 y 812 como líneas bases comparativas de la situación sin derrame de relave, y muestras de relave representativas tanto espacial como químicamente (813, 814, 815 y 830). Se observa un aumento de la conductividad (proceso disolución), una acidificación a pH<5, y la aparición de cianuro en el volumen eluido para dos muestras de relave (814 y 815). La última columna de la Tabla indica los elementos eluidos por TXRF (no incluye elementos livianos como Na, Mg, etc.). Se observa que el Zn es una de las especies más susceptibles a ser eluidas, lo que es consistente con encontrar alto Zn (30 mg/L) en el agua apozada en contacto con relave en el Estero Las Palmas.

División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

Tabla 15. Resultados del experimento de elución de sólidos en columna. Se observa un aumento de la conductividad (proceso disolución), una acidificación a $\text{pH} < 5$, y la aparición de cianuro en el volumen eluido para dos muestras de relave. La última columna indica los elementos eluidos por TXRF (no incluye elementos livianos como Na, Mg, etc.). Se observa que el Zn es una de las especies más susceptibles a ser eluidas, lo que es consistente con encontrar alto Zn (30 mg/L) en el agua apozada en contacto con relave en el Estero Las Palmas.

Muestra		Espesor sólido en columna (cm)	Masa sólido (g)	Volumen eluyente (mL)	Volumen eluido (mL)	pH eluido	CE eluido (mS/cm)	Cianuro destilado (mg/L)	Elementos eluidos por TXRF
821	Suelo original	12	200	400	280	4,94	8,04	<0,05	K, Ca, Ti, Mn, Sr
813	Relave	9,9	200	400	320	4,78	8,22	<0,05	Ca, Zn, K, S, Mn, Sr
814		9,5	200	400	325	4,72	10,32	0,0633	Zn, Ca, S, Mn, Fe, K, Pb
815		9,5	200	400	320	3,85	9,61	0,0604	Zn, S, Ca, Mn, Cu
830		8,5	200	400	325	4,22	10,48	<0,05	Zn, S, Ca, Cu, Mn, Pb, Fe
812	Polvo Planta Industrial	6,7	200	400	280	4,9	4,74	<0,05	Zn, S, Mn, Ca, Cu, Fe

La comparación de los elementos eluidos (columna de la derecha en Tabla 15) muestra claramente los distintos comportamientos del suelo natural y del relave frente al contacto con el agua. El relave libera cantidades importantes de zinc y azufre, y en menor cantidad de cobre y plomo. El suelo original presenta una baja disolución de sales (leve alza de la conductividad), y preferentemente la incorporación de especies inocuas como Ca y K.

Experiencia 2- Evaluación de potencial de oxidación y acidificación por pruebas estáticas

Se evaluó la *capacidad neta de generación de ácido (NAG)* por el método de Miller (Miller, S.D., A. Robertson, and T.A. Donohue. , 1997, Advances in acid drainage prediction using the Net Acid Generation (NAG) test. IN: Proceedings of the Fourth International Conference on Acid Rock Drainage, Vancouver, Canada, May 31 - June 6). El test estático de Miller consiste en la adición de 250 ml al 15% de H_2O_2 a 2.5 g de muestra pulverizada (tamiz bajo 75 μm). La muestra se deja reaccionar durante la noche. Luego, la muestra es calentada hasta que empiece a agitarse y burbujear por 1-2 horas para remover el exceso de H_2O_2 y promover la liberación de una inherente capacidad de neutralización. Una vez que la muestra se ha enfriado a temperatura ambiente, se mide el pH y la acidez titulada a 4.5 y 7 (en kg de H_2SO_4 /t de muestra) de la solución. Un pH NAG bajo 4.5 indica que la muestra está produciendo ácido. Un aumento de la temperatura es comúnmente observado en pruebas NAG de muestras con sulfuros como resultado de la descomposición catalítica del peróxido como ion metálico liberado durante la oxidación de sulfuros. La descomposición completa del peróxido puede ocurrir antes de que todos los reactivos de sulfuro se hayan oxidado. Por esta razón, la simple adición de la prueba NAG puede no tomar en cuenta el potencial total de ácido de una determinada muestra.

La Tabla 16 presenta los resultados de esta experiencia, encontrándose que todos los relaves tienen una capacidad neta de formar drenaje ácido, característica que no tiene el suelo original. Como se mencionó anteriormente en la descripción del método Miller, el pH NAG entrega el pH final de la muestra luego de un proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno, que oxida los sulfuros. Si este pH es inferior a 4,5 y al pH de la pasta entonces el sólido tiene capacidad neta de producir ácido. En este caso la muestra 821 es la única que no genera ácido. Se recomienda realizar pruebas dinámicas en columnas para evaluar mejor esta característica. Las pruebas dinámicas o cinemáticas permiten mejorar la prueba NAG ya que se monitorean permanentemente en forma continua el pH y la temperatura durante la reacción NAG (Miller et al., 1997). Perfiles de pH y temperatura proveen de una indicación de la cinética (velocidad) de la reacción de oxidación de sulfuros y producción de ácido durante la prueba NAG.

Tabla 16. Resultados de la evaluación de capacidad neta de generación de ácido NAG. El pH NAG entrega el pH final de la muestra luego de un proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno, que oxida los sulfuros. Si este pH es inferior a 4,5 y al pH de la pasta entonces el sólido tiene capacidad neta de producir ácido. En este caso la muestra 821 es la única que no genera ácido

Muestra		Tipo	pH pasta	pH NAG	NAG (kg H ₂ SO ₄ /ton)
821		Suelo original	5,64	4,54	-
814		Relave	4,95	2,73	6,9
815			3,69	3,4	0,6
827			3,91	3,04	2,3

Sobre la base de las experiencias anteriores y las características de los relaves derramados se puede prever los siguientes efectos:

- Contaminación de sedimentos de la red de drenaje: la erosión de los relaves inducirá la incorporación de partículas a la corriente de agua, que serán transportadas y depositadas en condiciones morfológicas favorables. Los escenarios de depositación dependerán de los eventos de lluvia y viento, que son variables y discretos, por lo que se espera enriquecimientos preferenciales de contaminantes en lugares donde exista ensanches y aguas tranquilas que favorezcan la sedimentación. Si esta acumulación se produce bajo condiciones anóxicas es probable que los sulfuros sean oxidados generando ácido que será neutralizado dependiendo de los aportes de alcalinidad al

División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

agua. Las mediciones disponibles indican una alcalinidad baja (ver Tabla 11). La oxidación de sulfuros liberará Pb, Zn y otros metales asociados al sulfuro hacia la columna de agua.

- Incremento de la concentración de contaminantes disueltos y/o en forma coloidal en la columna de agua: las experiencias de columnas sugieren que una fracción del material sólido será removida por el agua ya sea como material disuelto (sulfatos, sodio) o como coloides (óxidos de hierro y manganeso). El material coloidal es generalmente muy afín a contaminantes como plomo, zinc, y cobre.
- Aumento de la turbidez en la columna de agua: esto se pudo observar en las zonas quietas en contacto con el relave derramado y se considera de probable ocurrencia.
- Contaminación de las aguas subterráneas por sustancias disueltas desde el relave y por coloides de hierro y manganeso de escala micrométrica que no quedan retenidos por la matriz porosa de suelo.

3.7 Riesgos potenciales de los contaminantes liberados

La evaluación preliminar presentada en este informe describe la extensión y naturaleza de los contaminantes detectados a través de muestreo guiado realizado en terreno y análisis de laboratorio. Asimismo, se identifica potenciales formas de movilización de estos contaminantes hacia medios acuáticos receptores: (i) la columna de agua y sedimentos del Estero Las Palmas, desde donde se puede distribuir por la red de drenaje hacia aguas abajo, (ii) las aguas subterráneas recargadas por aguas que entran en contacto con el relave expuesto en el derrumbe y las aguas subterráneas eventualmente recargadas desde el Estero Las Palmas.

Para evaluar cuantitativamente los efectos negativos de la contaminación sobre la población humana y los ecosistemas impactados es necesario realizar un análisis de riesgo ambiental. El análisis de riesgo ambiental permite luego tomar decisiones como la tecnología de remediación y estrategia de manejo de la contaminación (Bashkin V. (2006)). Por ejemplo, el análisis de riesgo ambiental permite definir tecnologías que sean adecuadas para llevar el riesgo a un nivel aceptable.

Dos conceptos clave para el análisis de riesgo ambiental son las rutas de exposición y la biodisponibilidad.

- a) Las rutas de exposición tienen que ver con el camino que sigue el compuesto tóxico para llegar desde el lugar original de contaminación hasta el receptor ambiental (personas, ecosistemas). La Figura 11 sintetiza las rutas genéricas de exposición de las personas a contaminantes contenidos en suelos y sedimentos contaminados. Para el caso de los relaves del Tranque Las Palmas, es necesario agregar la erosión e incorporación a las aguas corrientes y posterior ingestión como ruta de exposición. En consecuencia, es importante constatar si existen o no fuentes de agua potable que se alimenten de aguas superficiales o subterráneas aguas abajo del sitio contaminado. El riesgo a la salud derivado del sitio contaminado dependerá de la existencia de esta ruta de exposición. Cabe hacer notar que otra ruta de exposición que eventualmente puede ser de interés es la resuspensión de material fino proveniente del relave y su transporte para inmisión a través de inhalación. Se considera que esto no será relevante durante la época más húmeda del año, pero se recomienda el uso de mascarillas al personal que trabaje en el sitio.

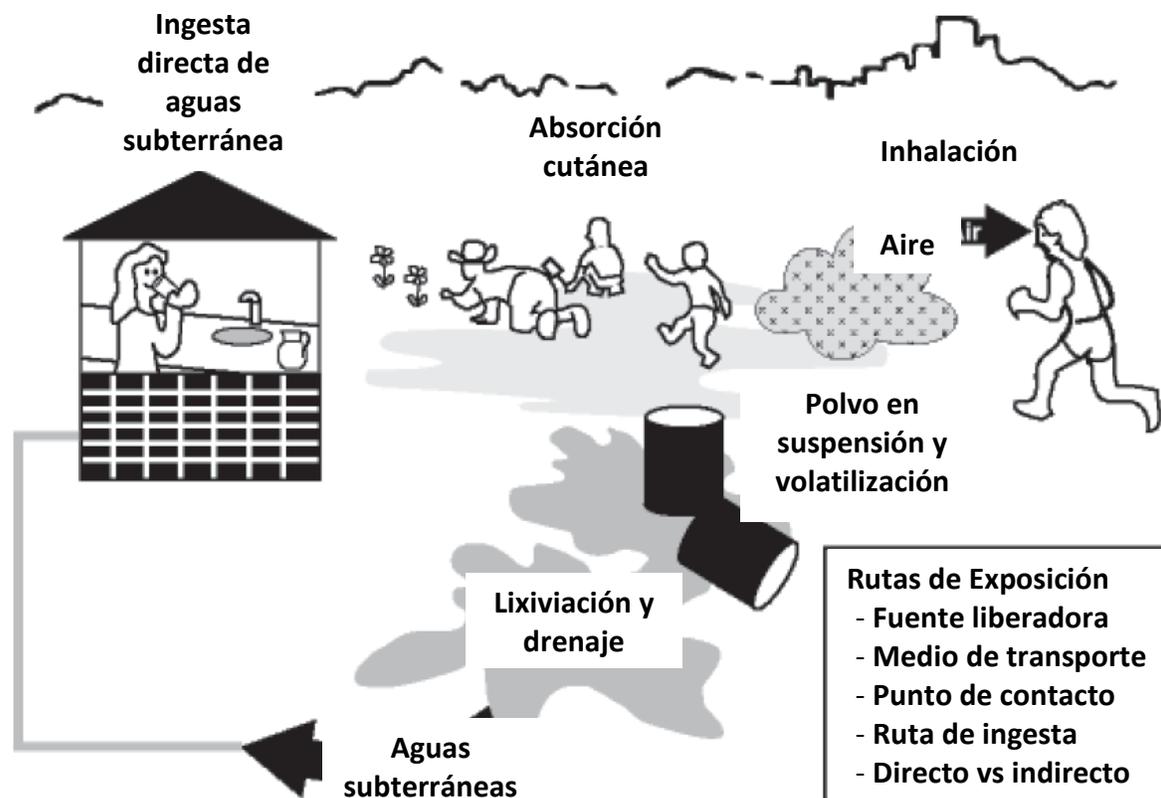


FIGURE 2-1 Major Exposure Pathways for Human Exposure to Contaminated Soils and Sediments. SOURCE: EPA Region 9 Preliminary Remediation Goals website (www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg).

Figura 11. Formas y vías de mayor exposición de los humanos a suelos y sedimentos contaminados.

Fuente: National Research Council (2003). Bioavailability of Contaminants in Soils and Sediments: Processes, Tools, and Applications. The National Academies Press. EE.UU.

- b) Bio-disponibilidad: este término se refiere a la capacidad de un contaminante de interactuar con un organismo vivo. Esto depende de la forma química en que se encuentre el contaminante, de modo que un contaminante que está disuelto en su forma iónica está mucho más biodisponible que un contaminante que está sorbido sobre una superficie sólida. Por ejemplo, el Pb asociado a óxidos de hierro puede estar mucho menos biodisponible que el Zn disuelto desde el relave. La Figura 12 muestra que para que un contaminante tenga un efecto sobre un sitio de acción tiene que ser capaz de

ingresar a través de la membrana del organismo. Así, un contaminante sorbido sobre óxidos de hierro no pasa a través de la membrana del microorganismo. Sin embargo, para el caso de la ingesta humana de agua contaminada con partículas que contienen plomo, las condiciones imperantes en el organismo humano son capaces de cambiar la especiación química del plomo y convertirlo en la especie iónica tóxica. Lo mismo sucede con el cianuro que se encuentra asociado a hierro, que aparece en las mediciones de cianuro total (destilado) y no en las mediciones de cianuro libre. Dada la afinidad del hierro por el cianuro, el efecto tóxico de este complejo se puede considerar mucho menor que cuando el cianuro se encuentra libre (sin hierro). No obstante lo anterior, la exposición a radiación solar puede provocar que el hierro se disocie del cianuro, llevando nuevamente a predominar la forma libre y tóxica de cianuro (Johnson CA et al., 2002). En consecuencia, para aguas subterráneas (sin luz solar) se esperaría menor toxicidad por la formación del complejo, mientras que en aguas expuestas a la luz se esperaría mayor presencia de la forma tóxica.

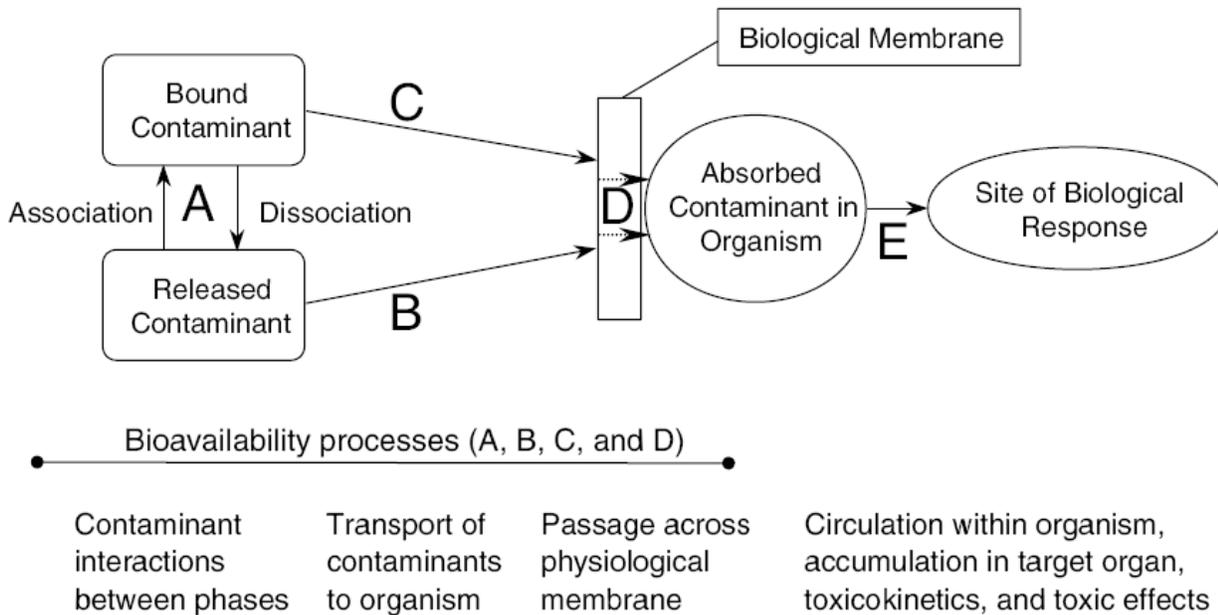


FIGURE 1-1 Bioavailability processes in soil or sediment. Note that A, B, and C can occur internal to an organism such as in the lumen of the gut.

Figura 12. Biodisponibilidad de procesos en suelo y sedimento.

Fuente: National Research Council (2003). *Bioavailability of Contaminants in Soils and Sediments: Processes, Tools, and Applications*. The National Academies Press. EE.UU.

A continuación se presenta un breve resumen de los efectos sobre la salud humana de los contaminantes presentes en este sitio contaminado.

Según la OMS, los problemas más significativos ocurren cuando los contaminantes químicos se dispersan-mobilizan y su presencia en el cuerpo de agua es desconocida. Esto provoca efectos en el largo plazo en la salud de las personas que consumen el agua (enfermedades crónicas: bajas dosis por largo tiempo), lo cual dificulta la identificación y posterior remediación de las fuentes de contaminación. En el caso del tranque de relave en particular se sabe cuál es la fuente de contaminación. Sin embargo, se podría dar una situación similar, ya que el arrastre de contaminantes hacia fuentes de consumo de agua humanos podría ser de bajas dosis (por la dilución de los caudales invernales), pero en forma permanente en el tiempo, si no se ejecutan las debidas obras de control y mitigación del problema.

Los contaminantes de mayor relevancia encontrados en el material de relave son plomo, cianuro, cinc, cobre, hierro y manganeso. A continuación se presentan los límites (umbrales) recomendados por la OMS para evitar riesgos para la salud de las personas considerando el consumo de agua potable durante toda la vida (TDI: Tolerable Dayly Intake) y los valores de la norma chilena de agua potable (NCh409/2005).

Tabla 17. Valores guía de concentración de contaminantes para consumo de agua. (WHO, 1993)-(JECFA, 1982)-(NCh409/2005).

Contaminante	Valor Guía (mg/L) OMS	NCh409/2005
Plomo	0.01	0.05
Cianuro	0.07	0.05
Zinc	3	3
Cobre	2	2
Hierro	-	-
Manganeso	0.4	0.1
Cadmio	0.006	0.01
Arsénico	0.01	0.01
Cromo	0.05	0.05

Plomo

El plomo es un metal muy tóxico, sobre todo en los niños, ya que la transferencia a través de la placenta se lleva a cabo en la semana 12 de gestación y la capacidad de absorción de plomo de los niños pequeños es 4 a 5 veces superior a la de los adultos. Estudios auspiciados por OMS señalan que un 13% de los casos de retraso mental en la infancia pueden ser atribuidos a contaminación por plomo (neurotóxico). Se han descrito malformaciones vertebrales, cardiacas, renales y en extremidades de recién nacidos. La encefalopatía plúmbica se relaciona con altos

niveles de plomo (> 0.8 mg/L), el deterioro cognitivo con 0.5 mg/L, la neuropatía (riñón) con 0.4 mg/L, e incluso niveles más bajos se han correlacionado con anemias (0.1 mg/L).

En personas adultas, el plomo puede aumentar la presión sanguínea y causar infertilidad, trastornos nerviosos, irritabilidad y afectar capacidades de concentración y memoria.

El plomo puede ser ingerido por el aparato digestivo e inhalado a través del sistema respiratorio, posteriormente circula en la sangre unidos a los glóbulos rojos y se distribuye a tejidos de distintos órganos donde puede permanecer inmóvil por muchos años. Usualmente se acumula en los huesos. Es por esto, que la intoxicación por plomo más frecuente es la crónica (aunque se puede dar una intoxicación aguda a grandes concentraciones).

El IARC (Agencia internacional de investigación del cáncer) clasificó al plomo y a los compuestos inorgánicos de plomo en el Grupo 2B, es decir, como compuesto químico que puede causar cáncer en los humanos. Por otra parte, el JECFA (comité de expertos en aditivos alimentarios de la FAO/OMS) estableció un valor tolerable de ingesta de plomo de 3.5 ug/kg por masa corporal al día, por lo que para un niño de 5 kg que consume 0.75 L de agua al día, el límite de la concentración de agua para consumo en función de los riesgos de la salud, sería de 0.01 mg/L.

Cianuro

La toxicidad del cianuro es muy alta. Puede tener efectos en la tiroides y en el sistema nervioso central como consecuencia de consumos de largo plazo. Los efectos toxicológicos del cianuro han sido probados en cerdos y ratas, efectos que pueden ser extrapolados a humanos obteniendo un TDI de 12 ug/kg por masa corporal y un valor guía para proteger efectos en el consumo a largo plazo de 0.07 mg/L (WHO, 1993).

Cinc

El cinc es considerado parte de la dieta esencial, con un requerimiento diario para un adulto entre 15 a 20 mg por día. El JECFA propuso en 1982 un límite de tolerancia de la ingesta diaria de cinc de 1 mg/kg por peso corporal. La OMS no tiene un valor guía para el cinc en la concentración para consumo de agua potable, sin embargo, recomienda que no deba excederse de 3 mg/L.

Cobre

El cobre es un elemento esencial y su ingesta es de 1 a 3 mg por día. Irritaciones gástricas pueden observarse con consumos de agua sobre los 3 mg/L. En adultos, una ingestión de largo plazo de cobre puede causar daños hepáticos irreparables y cirrosis. El JECFA propuso un límite máximo tolerable de 0.5 mg/kg por peso corporal basado en un estudio en perros. La OMS propone un valor guía de 2 mg/L.

Hierro

El hierro es esencial para la nutrición humana (10-50 mg/día) y es el metal más abundante en la corteza terrestre. Se puede encontrar en aguas naturales en niveles entre los 0.5 y 50 mg/L. Como medida precautoria el JEFCA estableció un nivel máximo tolerable de 0.8 mg/kg por peso corporal. Se puede establecer un límite recomendado de 2 mg/L, pero no es valor que represente algún tipo de riesgo para la salud.

3.8 Referencias

American Public Health Association, W. E. F., American Water Works Association. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater (20 ed.)*. New York.

Anfruns J. (1986) Tecnología de vanguardia para la recuperación IV Simposio Internacional de Oro.

Bashkin V. (2006). *Modern Biogeochemistry: Second Edition- Environmental Risk Assessment*. Springer. Netherlands.

Bonilla, C.A., K. Vidal y C. Huincache. 2009. Rainfall erosivity map for south-central Chile. American Society of Agronomy (ASA), Crop Science Society of America (CSSA), and Soil Science Society of America (SSSA) Int. Annual Meeting. Nov 1-5, 2009. Pittsburgh, PA.

Chow, V.T., D.R. Maidment y L.W. Mays. 1999. *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill Interamericana, S.A. Santafé de Bogotá, Colombia, 1994.

Johnson CA, Leinz RW, Grimes DJ (2002). Photochemical changes in cyanide speciation in drainage from a precious metal ore heap. *ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY*, 36, 5, 840-845

Johnson CA, Grimes DJ, Leinz RW (2008). Cyanide speciation at four gold leach operations undergoing remediation *ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY* 42 4 1038-1044

National Research Council (2003). *Bioavailability of Contaminants in Soils and Sediments: Processes, Tools, and Applications*. The National Academies Press. EE.UU.

Normas oficiales chilenas:

NCh409/1 Of.2005: Agua Potable – Parte 1 - Requisitos

NCh411/2 Of. 96: Calidad del agua-Muestreo-. Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo continentales superficiales.

NCh411/3 Of. 96: Calidad del agua -Muestreo - Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.

NCh2313/10 Of. 96, DS N°879 de 1996 del MOP: Aguas residuales - Métodos de análisis - Parte 10: Determinación de metales pesados - Método de espectrofotometría de absorción atómica con llama

NCh2313/14 Of. 97, DS N°949 de 1997 del MOP: Aguas residuales - Métodos de análisis - Parte 14: Determinación de cianuro total

NCh2313/17 Of. 97, DS N°1144 de 1997 del MOP: Aguas residuales - Métodos de análisis - Parte 17: Determinación de sulfuro total

Millan A. (2001) Historia de los Yacimientos Auríferos de Chile. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.

Ministerio de Obras Públicas. 2001. Manual de carreteras, Volumen 2. Procedimientos de estudios viales. Santiago, Chile.

Pizarro, R., D. Aravena, K. Macaya, A. Abarza, M. Cornejo, M. Labra, M. Pavés y L. Román. 2007. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para la zona centro sur de Chile. Programa Hidrológico Internacional, Editorial Universidad de Talca, Chile.

Provoost, J., Cornelis, C., & Swartjes, F. (2006). Comparison of soil clean-up standards for trace elements between countries: Why do they differ? *Journal of Soils and Sediments*, 6(3), 173-181.

Renard, K.G. y J.R. Freimund. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology* 157:287-306.

Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook No. 703.

Ruiz y Peebles (1988) Geología, distribución, y génesis de los yacimientos metalíferos chilenos. Fondecyt, Santiago, Chile.

WHO (1993). Guidelines for Drinking-Water Quality, 2nd edition. Chemical Aspects. ISBN 92 4 154460.

Wischmeier, W.H. y D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. 59 p. Agriculture Handbook N°537. U.S. Department of Agriculture. Washington D.C., USA.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La campaña a terreno permite concluir que el colapso parcial del tranque de relaves de la mina Las Palmas ha alterado la morfología local, esparciendo estos relaves en una zona de alrededor de 11 ha con una profundidad promedio de aproximadamente 2 m, obstruyendo también la red de drenaje local. Este relave corresponde a la minería del oro, con un importante potencial de liberar especies químicas tóxicas al medio ambiente.

Los análisis físicoquímicos de muestras de suelo demuestran que:

- Tanto el relave como el suelo natural contienen hierro, lo que es consistente con la geología del lugar.
- El relave contiene concentraciones altas de plomo, cobre y cinc.
- No se observa presencia de mercurio.
- No se detectaron concentraciones relevantes de arsénico.

Los análisis físicoquímicos de muestras de agua demuestran que:

- Las aguas estancadas producto de la obstrucción de los cauces presentan altas concentraciones de cinc y manganeso.
- Aguas de un afloramiento desde el tranque de relave tiene concentraciones de cianuro altas.
- El agua del estero Los Puercos en el puente Botalcura no presentaba señales de contaminación cuando se realizó el muestreo. Se recomienda que este lugar sea un punto de control para determinar contaminación una vez que haya precipitaciones.

La evaluación de la erosión del relave y transporte de contaminantes a la red de drenaje producto de las precipitaciones demostró que la producción de sedimentos corresponde a aproximadamente 189 m³/año de relaves. Un 30% de esta producción ocurre durante el mes de junio.

El potencial de liberación de contaminantes del relave a la matriz acuosa se realizó mediante i) elución de sólidos en columna y ii) evaluación del potencial de acidificación por pruebas estáticas. Con estos datos y los de calidad química del relave, se puede prever efectos en: i) contaminación de sedimentos en red de drenaje (principalmente cobre, cinc, plomo), ii) incremento de la concentración de contaminantes disueltos (principalmente azufre y cinc y en menor medida plomo y cobre), iii) aumento de sólidos suspendidos, y iv) contaminación de aguas subterráneas por sustancias disueltas desde el relave producto del drenaje ácido.

En base a los antecedentes recolectados y a la situación actual del Tranque de Relaves de la Mina Las Palmas, se pueden hacer las siguientes recomendaciones destinadas a prevenir mayor contaminación y evaluar la situación de los cuerpos de agua:

- a) Evitar que el relave colapsado sea transportado por el agua de la Quebrada Los Ladrones y de Estero Las Palmas. Para esto se debe despejar estos cauces en el más breve plazo o construir un by-pass, para evitar que el caudal producto de las precipitaciones arrastre el material que quedó obstruyendo los cauces.
- b) Evitar el ingreso de agua al relave. Debido al potencial de liberación de contaminantes y de drenaje ácido es necesario prevenir el ingreso de agua al relave expuesto. Se requiere evaluar la posibilidad de confinar en un área menor el relave colapsado y cubrirlo con un material tipo geomembrana. Esto también evitaría la erosión del relave y su posterior incorporación a cuerpos de agua.
- c) Implementar plan de monitoreo en la zona y determinación de cambios en la calidad del agua. Un lugar adecuado para esto es el Estero Los Puercos en el puente Botalcura. Asimismo se debiera considerar tener muestras de un lugar inmediatamente aguas abajo de la confluencia de la Quebrada Los Ladrones y del Estero Las Palmas. Los parámetros a medir recomendados son: plomo (total y disuelto), cinc (total y disuelto), hierro (total y disuelto), cobre (total y disuelto), manganeso (total y disuelto), cianuro, y SST.
- d) Evaluar necesidad de remediación de suelos. Basado en análisis más detallados se deberá evaluar la necesidad de realizar una remediación de los suelos involucrados. La concentración de plomo en el relave es tal que, para normativas internacionales, se considera que debiera realizarse un plan de remediación. Si se requiere remediación, existen alternativas como la fijación química in-situ utilizando oxifosfato de calcio ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). También se ha recomendado apatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_5(\text{OH})_2$) aunque su efectividad depende de la concentración de fosfato disuelto y el rango de pH.

Anexos

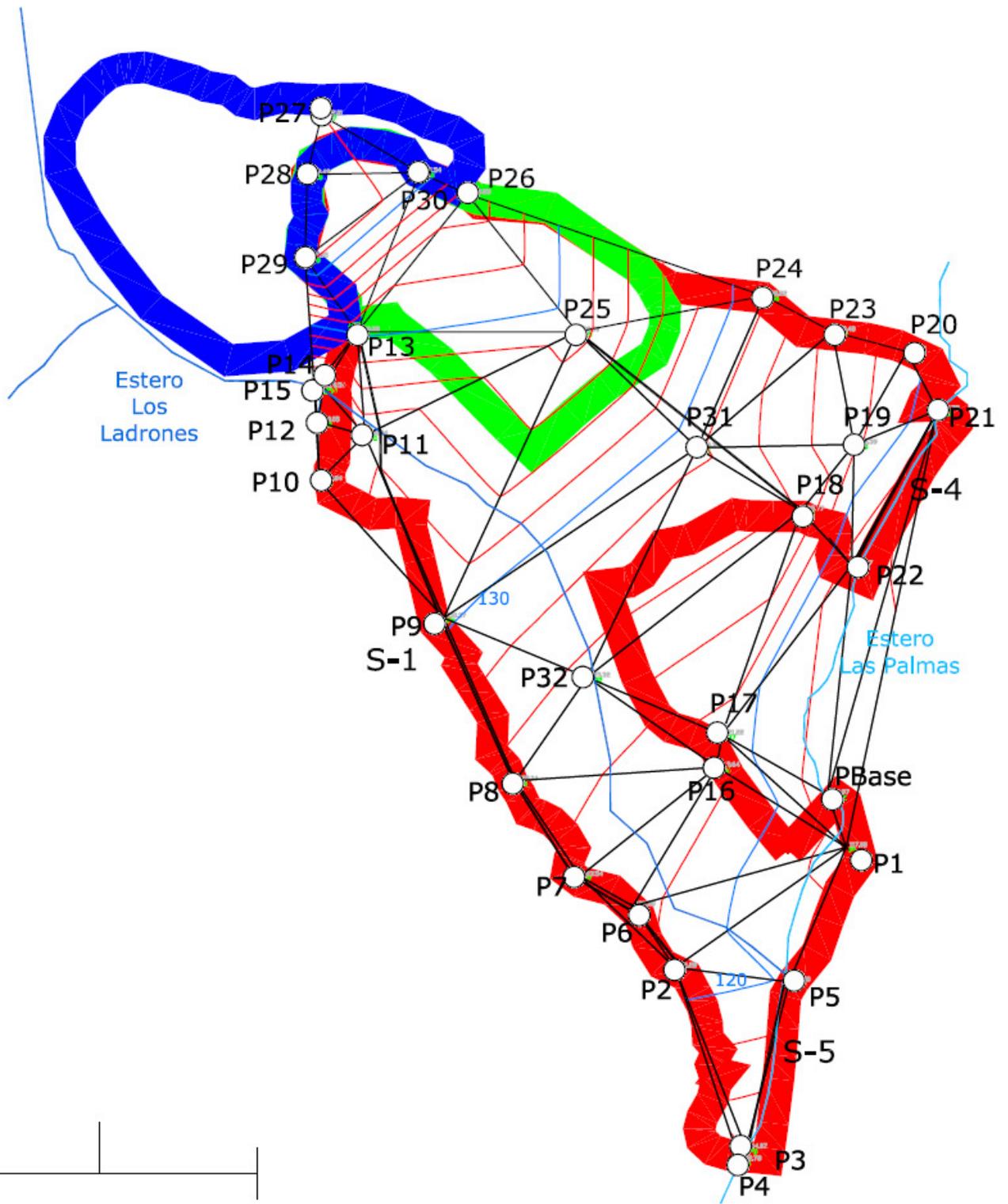
Anexo 1: Coordenadas GPS diferencial TOPCON – Estimación curvas de nivel.

Projection: UTMSouth-Zone_19 : 72W to 66W

Geoid: EGM96

Datum: WGS-84

Nombre	Norte proyección (m)	Este proyección (m)	Elevación (m)
BASE	6102630.27	248990.83	116.97
P1	6102596.77	249002.44	117.08
P2	6102520.37	248894.20	121.28
P3	6102405.55	248939.16	114.07
P4	6102397.82	248935.05	112.78
P5	6102511.33	248966.37	119.80
P6	6102559.34	248867.53	122.80
P7	6102578.34	248834.04	123.54
P8	6102638.95	248793.29	125.04
P9	6102742.22	248747.77	130.37
P10	6102829.32	248669.03	132.84
P11	6102858.18	248697.94	132.34
P12	6102866.71	248668.09	130.05
P13	6102923.77	248693.08	140.38
P14	6102888.54	248671.66	130.54
P15	6102887.80	248665.92	127.71
P16	6102647.63	248920.56	122.64
P17	6102668.17	248923.95	121.22
P18	6102810.13	248973.93	125.77
P19	6102852.42	249007.52	122.39
P20	6102911.41	249040.83	121.01
P21	6102873.94	249060.26	118.78
P22	6102775.70	249005.94	117.07
P23	6102924.03	248993.77	123.48
P24	6102946.64	248950.45	128.22
P25	6102923.90	248832.06	138.90
P26	6103011.17	248762.82	145.23
P27	6103061.27	248670.55	152.01
P28	6103023.72	248661.41	152.49
P29	6102970.87	248660.06	152.95
P30	6103024.94	248732.58	151.54
P31	6102850.24	248908.05	128.39
P32	6102704.55	248838.54	125.32



Anexo 2: Fotografías de cauces obstruidos: Visita a terreno Minera Las Palmas 12-03-2010

Puntos GPS en Imagen satelital Google Earth



Sector Obstrucción 1 (ver Figura 3)

Coordenadas UTM (WGS-84):

Entre - N: 6102630.273, E: 248990.828
y - N: 6102405.545, E: 248939.162

GPS 11-12



GPS 11-12



GPS 7



GPS 4-5



GPS 1



Sector Obstrucción 2 (ver Figura 3)

Coordenadas UTM (WGS-84):

Entre - N: 6102873.94, E: 249060.264
y - N: 6102775.7, E: 249005.938

GPS 81



GPS 79



GPS 88



GPS 93



Sector Obstrucción 3 (ver Figura 3)

Coordenadas UTM (WGS-84):

Entre - N: 6102888.54, E: 248671.655
y - N 6102520.371, E: 248894.199

GPS 41



GPS 47



GPS 67



GPS 23



GPS 61



GPS 68



Anexo 3: Estimación de caudales en la Quebrada Los Ladrones y Estero Las Palmas

A solicitud del mandante, se realizó una estimación preliminar de los caudales en la Quebrada Los Ladrones y el Estero Las Palmas, esto con el fin de aportar antecedentes adicionales para el trazado y construcción del desvío de los cursos de agua en terreno.

En ausencia de información de caudales registrados en el punto de interés, se emplearon dos procedimientos de estimación indirecta: a) el método racional y b) el hidrograma unitario sintético. El método racional es ampliamente usado y tiene la ventaja de ser simple, al expresar el caudal máximo en proporción a la lluvia caída en el área multiplicada por un coeficiente de escurrimiento. Es apropiado para ser usado en áreas pequeñas, preferentemente menores a 25 km². En el caso del hidrograma unitario sintético, las principales características del hidrograma se estiman en función de propiedades geomorfológicas de la cuenca, estableciendo una analogía con otras zonas con registros.

De acuerdo al método racional, el caudal máximo asociado a un determinado período de retorno se calcula con la siguiente aproximación (MOP, 2001):

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6} \quad [1]$$

donde Q es el caudal (m³/s), C es el coeficiente de escorrentía, i es la intensidad de la lluvia de diseño (mm/h) y A es el tamaño del área aportante (km²).

En el caso del hidrograma unitario sintético, existen relaciones aplicables a cuencas ubicadas en la zona central y sur de Chile. Para el caso particular de cuencas ubicadas en la zona Aconcagua-Maule, las expresiones son las siguientes (MOP, 2001):

$$t_p = 0,386 \left(\frac{L \cdot l_g}{\sqrt{s}} \right)^{0,397} \quad [2]$$

$$q_p = 355 \cdot t_p^{-1,22} \quad [3]$$

donde t_p es el tiempo de retardo de la cuenca (h), q_p es el valor máximo de hidrograma unitario de una lluvia efectiva de 1 mm (l/s/km²), L es la longitud del cauce principal (km), l_g es la longitud desde el centroide de la cuenca al punto de control (km), y s es la pendiente media de la cuenca definida según fórmula de Mociornita de la siguiente forma:

$$s = \frac{h}{A} \left[\frac{l_o}{2} + \left(\sum_{i=1}^{n-1} l_i \right) + \frac{l_n}{2} \right] \quad [4]$$

donde h es la altura entre las curvas de nivel (m), A es el área de la cuenca (m²), l_i es la longitud de la curva de nivel i (m), l_o es la longitud de la curva de nivel de menor cota (m) y l_n es la

longitud de la curva de nivel de mayor cota (m). Mayor detalle de las metodologías de resolución asociadas a cada método se puede revisar en las publicación de Chow et al. (1999) y en el Manual de Carreteras, Volumen 2, Procedimiento de Estudios Viales (MOP, 2001).

En la Tabla 18 se presentan los parámetros adoptados para la aplicación del método racional en las cuencas seleccionadas. De igual forma, la Tabla 19 muestra los parámetros empleados para el hidrograma unitario sintético. Las longitudes, pendientes, áreas y otras propiedades geomorfológicas de las cuencas se obtuvieron a partir de una carta digital 1:20,000 proporcionada por la División de Estudios y Planificación de la DGA-MOP (ver **Anexo 4**). Las intensidades de las precipitaciones registradas en la estación climatológica Penciahue se obtuvieron de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia ya existentes para dicha estación (Pizarro et al., 1997). En base a las condiciones de pendiente y cubierta vegetal observadas en el área, se asignaron los valores de los coeficientes de escurrimiento según valores de tabla publicados en la literatura (Chow et al., 1999).

Tabla 18. Valores adoptados en el método racional para la Quebrada Los Ladrones y el Estero Las Palmas.

Parámetro	Quebrada Los Ladrones	Estero Las Palmas
Longitud del cauce principal, L (m)	3.037	6.652
Pendiente promedio de la cuenca, S (m/m)	0,373	0,371
Tiempo de concentración, t_c (min)	13,70	25,10
Coeficiente de escurrimiento de la cuenca, C	T=5	0,40
	T=100	0,53
Intensidad de la lluvia de diseño, i (mm/h)	T=5	18,25
	T=100	29,83
Tamaño de la cuenca, A (km ²)	4,70	20,40

Tabla 19. Valores adoptados para el hidrograma unitario sintético para la Quebrada Los Ladrones y el Estero Las Palmas.

Parámetro	Quebrada Los Ladrones	Esteros Las Palmas	
Tamaño de la cuenca, A (km ²)	4,70	20,40	
Longitud del cauce principal L (km)	3,04	6,65	
Longitud desde el centroide de la cuenca al punto de control, l _g (km)	2,04	3,39	
Cota mínima, 100 msnm, L _o (km)	0,040	0,170	
Cota máxima, 650 msnm, L _n (km)	0,200	1,330	
Suma de todas la cotas, ΣL _i (km)	9,18	41,466	
Pendiente media de la cuenca según formula de Mociornita, s (m/m)	0,20	0,21	
Tiempo de concentración de la cuenca (Kirpich), t _c (h)	0,23	0,42	
Precipitación asociada al tiempo de concentración y T, P _{tc} ^T (mm/h)			
	T=5	24,25	18,25
	T=100	39,65	29,83
Duración de la lluvia, t _r (h)	0,20	0,33	
Tiempo de retardo, t _p (h)	1,10	1,82	
Caudal máximo por unidad de área del h.u., q _p (m ³ /s.km ²)	0,32	0,17	
Duración de la lluvia, t _R (h)	0,23	0,42	
Tiempo de retardo, t _{pR} (h)	1,11	1,84	
Caudal máximo por unidad de área del h.u., q _{pR} (m ³ /s.km ²)	0,31	0,17	
Lluvia efectiva (mm)			
	T=5	5,54	7,63
	T=100	9,05	12,48

Con el objetivo de dimensionar la magnitud del caudal generado por cada cuenca, se definieron dos escenarios probabilísticos, uno correspondiente a un evento de lluvia con un período de retorno de 5 años (T=5), y uno menos probable, con período de retorno de 100 años (T=100). La Tabla 18 y la Tabla 19 muestran algunos parámetros asociados a dichos períodos utilizados en el método racional y en el hidrograma unitario sintético. De acuerdo al método racional, los caudales determinados para T=5 y T=100 se presentan en la Tabla 20. Los caudales así calculados para T=5 son de 13 m³/s en la Quebrada Los Ladrones y de 41 m³/s en el Estero Las Palmas. Para T=100, los caudales máximos podrían alcanzar los 16 y 51 m³/s en la Quebrada Los Ladrones y el Estero Las Palmas, respectivamente.

Tabla 20. Estimación del caudal máximo para dos períodos de retorno en la Quebrada Los Ladrones y en el Estero Las Palmas.

	Área (km ²)	Caudal máximo (m ³ /s)			
		T = 5 años		T = 100 años	
		Método racional	H.U. Sintético	Método racional	H.U. Sintético
Quebrada Los Ladrones	4,7	12,7	8,2	15,7	13,4
Esteros Las Palmas	20,4	41,4	26,3	51,2	43,0

Si bien ambas cuencas exhiben una pendiente media similar, difieren considerablemente en el tamaño del área aportante. De acuerdo a esto, y dado que el método racional es adecuado para áreas pequeñas, idealmente impermeables, es probable que el valor obtenido con este método sobrestime la magnitud de los eventos en la cuenca del Estero Las Palmas. Así, los valores obtenidos mediante el hidrograma unitario sintético serían más adecuados en el caso de la cuenca de mayor dimensión. En este caso, para la cuenca del Estero Las Palmas los caudales estimados con el hidrograma unitario sintético para períodos de retorno de 5 y 100 años son de 26 y 43 m³/s, respectivamente (ver Tabla 20).

En relación a los caudales presentados en la Tabla 20 para el caso del hidrograma unitario sintético, se ha supuesto que el agua caída en la lluvia de diseño es igual a la precipitación efectiva, sin descontar el efecto de intercepción. Dadas las condiciones de pendiente, vegetación y textura del suelo en las cuencas analizadas, este valor debería ser bajo. En el caso de suponer un valor de intercepción igual a 1 mm, los caudales estimados en la cuenca del Estero Las Palmas para T=5 y T=100 serían de 23 y 40 m³/s, respectivamente. Esto corresponde a una reducción del orden del 10% en la magnitud del caudal máximo.

Anexo 4: Mapas de la hidrografía del sistema afectado

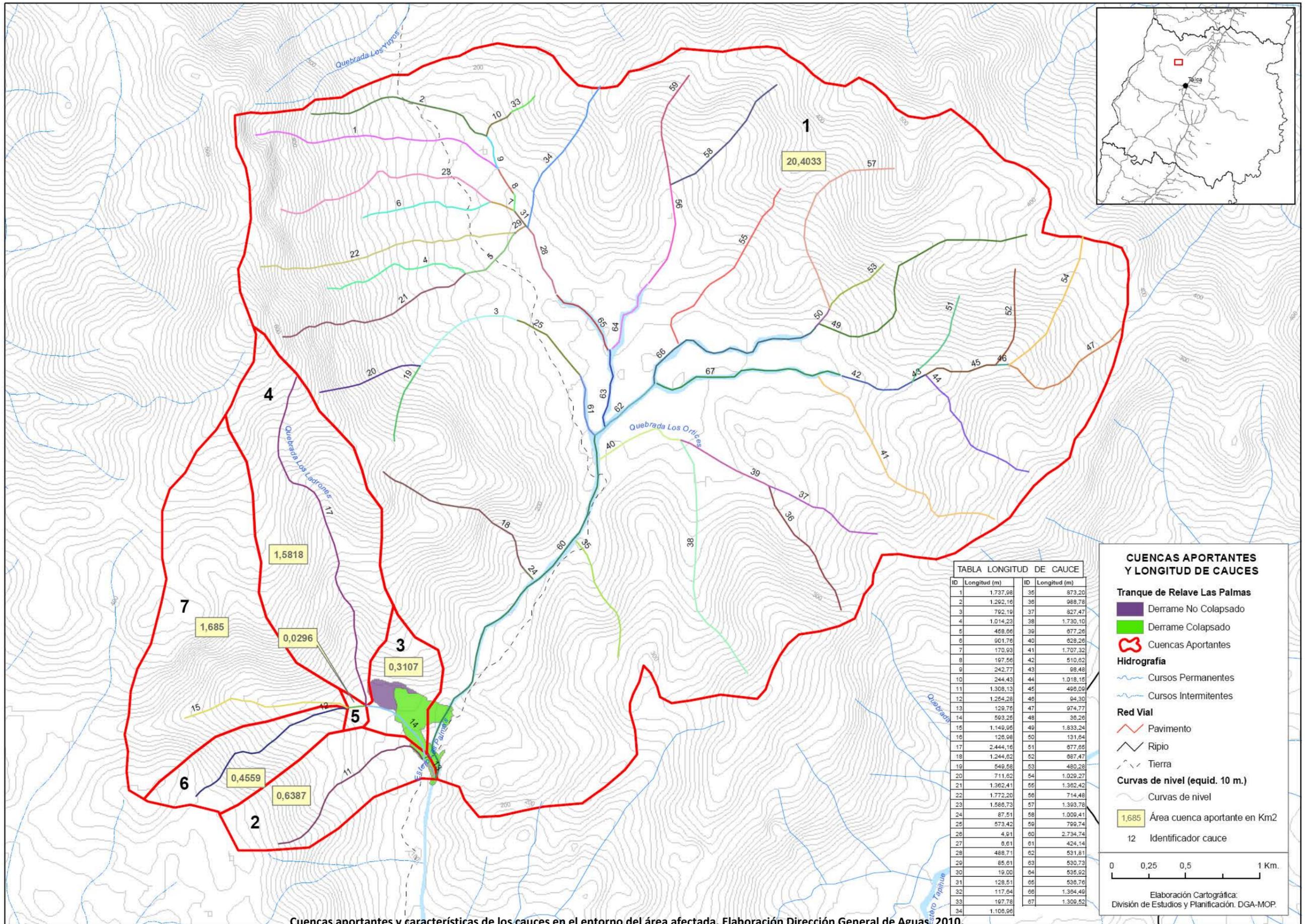


TABLA LONGITUD DE CAUCE

ID	Longitud (m)	ID	Longitud (m)
1	1.737,68	35	873,20
2	1.262,16	36	969,78
3	792,19	37	827,47
4	1.014,23	38	1.730,10
5	469,66	39	877,26
6	901,76	40	829,28
7	170,93	41	1.707,32
8	197,56	42	510,62
9	242,77	43	99,48
10	244,43	44	1.019,15
11	1.308,13	45	466,09
12	1.264,28	46	94,30
13	129,75	47	974,77
14	593,25	48	36,26
15	1.149,95	49	1.833,24
16	128,98	50	131,64
17	2.444,16	51	877,66
18	1.244,62	52	887,47
19	549,58	53	480,28
20	711,62	54	1.029,27
21	1.362,41	55	1.362,42
22	1.772,20	56	714,48
23	1.586,73	57	1.393,78
24	87,51	58	1.009,41
25	573,42	59	799,74
26	4,91	60	2.734,74
27	6,61	61	424,14
28	488,71	62	531,81
29	85,61	63	530,73
30	19,00	64	535,92
31	128,51	65	536,76
32	117,64	66	1.394,49
33	197,78	67	1.309,52
34	1.108,96		

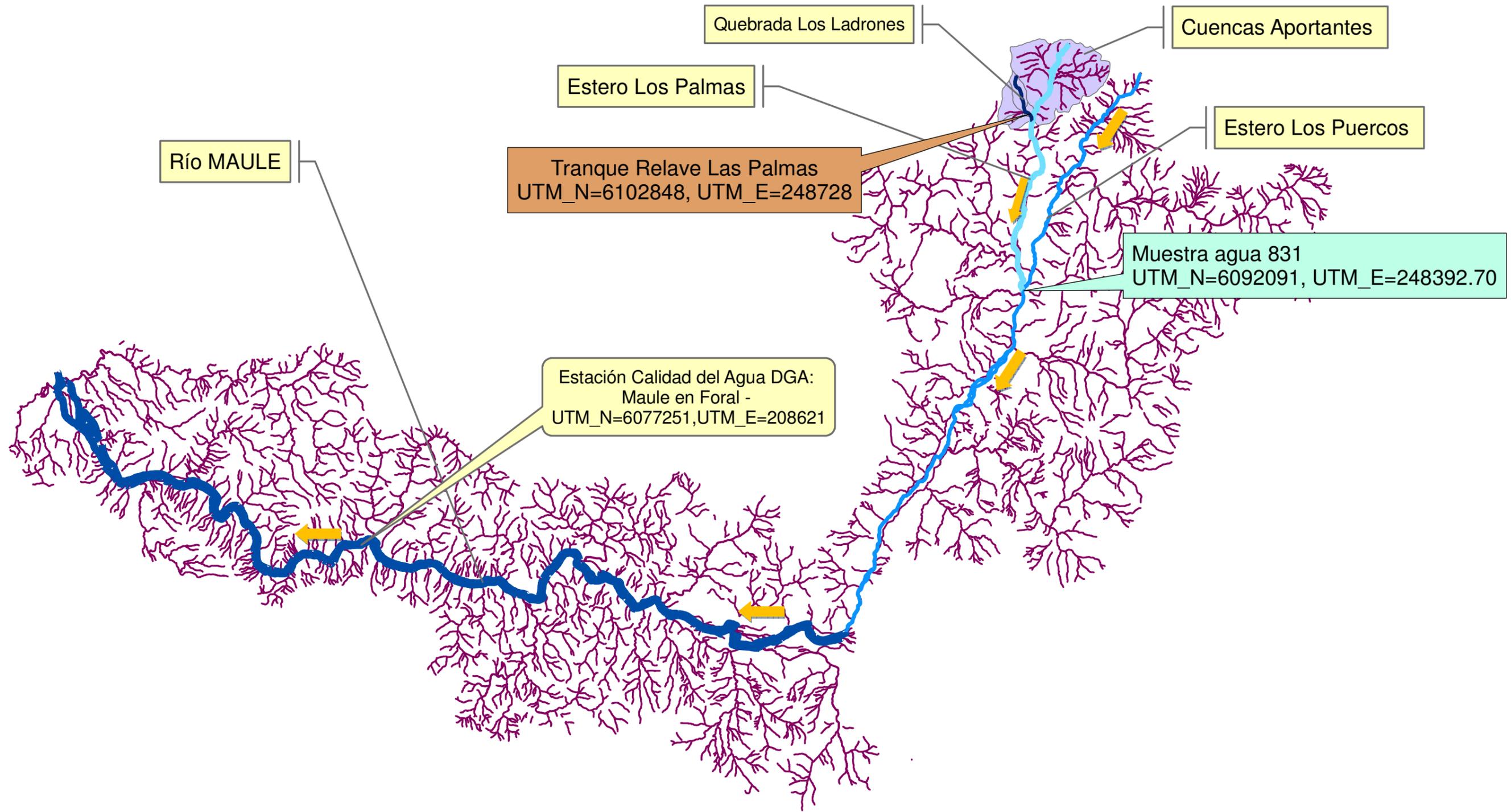
CUENCAS APORTANTES Y LONGITUD DE CAUCES

- Tranque de Relave Las Palmas**
- Derrame No Colapsado
 - Derrame Colapsado
- Hidrografía**
- Cursos Permanentes
 - Cursos Intermitentes
- Red Vial**
- Pavimento
 - Ripio
 - Tierra
- Curvas de nivel (equid. 10 m.)**
- Curvas de nivel
- 1,685 Área cuenca aportante en Km2
- 12 Identificador cauce



Elaboración Cartográfica:
División de Estudios y Planificación. DGA-MOP.

Cuencas aportantes y características de los cauces en el entorno del área afectada. Elaboración Dirección General de Aguas, 2010.



Red hidrográfica de la zona potencialmente afectada por el colapso de tranque de relave Minera las Palmas. Las coordenadas indicadas son UTM (WGS-84).

Código DGA SUBCUENCA=0738.

Cuenca delimitada por las siguientes coordenadas UTM: WGS-84:

OESTE : 187034 E	NORTE : 6107524 N
ESTE : 266958 E	SUR : 6060902 N

**Anexo 5: Fotografías de muestras: Visita a terreno Minera Las Palmas
12-03-2010**

Foto P14



Foto 281



Foto P8b



Foto 179



Foto 187



Foto 192



Foto 202



Foto 207



Foto 209



Foto 214



Foto 224



Foto 233



Foto 234



Foto 243



Foto 251



Foto 259



Foto 267



Foto 274



Foto 289



Foto 11



Foto 304



Foto 160



Foto 174



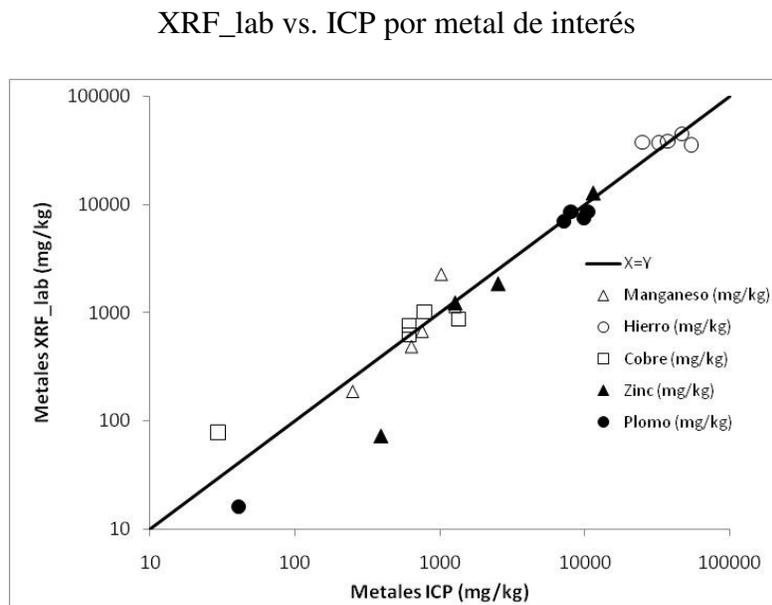
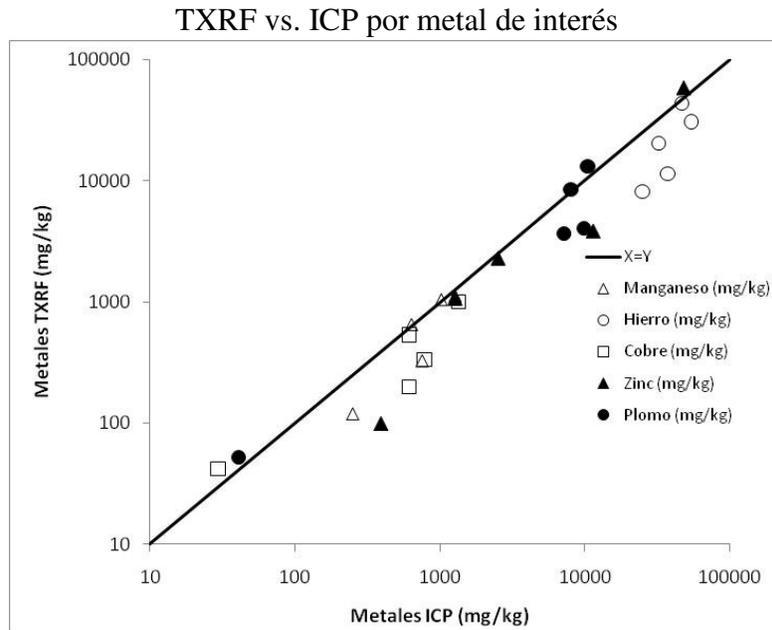
Foto 294



Foto 308

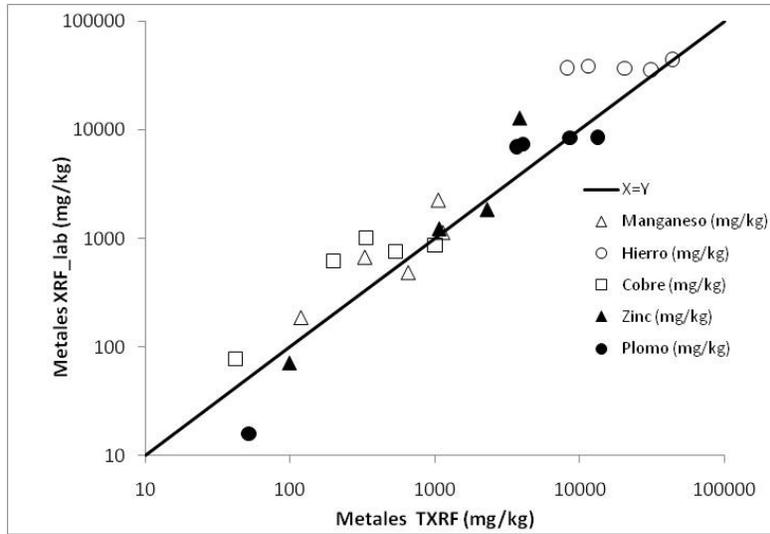


Anexo 6: Comparación de resultados de técnicas analíticas rápidas de screening versus análisis tradicionales de laboratorio (ICP, AA)

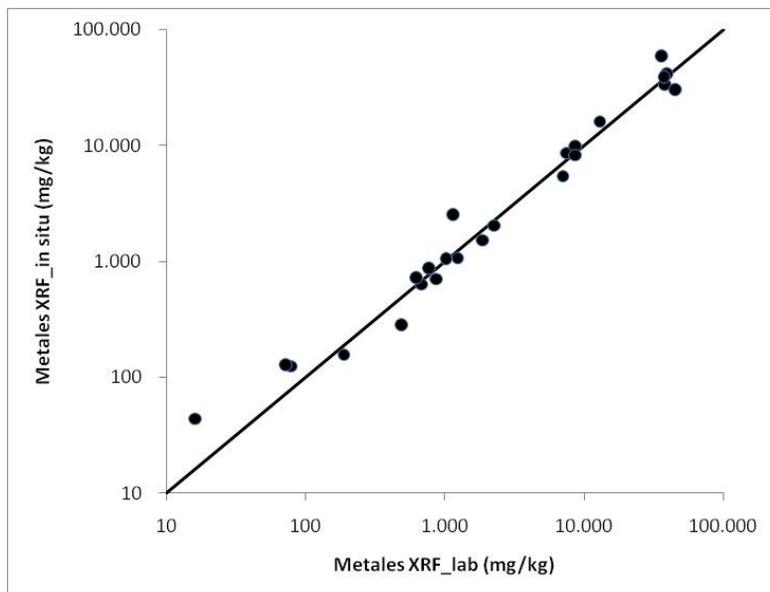


Observación: los datos presentados en estos gráficos corresponden a las muestras efectivamente medidas en este trabajo.

TXRF vs. XRF_lab



XRF_in situ vs. XRF_lab



Observación: los datos presentados en estos gráficos corresponden a las muestras efectivamente medidas en este trabajo.

Anexo 7: Provoost, J., Cornelis, C., & Swartjes, F. (2006). Comparison of soil clean-up standards for trace elements between countries: Why do they differ? *Journal of Soils and Sediments*, 6(3), 173-181.

Abstract

Goal, Scope and Background. In the nineteen nineties, most European countries issued legislation on soil protection, including soil contamination. In the case of a presumed contamination, soil investigation mostly follows a stepwise approach starting with a preliminary investigation, then an in-depth investigation and, finally, remediation. Soil clean-up standards are often foreseen as trigger criteria to determine the need for an in-depth soil investigation or for remediation. There are, however, large differences in soil clean-up standards. This is partly because of the different roles of soil clean-up standards in each legislative framework and partly because of differences in the soil clean-up standard (SCS) derivation procedures. Despite these differences, there are large similarities in the concepts of the derivation procedures for clean-up standards. A better understanding of the differences in clean-up standards is needed. In order to clarify the variation, the background of the clean-up standards for a selected number of countries was investigated. The objective of this paper is to investigate the underlying reason why countrywide generic soil and groundwater clean-up standards of eight trace elements (cadmium, chromium (III), copper, mercury, lead, nickel, zinc and arsenic) differ between the selected countries. **Main Features.** To avoid misinterpretation of the differences in application of the clean-up standards, a short overview of the legislative role of clean-up standards is given first. Differences in model concepts and parameter values are discussed, followed by a comparison of the generic soil and groundwater clean-up standards for trace elements and a discussion on the sources of variation. The influence of the use of ecotoxicological criteria and data for the derivation of soil clean-up standards will be discussed in more detail. Selected countries were Canada, the Flemish Region (Belgium), France, Germany, Great Britain, the Netherlands, Norway, Sweden, Switzerland and the United States of America (USA).

Results and Discussion. When soil clean-up standards for eight trace elements (cadmium, chromium (III), copper, mercury, lead, nickel, zinc and arsenic) were compared between the selected countries, differences of more than a factor of 1000 arose. Notwithstanding the use of similar derivation procedures, differences were caused by the use of different software models with their specific input data, boundary conditions and applied protection criteria for humans and the ecology. Ecotoxicological criteria tend to lower the soil clean-up standard for the selected trace elements.

Conclusions. In the countries that are included in this study, clean-up standards are used in different ways, this is for the determination of the necessity for remediation or for the need for further soil investigation. This paper shows a wide variation in the clean-up standards, which has further implication on the decision for remediation or further investigation and, hence, the financial costs of soil management. All the clean-up standards have as a primary goal the protection of human health. A number of countries also include the protection of the ecological function of the soil. Differences in selected software model, (standard) parameter values, selected human toxicological and ecotoxicological criteria are reasons for a substantial variation in the clean-up standards for trace elements.

Recommendations and Perspectives. Is this variation justified?

The derivation of soil clean-up standards involves – besides scientific elements – political elements, like differentiation in landuse types (agricultural, residential, recreational, industrial), receptor at risk or protection level. It is obvious that harmonization of these elements will be complicated. However, a European action programme, like the thematic strategy for soil protection [33,34], could initiate this process of harmonization. Nevertheless, soil-clean-up standards could never be uniform over the whole of Europe, because they include country specific elements (geographical, ethnological) and political decisions.

Anexo 8:



El Instituto Nacional de Normalización, INN, certifica que:

DICTUC S.A.

LABORATORIO DE AGUAS Y RILES

ubicado en Av. Vicuña Mackenna N°4860, Macul, Santiago

ha sido acreditado en el Sistema Nacional de Acreditación del INN,
como

Laboratorio de Ensayo

según NCh-ISO 17025.Of2005

en el Química para suelos, con el alcance indicado en anexo.

Vigencia de la Acreditación : hasta el 3 de Agosto de 2012

Santiago de Chile, 3 de Agosto de 2009

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Eduardo Ceballos Osorio', is written over the printed name.

Eduardo Ceballos Osorio
Jefe de División Acreditación

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Sergio Toro Galleguillos', is written over the printed name.

Sergio Toro Galleguillos
Director Ejecutivo



ALCANCE DE LA ACREDITACION DEL LABORATORIO DE AGUAS Y RILES, DICTUC S.A., SEDE SANTIAGO, COMO LABORATORIO DE ENSAYO

AREA: QUIMICA PARA SUELOS

Ensayo	Norma/Especificación	Producto a que se aplica
Aluminio	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Arsénico	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Bario	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Berilio	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Cadmio	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Calcio	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Cinc	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Cobalto	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Cobre	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Cromo	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Hierro	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Magnesio	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Manganeso	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Molibdeno	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Niquel	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Potasio	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Plomo	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Selenio	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Sílice	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos
Vanadio	IE-E.54-CHA, basado en TMECC 04.14 y TMECC 04.12-B	Suelos



Eduardo Ceballos Osorio
Jefe de División Acreditación




Sergio Toro Galleguillos
Director Ejecutivo



**INSTITUTO NACIONAL
DE NORMALIZACION**

ACTA DE COMPROMISO N° LE 149 Y LE 150

Entre, el Instituto Nacional de Normalización, en adelante el INN, representado por su Director Ejecutivo Sr. Sergio Toro Galleguillos, domiciliado en calle Matías Cousiño N°64, Piso 6°, Santiago y DICTUC S.A., representado por su Gerente General Sr. Jaime Retamal Pinto, domiciliado en Av. Vicuña Mackenna N°4860, Macul, Santiago, vienen en celebrar la siguiente Acta de Compromiso:

PRIMERO : El INN, a través de su Comité de Acreditación, en sesión de fecha 10 de Julio de 2009, ha renovado las acreditaciones del Laboratorio de Análisis de Aguas y Riles de DICTUC S.A., por un período de cuatro años y le reconoce su competencia para desarrollar actividades como Laboratorio de Ensayo, en las áreas Microbiología para aguas y Físico-química para aguas. El alcance específico de esta acreditación se indica en el anexo a esta Acta de Compromiso y pasa a constituir parte de ella.

Por su parte, DICTUC S.A., se compromete a dar cumplimiento a los reglamentos y requisitos del Sistema, así como a las disposiciones establecidas en esta Acta.

SEGUNDO : Para lograr el cumplimiento de los compromisos ya singularizados en la cláusula precedente, el INN deberá:

- a) Mantener actualizados y disponibles los documentos pertinentes al Sistema;
- b) Informar a DICTUC S.A. sobre el estado del Sistema y sus eventuales modificaciones; y
- c) Asegurar la confidencialidad de la información suministrada por DICTUC S.A.

TERCERO : Del mismo modo DICTUC S.A. deberá:

- a) Dar cumplimiento al reglamento, INN-R401, "Reglamento para la acreditación de organismos de evaluación de la conformidad" y los demás reglamentos y disposiciones que en él se hace referencia, incluyendo NCh-ISO 17025 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración";

C. Torres

**OFICINAS GENERALES
MATIAS COUSIÑO 64 - PISO 6
SANTIAGO - CHILE
TEL. (56-2) 445 8800
FAX (56-2) 441 0427
www.inn.cl**

F407-01-21 v01



- b) Respetar y aplicar las disposiciones del Sistema Nacional de Acreditación;
- c) Pagar los aranceles pertinentes a la acreditación de acuerdo a lo establecido en el Reglamento INN-R410 "Aranceles de acreditación de organismos de certificación y laboratorios";
- d) Respetar el alcance de la acreditación cuando DICTUC S.A. actúe bajo el Sistema;
- e) Informar al INN acerca de las modificaciones al sistema de gestión, procedimientos, personal o cualquier otro aspecto que pueda afectar su condición de organismo acreditado;
- f) Dar acceso al INN a las instalaciones y documentación relativas al área acreditada cuando sea requerido en las auditorías, visitas no anunciadas o por escrito;
- g) Cumplir y respetar las sanciones con que fuere afectado de acuerdo al Reglamento INN-R408 "Reglamento de infracciones y sanciones" y efectuar las acciones correctivas a las deficiencias encontradas. Desde luego, DICTUC S.A. declara conocer todos los reglamentos señalados; y
- h) Cumplir con las disposiciones establecidas en el Reglamento INN-R409 "Reglamento de uso del símbolo de acreditación y de la referencia a la condición de acreditado", en sus informes, certificados y material publicitario.

CUARTO : DICTUC S.A., podrá requerir del INN toda la información relativa a la acreditación cuando sea necesario para efectos de mantención, renovación o ampliación de su acreditación.

QUINTO : Si DICTUC S.A. solicita una ampliación o reducción al alcance de la acreditación se detallará en una adenda que se incorporará a la presente Acta de Compromiso.

SEXTO : El plazo de vigencia del presente contrato será de cuatro años.

- a) Desde el 17 de Enero de 2008
- b) Hasta el 17 de Enero de 2012

EQ

Chm



SEPTIMO : Ambas partes están de acuerdo en el contenido del Acta de Compromiso y que las infracciones serán sancionadas de acuerdo al Reglamento INN-R408 "Reglamento de infracciones y sanciones", que forma parte de esta Acta de Compromiso.

OCTAVO : Si se modificaran los reglamentos del Sistema o se agregaran nuevos requisitos al mismo, durante la vigencia de la acreditación, DICTUC S.A. dará cumplimiento a los nuevos requisitos del Sistema Nacional de Acreditación del INN, en un período de tres meses o en el plazo acordado entre las partes.

NOVENO : DICTUC S.A., deberá informar al INN por escrito acerca de su intención de continuar en el Sistema Nacional de Acreditación seis meses antes del término de la vigencia de su acreditación.

En caso de solicitar la renovación en el período indicado en el párrafo anterior, la acreditación otorgada en la presente Acta se extenderá por seis meses.

Si DICTUC S.A. deseara renovar la acreditación, deberá enviar la solicitud de renovación con toda la información solicitada, debidamente actualizada. El INN programará la reevaluación correspondiente, conforme lo indicado en INN-R401.

En caso de no efectuar la comunicación indicada antes de la fecha de término de la vigencia, la acreditación otorgada vencerá automáticamente en esa fecha.

Si no se renueva la acreditación, DICTUC S.A. se compromete a eliminar toda referencia a su condición de acreditado en cualquier forma de publicidad.

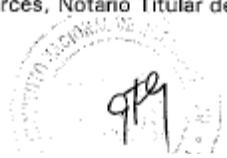
DECIMO : Para los efectos de la presente Acta de Compromiso, las partes fijan su domicilio en la ciudad de Santiago, prorrogando competencia ante sus tribunales.

UNDECIMO : La personería de don Sergio Toro Galleguillos para representar al Instituto Nacional de Normalización, consta en Acuerdo de Consejo de fecha 28 de Agosto de 2003, reducido a escritura pública de fecha 10 de Septiembre de 2003, ante la Notario Público Titular de la 42ª Notaría de Santiago, Sra. María Gloria Acharán.

La personería de don Jaime Retamal Pinto, consta en el Acta de la Centésima Cuadragésima Tercera Sesión Ordinaria de Directorio de DICTUC S.A., de fecha 17 de Abril de 2008, reducida a escritura pública con fecha 21 de Noviembre de 2008, ante el Sr. Sergio Rodríguez Garcés, Notario Titular de la Décima Notaría de Santiago.

Chm

F407-01-21 v01



DUODECIMO: Previa lectura, y en expresa conformidad de lo estipulado en las cláusulas precedentes, las partes suscriben la presente Acta de Compromiso en 3 ejemplares de igual tenor, fecha y validez, quedando dos en poder del Instituto Nacional de Normalización y uno en poder de la entidad que se acredita.

Jaime Retamal Pinto
Gerente General
DICTUC S.A.

Sergio Toro Galleguillos
Director Ejecutivo
Instituto Nacional de Normalización
INN



Santiago, 10 de Julio de 2009

Costa

F407-01-21 v01



Certificados de Análisis



Pontificia Universidad Católica de Chile
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal

LABORATORIO DE SERVICIOS

Avda. Vicuña Mackenna 4864
Casilla 306 código 912
Fono: 3544273 anexos 4103 - 4170
laboratoriosfaif@puc.cl

SARA ACEVEDO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
Avda. Vicuña Mackenna N° 4860 - Macul

Muestra Suelo Folio 10625

Fecha Recepción 18/03/2010
Fecha Entrega 31/03/2010

Nº Laboratorio	Ident. muestra	MO %	d.a gr/cc	% Arcilla	% Limo	% Arena	Clase Textural U.S.D.A
99360	827///	2,15	1,09	18,1	81,3	0,6	Franco limosa
99361	813///	2,1	1,23	38,1	29,3	32,6	Franco Arcillosa
99362	818///	0,67	1,08	10,1	57,3	32,6	Franco limosa
99363	819///	1,23	1,17	6,1	19,3	74,6	Franco Arenosa
99364	823///	0,79	1,09	6,1	41,3	52,6	Franco Arenosa
99365	830///	1,76	1,15	6,1	43,3	50,6	Franco Arenosa
99366	814///	2,39	1,37	8,1	49,3	42,6	Franca
99367	821///	4,06	1,30	34,1	27,3	38,6	Franco Arcillosa

Validado por: Marlene Mejías
Técnico Encargado

Revisado por: Bernardita Sallato,
Ing. Agrónomo, M.Sc.
Jefe Laboratorio

Nota. Metodología Métodos recomendados por la comisión de normalización y acreditación. N y C total por combustión seca (Dumas, equipo LECO).

Nota: EL valor diagnóstico de la analítica practicada está supeditada a la calidad de la muestra colectada y su manejo previo a su recepción.

Las recomendaciones solo tienen carácter de sugerencias y deberán ser evaluadas por el sesor.

Este informe no puede ser usado para trámites de tipo legal.



Pontificia Universidad Católica de Chile
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal

LABORATORIO DE SERVICIOS

Avda. Vicuña Mackenna 4864
Casilla 306 código 912
Fono: 3544273 anexos 4103 - 4170
laboratoriosfaif@puc.cl

SARA ACEVEDO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
Avda. Vicuña Mackenna N° 4860 - Macul

Muestra	Suelo	Folio	10626
Fecha Recepción	18/03/2010		
Fecha Entrega	24/03/2010		

Nº Laboratorio	Ident. muestra	MO %	% Arcilla	% Limo	% Arena	Clase Textural U.S.D.A
99368	824///	1,38	8,1	47,3	44,6	Franca
99369	828///	2,45	10,1	57,3	32,6	Franco Limosa
99370	812///	2,49	30,1	39,3	30,6	Franco Arcillosa
99371	815///	0,80	8,1	47,3	44,6	Franca

Validado por: Marlene Mejías
Técnico Encargado

Revisado por: Bernardita Sallato,
Ing. Agrónomo, M.Sc.
Jefe Laboratorio

Nota. Metodología Métodos recomendados por la comisión de normalización y acreditación. N y C total por combustión seca (Dumas, equipo LECO).

Nota: EL valor diagnóstico de la analítica practicada está supeditada a la calidad de la muestra colectada y su manejo previo a su recepción.
Las recomendaciones solo tienen carácter de sugerencias y deberán ser evaluadas por el sesor.

Este informe no puede ser usado para trámites de tipo legal.



FECHA

12 de Abril de 2010

DIVISION DE INGENIERIA HIDRAULICA Y AMBIENTAL
Area de Analisis de Aguas y Riles

INFORME DE ENSAYO

IDENTIFICACION

Tipo de Muestra : Agua Cruda
 Fecha de Muestreo : 26-03-2010
 Fecha de Recepción : 26-03-2010
 Tipo de Analisis : Quimico
 Solicitado por : Pontificia Universidad Católica
 Dirección : Vicuña Mackenna N° 4860, Macul
 Atención : Sr. Pablo Pastén

RESULTADOS

Muestra N°	2820	2821	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Identificación	829	831		
Plomo (mg/L)	1,16	0,020	07-04-10	*SM 3120 B
Zinc (mg/L)	33,7	0,92	07-04-10	*SM 3120 B
Hierro (mg/L)	1,74	1,63	07-04-10	*SM 3120 B
Cobre (mg/L)	0,06	0,02	07-04-10	*SM 3120 B
Manganeso (mg/L)	2,53	1,26	07-04-10	*SM 3120 B
Arsénico (mg/L)	< 0,006	< 0,006	07-04-10	*SM 3120 B
Mercurio (mg/L)	< 0,001	< 0,001	05-04-10	ME-15-2007 SISS

OBSERVACIONES

1. Las muestras fueron tomadas por el cliente, quien se responsabiliza por la correcta preservación e identificación de ellas.
2. Analisis dentro del Alcance de la Acreditación del Laboratorio. (Certificado INN LE 150)
3. Los resultados expuestos son válidos para las muestras analizadas.


 MSc. Victoria Leighton Méndez
 Sub Gerente Area de Analisis de Aguas y Riles
 División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

VLM/chb

Hoja 1 de 1 M-2820 a 2821

Vicuña Mackenna 4860
 Casilla 306 - Correo 22
 Fono: (56-2) 354 4171
 Fax: (56-2) 354 5806
 e-mail: labocad@dictuc.cl
 web: www.dictuc.cl
 Santiago - Chile

La información contenida en el presente informe o certificado constituye el resultado de un ensayo, calibración o inspección técnica específica acotada únicamente a las piezas, partes, instrumentos, patrones o procesos analizados, lo que en ningún caso permite al solicitante afirmar que sus productos han sido "certificados por DICTUC S.A.", ni reproducir en ninguna forma el logo, nombre o marca registrada de DICTUC S.A., salvo que exista una autorización previa y por escrito de DICTUC S.A.. La Acreditación del Area de Analisis de Aguas y Riles de DICTUC S.A. bajo ninguna circunstancia es transferible a otra institución.
 Una mayor especificación acerca de la metodología empleada se encuentra en el reverso de esta página.



AVITAM101 32AB

FECHA 12 de Abril de 2010

DIVISION DE INGENIERIA HIDRAULICA Y AMBIENTAL
 Área de Análisis de Aguas y Riles

INFORME DE ENSAYO**IDENTIFICACION**

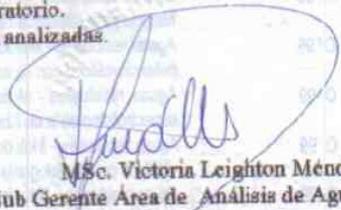
Tipo de Muestra : Suelo
 Fecha de Muestreo : 26-03-2010
 Fecha de Recepción : 26-03-2010
 Tipo de Análisis : Químico
 Solicitado por : Pontificia Universidad Católica
 Dirección : Vicuña Mackenna N° 4860, Macul
 Atención : Sr. Pablo Pastén

RESULTADOS

Muestra N°	2822	2823	2824	2825	2826	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Identificación	812	814	815	821	827		
Plomo (mg/Kg)	9874	7192	8023	40,89	10460	09-04-10	TMECC 04.14
Zinc (mg/Kg)	48034	11389	1267	390	2512	09-04-10	TMECC 04.14
Hierro (mg/Kg)	25051	37406	32420	54707	47074	09-04-10	TMECC 04.14
Cobre (mg/Kg)	783	612	611	29,4	1350	09-04-10	TMECC 04.14
Manganeso (mg/Kg)	1016	751	251	126,5	635	09-04-10	TMECC 04.14
Mercurio (mg/Kg)	0,381	0,197	0,162	0,151	0,317	09-04-10	TMECC 04.14

OBSERVACIONES

1. Las muestras fueron tomadas por el cliente, quien se responsabiliza por la correcta preservación e identificación de ellas.
2. Análisis fuera del Alcance de la Acreditación del Laboratorio.
3. Los resultados expuestos son válidos para las muestras analizadas.


 MSc. Victoria Leighton Méndez
 Sub Gerente Área de Análisis de Aguas y Riles

División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

VLM/chb

Vicuña Mackenna 4860
 Casilla 306 - Correo 22
 Fono: (56-2) 354 4171
 Fax: (56-2) 354 5806
 e-mail: labacal@dictuc.cl
 web: www.dictuc.cl
 Santiago - Chile

Hoja 1 de 1 M-2822 a 2825
 La información contenida en el presente informe o certificado constituye el resultado de un ensayo, calibración o inspección técnica específica acotado únicamente a las piezas, partes, instrumentos, patrones o procesos analizados, lo que en ningún caso permite al solicitante afirmar que sus productos han sido "certificados por DICTUC S.A.", ni reproducir en ninguna forma el logo, nombre o marca registrada de DICTUC S.A., salvo que exista una autorización previa y por escrito de DICTUC S.A.". La Acreditación del Área de Análisis de Aguas y Riles de DICTUC S.A. bajo ninguna circunstancia es transferible a otra institución.
 Una mayor especificación acerca de la metodología empleada se encuentra en el reverso de esta página.



FECHA 08 de Abril de 2010

DIVISION DE INGENIERIA HIDRAULICA Y AMBIENTAL
Area de Analisis de Aguas y Riles

INFORME DE ENSAYO

IDENTIFICACION

Tipo de Muestra : Agua Cruda
Fecha de Muestreo : 18-03-2010
Fecha de Recepcion : 23-03-2010
Tipo de Analisis : Quimico
Solicitado por : Pontificia Universidad Catolica
Direccion : Vicuña Mackenna N° 4860, Macul
Atencion : Sr. Pablo Pastén

RESULTADOS

Table with 3 columns: Muestra N°, Identificación, and Cianuro (mg/L). Rows include samples 2710-2715 and analysis details like Fecha de Análisis and Método de Análisis.

OBSERVACIONES

- 1. La muestra fue tomada por el cliente, quien se responsabiliza por la correcta preservación e identificación de ella.
2. Análisis dentro del Alcance de la Acreditación del Laboratorio (Certificado INN LE-150)
3. Los resultados expuestos son válidos para la muestra analizada.
4. Este informe anula y reemplaza al IN° 880986.

Signature of Msc. Victoria Leighton Méndez
Sub Gerente Area de Analisis de Aguas y Riles
Division Ingenieria Hidraulica y Ambiental

VLM/chb

Vicuña Mackenna 4860
Casillo 306 - Correo 22
Fono: (56-2) 354 4171
Fax: (56-2) 354 5806

La información contenida en el presente informe o certificado constituye el resultado de un ensayo, calibración o inspección técnica que se ha efectuado únicamente a las piezas, partes, instrumentos, patrones o procesos analizados, lo que en ningún caso permite al solicitante afirmar que sus productos han sido "certificados por DICTUC S.A.", ni reproducir en ninguna forma el logo, nombre o marca registrada de DICTUC S.A., salvo que exista una autorización previa y por escrito de DICTUC S.A.. La Acreditación del Área de Análisis de Aguas y Riles de DICTUC S.A. bajo ninguna circunstancia

Nota aclaratoria: Las muestras de suelo 809, 812, 813, 814, 815 y 830 están rotuladas en este informe como agua cruda, porque se utilizaron en esta ocasión en experiencias de elución de sólidos en columna, por lo que interesa medir la cantidad de cianuro diluido en el agua que pasa por la columna.



DIVISION DE INGENIERIA HIDRAULICA Y AMBIENTAL
Área de Análisis de Aguas y Riles

INFORME DE ENSAYO

IDENTIFICACION

Tipo de Muestra : Agua Cruda
 Fecha de Muestreo : 15-03-2010
 Fecha de Recepción : 15-03-2010
 Tipo de Análisis : Químico
 Solicitado por : Pontificia Universidad Católica
 Dirección : Vicuña Mackenna N° 4860, Macul
 Atención : Sr. Pablo Pastén

RESULTADOS

Muestra N°	Identificación	Cianuro (mg/L)
2287	808	< 0,05
2288	809	0,59
2289	811	< 0,05
2290	829	< 0,05
2291	831	< 0,05
Fecha de Análisis		15-03-10
Método de Análisis		NCh 2313/14

OBSERVACIONES

1. La muestra fue tomada por el cliente, quien se responsabiliza por la correcta preservación e identificación de ella.
2. Análisis dentro del Alcance de la Acreditación del Laboratorio (Certificado INN LE 150)
3. Los resultados expuestos son válidos para la muestra analizada.
4. Este informe anula y reemplaza al IN° 879860.


 MSc. Victoria Leighton Méndez
 Sub Gerente Área de Análisis de Aguas y Riles

División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

VLM/ebb

Vicuña Mackenna 4860
 Casilla 306 - Correo 22
 Fono: (56-2) 354 4171
 Fax: (56-2) 354 5806
 e-mail: labocaf@dictuc.cl
 web: www.dictuc.cl
 Santiago - Chile

La información contenida en el presente informe o certificado constituye el resultado de un ensayo, calibración o inspección de conformidad con el método especificado únicamente a las piezas, partes, instrumentos, patrones o procesos analizados, lo que en ningún caso permite al solicitante afirmar que sus productos han sido "certificados por DICTUC S.A.", ni reproducir en ninguna forma el logo, nombre o marca registrada de DICTUC S.A., salvo que exista una autorización previa y por escrito de DICTUC S.A. La Acreditación del Área de Análisis de Aguas y Riles de DICTUC S.A. bajo ninguna circunstancia es transferible a otra institución.
 Una mayor especificación acerca de la metodología empleada se encuentra en el reverso de esta página.

Nota aclaratoria: Se repite la explicación anterior, pero sólo con la muestra 809.



FECHA 19 de Abril de 2010

DIVISION DE INGENIERIA HIDRAULICA Y AMBIENTAL
Area de Analisis de Aguas y Riles

INFORME DE ENSAYO

IDENTIFICACION

Tipo de Muestra : Sólido
Fecha de Muestreo : 07-04-2010
Fecha de Recepción : 07-04-2010
Tipo de Analisis : Químico
Solicitado por : Pontificia Universidad Católica
Dirección : Vicuña Mackenna N° 4860, Macul
Atención : Sr. Pablo Pastén

RESULTADOS

Table with 5 columns: Muestra N°, Identificación, Mercurio (mg/L), Fecha de Análisis, Método de Análisis. Rows include samples 3249 (R-A) and 3250 (R-B) with results < 0,001 mg/L and analysis date 15-04-10.

OBSERVACIONES

- 1. La muestra fue tomada por el cliente, quien se responsabiliza por la correcta preservación e identificación de ella.
2. Análisis fuera del Alcance de la Acreditación del Laboratorio.
3. E.G.H= Espectroscopia de Generación de Hidruros.
4. Los resultados expuestos son válidos para la muestra analizada.

MSc. Victoria Leighton Méndez
Sub Gerente Área de Analisis de Aguas y Riles
División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

VLM/chb

Vicuña Mackenna 4860
Casilla 306 - Correo 22
Fono: (56-2) 354 4171
Fax: (56-2) 354 5806
e-mail: laboacaf@dictuc.cl
web: www.dictuc.cl
Santiago - Chile

La Información contenida en este Informe de Análisis constituye el resultado de un ensayo, calibración o inspección técnica específica acotado únicamente a las piezas, partes, instrumentos, patrones o procesos analizados, lo que en ningún caso permite al solicitante afirmar que sus productos han sido "certificados por DICTUC S.A.", ni reproducir en ninguna forma el logo, nombre o marca registrada de DICTUC S.A., salvo que exista una autorización previa y por escrito de DICTUC S.A. La Acreditación del Área de Analisis de Aguas y Riles de DICTUC S.A. bajo ninguna circunstancia es transferible a otra institución. Una mayor especificación acerca de la metodología empleada se encuentra en el reverso de esta página.

Notas: las muestras R-A y R-B corresponden a las muestras DGA1 y DGA2 (Tabla 5) que fueron tomadas y proporcionadas por la DGA en forma previa a la campaña de terreno.



FECHA 22 de Abril de 2010

DIVISION DE INGENIERIA HIDRAULICA Y AMBIENTAL
Area de Analisis de Aguas y Riles

INFORME DE ENSAYO

IDENTIFICACION

Tipo de Muestra : Suelo
Fecha de Muestreo : 26-03-2010
Fecha de Recepcion : 26-03-2010
Tipo de Analisis : Quimico
Solicitado por : Pontificia Universidad Catolica
Direccion : Vicuña Mackenna N° 4860, Macul
Atencion : Sr. Pablo Pastén

RESULTADOS

Table with 3 columns: Muestra N°, Identificación, and Arsénico (mg/Kg). Rows include samples 2822-2826 and analysis details like Fecha de Análisis (21-04-10) and Método de Análisis (TMECC04.14).

- 1.
2. La muestra fue tomada por el cliente, quien se responsabiliza por la correcta preservación e identificación de ella.
3. Análisis fuera del Alcance de la Acreditación del Laboratorio.
4. Los resultados expuestos son válidos para la muestra analizada.

Signature of MSc. Victoria Leighton Méndez
Sub Gerente Area de Analisis de Aguas y Riles

División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

VLM/chb



