

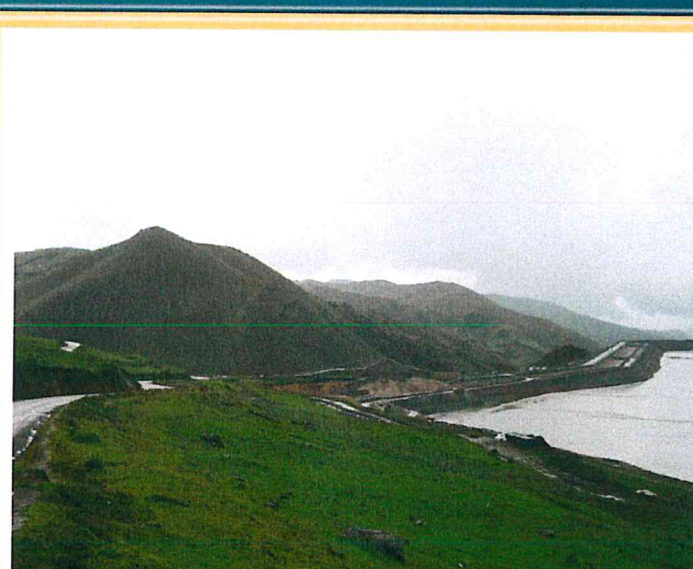
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6890

INSPECCIÓN GEOLÓGICA EN LA PRESA DE RELAVES DE LA UNIDAD MINERA CERRO CORONA



Región Cajamarca
Provincia Hualgayoc
Distrito Hualgayoc
Paraje Coymolache y Pilancones



MAYO
2019

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES	3
3. ASPECTOS GENERALES	4
3.1. Ubicación y acceso.....	4
4. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS Y CLIMÁTICOS.....	6
5. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	6
6. ASPECTOS GEOLÓGICOS	7
6.1. Formación Chulec (Ki-chu)	7
6.2. Formación Pariatambo (Ki-pa).....	8
6.3. Formación Yumagual (Ks-yu)	8
6.4. Volcánico Huambos (Ts-vh).....	9
6.5. Depósitos Cuaternarios Aluviales (Qr-al)	9
6.6. Rocas Intrusivas	9
6.6.1. Stocks Miocénicos.....	10
7. ASPECTOS HIDROLÓGICOS.....	10
8. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS.....	10
9. DEPÓSITO DE RELAVES DE CERRO CORONA (TSF)	11
10. INCIDENTE AMBIENTAL.....	14
10.1. Medidas de mitigación	14
11. GEOFÍSICA	17
11.1. Resultados sísmicos	17
11.2. Resultados eléctricos.....	18
CONCLUSIONES	20
RECOMENDACIONES.....	21
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	22

INSPECCIÓN GEOLÓGICA EN LA PRESA DE RELAVES DE LA UNIDAD MINERA CERRO CORONA

(Distrito y provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca)

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) dentro de sus ámbitos de competencia y funciones, se encarga de "Identificar, estudiar y monitorear los peligros geológicos". La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) es el órgano de línea del INGEMMET que realiza investigaciones, programas y proyectos. A través de la Actividad 7, "Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional", se brinda asistencia técnica a gobiernos locales y regionales en materia de peligros geológicos, con el objetivo de reducir el riesgo de desastres en nuestro país.

El presente informe constituye el resultado de la inspección geológica realizada el viernes 22 de marzo del 2019 en la presa de relaves de la unidad minera Cerro Corona, operada por la empresa minera Gold Fields La Cima S.A. (GFLC), donde mediante criterios estrictamente técnicos se analizan los eventos ocurridos determinándose conclusiones y recomendaciones que ayuden a superar las consecuencias del incidente geológico.

2. ANTECEDENTES

La Fiscalía Provincial Especializada en Materia Ambiental de Cajamarca, mediante Oficio N° 0193-2019-MP-FPEMA-C, de fecha 06 de febrero del 2019, enviado al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), solicitó personal especializado para una diligencia de constatación fiscal en la presa de relaves de la empresa minera Gold Fields La Cima S.A. (GFLC), unidad minera Cerro Corona, sobre el manantial Las Tomas, en el distrito y provincia de Hualgayoc, región Cajamarca, a fin de verificar los hechos denunciados por representantes de las comunidades de las zonas adyacentes a la unidad minera Cerro Corona (derrame de material de la presa - agua más finos - hacia la quebrada adyacente Las Hierbas producido el 16 de Diciembre del 2018). La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico designó al Ing. Manuel Rosas Casusol para realizar una evaluación geológica de la zona.

Se realizaron coordinaciones con la fiscalía provincial de Cajamarca, para realizar una visita de campo a la zona de la presa de relaves, la cual se llevó a cabo el viernes 22 de marzo del 2019.

Los días previos al viaje a Hualgayoc – Cajamarca se hicieron coordinaciones con los fiscales Roger Abel Hurtado Sánchez y Gricelda Noemí Ysla Valverde, representantes de la Fiscalía Provincial Especializada en Materia Ambiental de Cajamarca.

El viernes 22 de marzo del presente año, durante la inspección de campo se contó con la presencia de:

- a) Por la empresa minera Gold Fields La Cima S.A. (GFLC):
 - 1) Ing. Javier Gutiérrez Vernaza, Gerente de Proyectos.
 - 2) Ing. Luis Alberto Sánchez Arteaga, Gerente de Medio Ambiente.
 - 3) Ing. Gabriel Becerra Abregú, Geólogo.
 - 4) Dr. Felipe Huertas del Pino Caveró, abogado externo (Estudio "Hernández & Cía. Abogados").
 - 5) Dra. Virginia del Pilar Naval Linares, abogada externa (Estudio "Caro & Asociados").
- b) Por la fiscalía provincial especializada en materia ambiental de Cajamarca:
 - 1) Dr. Roger Hurtado Sánchez, fiscal provincial.
- c) Por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET):
 - 1) Ing. Manuel Rosas Casusol, geólogo de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.

OBJETIVO:

- Identificar las posibles causas que produjeron la descarga de aguas con contenido de relaves sobre la quebrada Las Hierbas el 16 de diciembre del 2018.
- Evaluar la predictibilidad del evento.

3. ASPECTOS GENERALES

3.1. Ubicación y acceso

La presa de relaves de la unidad minera Cerro Corona está ubicada en el departamento de Cajamarca, provincia y distrito de Hualgayoc, comunidad campesina El Tingo, anexo Predio La Jalca, caseríos Coymolache, Pilancones y La Cuadratura, a una altitud aproximada de 3,770 msnm, entre las siguientes coordenadas UTM:

UNIDAD MINERA	VÉRTICE	NORTE	ESTE
CERRO CORONA	1	9253000	764500
	2	9250500	764500
	3	9250500	759300
	4	9253000	759300

Tabla N° 1: Coordenadas de ubicación de la unidad minera.

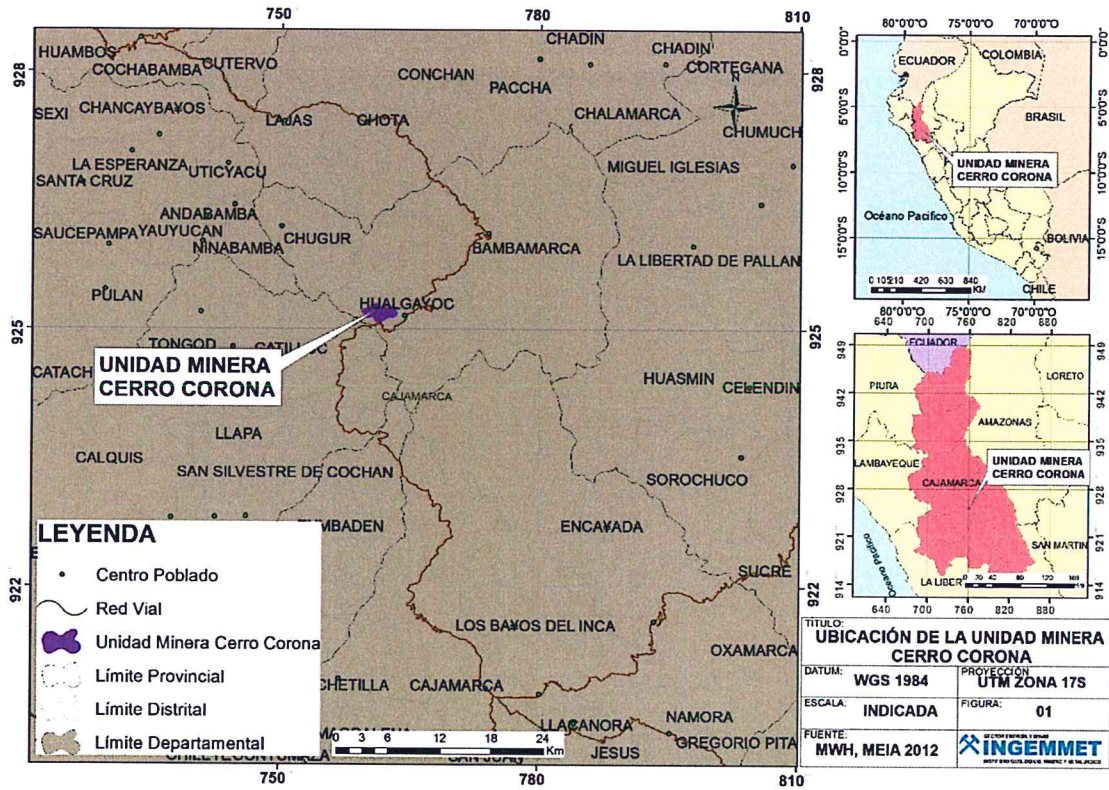


Figura N° 1: Mapa de ubicación de la unidad minera Cerro Corona.

El acceso desde Lima se realizó por vía aérea hasta la ciudad de Cajamarca, luego continuó por vía terrestre, progresando por la carretera provincial Cajamarca – Hualgayoc (carretera pública 3N), la cual se encuentra asfaltada y/o afirmada, en regular estado de conservación.

Vía	De	A	Kms	Tiempo (hr)	Estado de Vía
Aérea	Lima	Cajamarca	567	0:50	
Terrestre	Cajamarca	Mina Cerro Corona	80	1:50	Asfaltado/Afirmado
	Total		647	2:40	

Tabla N° 2: Forma de acceder a la zona de la evaluación geológica.

4. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS Y CLIMÁTICOS

La presa de relaves de la unidad minera Cerro Corona se ubica en la Cordillera Occidental de los Andes, en el norte del Perú, a 760 km aproximadamente al norte-noroeste de Lima y a 80 km por vía terrestre de la ciudad de Cajamarca. El emplazamiento de la mina se sitúa a 1.5 km aproximadamente al oeste-noroeste de la localidad de Hualgayoc, entre los 3,500 y 4,000 msnm.

El paisaje presenta una Superficie tipo Puna. El pasto predominante es el Ichu. La fauna nativa incluye lagartijas, sapos, aves y mamíferos pequeños.

El clima en la mina Cerro Corona es definido por dos temporadas marcadas, una temporada de estiaje que va generalmente desde abril hasta setiembre, y una temporada de lluvias que se desarrolla generalmente desde octubre hasta marzo. Las temperaturas se mantienen con una relatividad consistente durante todo el año, con máximos que fluctúan entre 10 a 13 grados Celsius y mínimos mensuales que fluctúan entre 2 a 6 grados Celsius. Las direcciones del viento predominantes provienen del este y este-noreste; y las velocidades pueden ser altas en crestas y picos expuestos. La nieve no es común en la ubicación de la mina.

5. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

La principal unidad geomorfológica en la zona donde se ubica el depósito de relaves de la unidad minera Cerro Corona es **Valle Glaciar (VII-gl)**, donde el fondo del valle es de **tipo "U"**. Las laderas de los cerros que rodean la presa de relaves presentan pendientes que varían en promedio de 20° a 35°.

Por sus geoformas, los cerros que se ubican en los alrededores de la presa de relaves pertenecen a la unidad geomorfológica de **Colinas en roca sedimentaria (RC-rs)**, donde los afloramientos de roca han sido reducidos por procesos denudativos y conforman elevaciones alargadas con laderas disectadas y de pendiente moderada. Esta unidad geomorfológica pertenece a las geoformas de carácter tectónico, degradacional y erosional.

En general los cerros son de pendiente moderada (20°- 35°) con algunos sectores de topografía más abrupta (40°- 45°), alcanzan alturas entre los 4,000 y 4,300 msnm. **(Ver foto N° 1)**



Foto N° 1: Vista de una de las márgenes adyacentes a la zona oeste de la presa de relaves de la unidad minera Cerro Corona. En la parte superior se observa la secuencia sedimentaria calcárea con pendientes moderadas, tanto en la ladera izquierda (25°-30°), como en la ladera derecha (20°-25°).

6. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Respecto a la geología local, Cerro Corona se ha definido como un yacimiento porfirítico de cobre-oro, cuya roca predominante es calcoalcalina (cuarzodiorita), en un ambiente de margen continental.

Lito-estratigráficamente en el área de la unidad minera Cerro Corona se han identificado las siguientes formaciones:

6.1. Formación Chulec (Ki-chu)

Litológicamente, consta de una secuencia fosilífera de calizas arenosas, limoarcillitas calcáreas y margas, las que por meteorización adquieren un color crema-amarillento. Su aspecto terroso amarillento es una característica para distinguirla en el campo. Sus grosores varían de 200 a 250 m con tendencia a aumentar hacia el suroeste. Generalmente, los bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris-parduzcos algo azulados. El espesor de sus estratos varía entre 15 a 25 cm.

La secuencia sedimentaria de la Formación Chulec se observa moderadamente meteorizada, su grado de fracturamiento también es moderado por lo tanto es medianamente fracturada, siendo buena en cuanto a calidad geotécnica.

6.2. Formación Pariatambo (Ki-pa)

Esta formación consiste de una alternancia de limoarcillitas con lechos delgados de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos (chert) y dolomíticos. Generalmente, su espesor oscila entre 150 a 200 m y el espesor de sus estratos varía entre 10 a 15 cm.

La secuencia sedimentaria de la Formación Pariatambo se observa moderadamente meteorizada, presenta fuerte fracturamiento, por lo tanto, en cuanto a rango de fracturamiento es muy fracturada, siendo regular a mala en cuanto a calidad geotécnica.

6.3. Formación Yumagual (Ks-yu)

La Formación Yumagual consiste en una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en estratos más o menos uniformes, destacando un miembro medio lutáceo margoso, amarillento; dentro de un conjunto homogéneo presenta escarpas elongadas debido a su dureza uniforme. En algunos horizontes se observan nodulaciones calcáreas. Tiene un grosor aproximado de 700 m, el espesor de sus estratos varía entre 15 a 20 cm.

En el área contigua a la presa de relaves de la unidad minera Cerro Corona las calizas Yumagual presentan moderada meteorización y débil a moderado fracturamiento (medianamente fracturada), no se observan zonas cavernosas, no llegan a constituir zonas kársticas en superficie; presentan marmolización y recristalización, principalmente en el contacto con la roca intrusiva (cuarzodiorita). *(Ver Foto N° 2)*



Foto N° 2: En la parte inferior de la vista, se observan fragmentos de calizas pertenecientes a la Formación Yumagual, las calizas se observan con moderado fracturamiento, presentan un color típico gris parduzco, algo amarillento por meteorización.

6.4. Volcánico Huambos (Ts-vh)

Constituido por tobas andesíticas y traquíticas de color blanco-amarillento. Estos materiales afloran en los sectores norte y noreste de Cajamarca, incluyendo la zona donde se ubica la unidad minera Cerro Corona, y cubren en discordancia angular a los sedimentos cretáceos. Su relación superior no es clara, pero existe una discordancia entre éstos y los depósitos morrénicos y fluvioglaciares. Sus afloramientos se encuentran rellenando depresiones o superficies antiguas más o menos onduladas, mostrando una erosión de aspecto uniforme.

Las tobas andesíticas tienen una textura porfirítica y están compuestas por abundante plagioclasa (oligoclasa), hornblenda, biotita, zircón, apatita y minerales opacos. También contienen fragmentos líticos de volcánicos pre-existentes, plagioclasas fragmentadas, zonadas y macladas. Las tobas traquíticas son igualmente de textura porfirítica, con abundantes fenocristales de ortosa, hornblenda, muscovita, biotita y escasas plagioclasas.

Esta secuencia volcánica ignimbrítica se observa moderadamente meteorizada, presenta moderado fracturamiento, por lo tanto, en cuanto a rango de fracturamiento es medianamente fracturada, siendo buena en cuanto a calidad geotécnica.

6.5. Depósitos Cuaternarios Aluviales (Qr-al)

En discordancia angular sobre las unidades descritas anteriormente se observan depósitos cuaternarios de tipo morrénicos (los derrubios se sitúan en las orillas del lecho glaciario), fluvioglaciares (materiales más gruesos, abandonados por la lengua del glaciario), coluviales (materiales de diverso tamaño pero de litología homogénea, englobados en una matriz arenosa) y principalmente aluviales, éstos últimos ocurren en las faldas de los cerros y laderas de los valles que rodean a la presa de relaves de Cerro Corona, en este tipo de depósitos destacan los materiales con moderado transporte, con fragmentos subangulosos a subredondeados.

6.6. Rocas Intrusivas

Las rocas intrusivas en la región de Cajamarca se desarrollaron en dos épocas bien marcadas. La primera de edad Eocénica (46.4 hasta 36.4 Ma), incluye a las dioritas de Michiquillay, Picota y San Cirilo. La segunda etapa de edad Miocénica (20 – 15 Ma), corresponde principalmente a los sistemas porfiríticos mineralizados de Au – Cu, incluye a Michiquillay, El Galeno, Perol, Cerro Corona, Chailhuagón y Amaro.

Davies R.; 2002, manifiesta que existe una evolución en el magmatismo, variando su composición de básica a ácida, desde gabros hasta dioritas-granodioritas.

Rivera R.; 2008, menciona que los diques de gabro por lo general son débilmente porfiríticos, los stocks dioríticos tienen una moderada a fuerte textura porfirítica.

6.6.1. Stocks Miocénicos

Están asociados principalmente a mineralización del tipo pórfido, en la zona de inspección geológica fueron generados durante periodos de intenso ensanchamiento cortical. El rango de composición geoquímica por lo general es muy restringido (cuarzodiorítico, diorítico a granodiorítico) correspondiendo al campo de las rocas calcoalcalinas. Entre los principales stocks porfiríticos mineralizados se tiene a Michiquillay, El Galeno, Perol, Cerro Corona, Chailhuagón, La Carpa, Amaro y Morocha.

Los stocks mineralizados en la zona se emplazaron durante un lapso de tiempo de 5.2 Ma (21.30 a 15.58 Ma) siguiendo una orientación de tendencia noroeste (Rivera R.; 2008).

Estos stocks, principalmente porfiríticos, ocurren ligeramente meteorizados, presenta débil fracturamiento, por lo tanto, en cuanto a rango de fracturamiento son poco fracturados, siendo buena su calidad geotécnica.

7. ASPECTOS HIDROLÓGICOS

En cuanto al entorno hidrológico, en el área de la mina Cerro Corona se pueden definir seis subcuencas: Quebradas Las Águilas, Chorro Blanco, Las Gordas, Las Flacas, Mesa de Plata, y Corona. El río Hualgayoc, ubicado al sur de la mina, se origina a una elevación de más de 3,700 msnm en el Cerro Coymolache. El río discurre de suroeste a noreste. Las subcuencas tanto de la quebrada Mesa de Plata como de la quebrada Corona discurren hacia este río. El tajo Cerro Corona está ubicado en la cuenca hidrográfica situada entre las subcuencas de Quebrada Mesa de Plata y la subcuenca de Quebrada Corona.

Las quebradas Las Gordas, Las Águilas, y Las Flacas drenan al río Tingo, este río es el predominante en la zona. Se origina a una elevación de 3,900 msnm, en los flancos del Cerro Tantahuatay. El río, que discurre de este a oeste, tiene un área de cuenca de 9 kilómetros cuadrados (km²) sobre su confluencia con la quebrada Las Águilas. El río presenta un flujo anual promedio de 241 litros por segundo (l/s) aguas abajo de su intersección con las quebradas Las Águilas y Las Gordas.

8. ASPECTOS HIDROGEOLOGICOS

Gold Fields La Cima S.A. (GFLC) declara haber realizado, a la fecha, estudios para caracterizar el entorno hidrológico del área de la presa de relaves de la unidad minera Cerro Corona, y del proyecto en general, habiendo utilizado trazadores colorantes para determinar las direcciones y las velocidades del flujo de agua

subterránea, y modelamiento numérico tridimensional para predecir las pérdidas por filtraciones y para requerimientos de ingeniería.

GFLC manifiesta que aproximadamente al 60 % del área del proyecto subyacen calizas kársticas, que son caracterizadas por índices altos de percolación, drenaje sub-superficial de buen desarrollo, y patrones de flujo complicados en acuíferos subyacentes.

El problema de la karstificación fue identificado por primera vez por GFLC durante la construcción del área de la planta de procesamiento de minerales, antes del 2008, cuando múltiples características de disolución fueron descubiertas durante la preparación de la fundación. En términos generales, y comparando las calizas Pariatambo y Yumagual, el potencial de karstificación es relativamente el mismo en las áreas donde ocurren las zonas de falla, pero cuando no existen estas, la unidad Pariatambo tiene menos potencial de karst. GFLC ha enfocado los estudios posteriores sobre la karstificación en el mapeo de calizas kársticas y en realizar pruebas de campo y modelamiento para definir mejor y predecir los patrones de flujo de agua subterránea. Cabe mencionar que determinar la estructura y las propiedades de la roca fracturada y los acuíferos kársticos genera varios problemas prácticos debido a su naturaleza anisotrópica y severamente heterogénea.

GFLC ha desarrollado y actualizado un modelo integral de agua subterránea, el cual fue construido utilizando datos geológicos e hidrogeológicos, incorporando los resultados del monitoreo piezométrico a largo plazo, pruebas hidráulicas e información de campo relacionada al área del proyecto. El modelo numérico le ha servido a GFLC para predecir las vías de filtración que provienen de la infraestructura del área del proyecto, examinar la importancia de las características de mitigación de las filtraciones, y examinar el rol potencial de características de fallas transmisivas en pérdidas de filtraciones. Los resultados del modelamiento hidrogeológico han servido como inputs para el diseño y análisis de varias infraestructuras en el área del proyecto.

(Fuente: "Investigación Pericial del Incidente Ambiental del 16 de diciembre del 2018 en el Depósito de Relaves de la Unidad Minera Cerro Corona", Ego-Aguirre & Smuda S.A.C.)

9. DEPÓSITO DE RELAVES DE CERRO CORONA (TSF)

El depósito de relaves (TSF) de la unidad minera Cerro Corona fue construido por GFLC transversalmente a los valles de las quebradas Las Gordas y Las Águilas, antes de la confluencia con el río Tingo. El dique de contención ha sido conformado con enrocado por etapas, siguiendo un diseño por el método aguas abajo en el dique de arranque y posteriormente mediante el dique central en los recrecimientos para alcanzar una altura final aproximada de 160 m. Al final de la operación, el embalse del depósito de relaves alcanzará aproximadamente 150 hectáreas de tamaño y contendrá 100 millones de toneladas de relaves; el dique de contención alcanzará el nivel 3,800 msnm y los relaves el nivel 3,798 msnm.

El dique de la presa de relaves tiene un núcleo de arcilla de actualmente 8.5 m de ancho compactado. En su base y a lo largo de los estribos, se instaló una cortina de cemento de 30 m a 50 m de profundidad con la finalidad de minimizar las filtraciones. Asimismo, aguas abajo de la presa y antes de las pozas de contención de filtraciones (LVU), GFLC instaló otra cortina de cemento de 30 m de profundidad con el objeto de contener las posibles filtraciones y orientarlas a las LVU de donde se devuelven al depósito de relaves por bombeo. Además, el agua almacenada en el depósito de relaves se recircula continuamente al proceso metalúrgico, por lo cual sólo se descargaría agua al ambiente en caso de precipitación extrema, según lo requiera el balance hídrico o cuando se ponga en riesgo la capacidad de almacenamiento de agua en el depósito de relaves.

(Fuente: "Investigación Pericial del Incidente Ambiental del 16 de diciembre del 2018 en el Depósito de Relaves de la Unidad Minera Cerro Corona", Ego-Aguirre & Smuda S.A.C.)

En opinión del suscrito, el depósito de relaves (TSF) de la unidad minera Cerro Corona cumple con las especificaciones técnicas, desde el punto de vista hidrogeológico, para evitar posibles fugas de material (agua más finos), la distribución del TSF es correcta, observándose la laguna de aguas claras, las playas de relaves, el nivel de embalse, dique de contención, y los drenes para la regulación del manantial Las Tomas. ***(Ver Figura N° 2)***

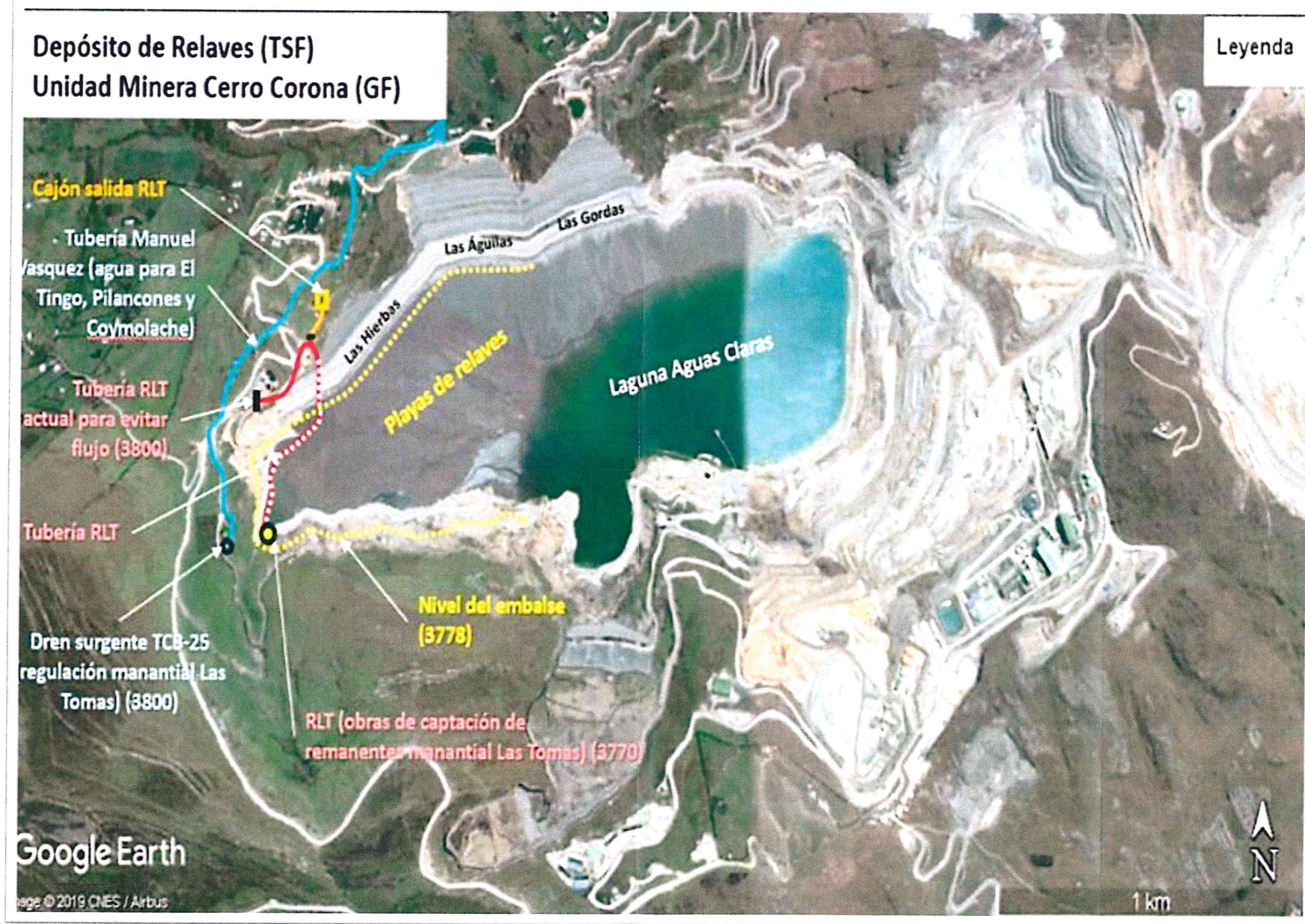


Figura N° 2: Detalles de ubicación de las obras de captación y regulación del manantial Las Tomas (sector oeste del depósito de relaves – TSF – de la unidad minera Cerro Corona) y elementos de control de filtraciones. (Fuente: Google Earth)

10. INCIDENTE AMBIENTAL

El evento ocurrido el día 16 de diciembre del 2018, aproximadamente a las 10:00 a.m., consistió en una descarga de agua con contenido de relaves (180 m³ aproximadamente) en la quebrada Las Hierbas, adyacente a la presa de relaves de la unidad minera Cerro Corona. **(Ver Figura N° 3)**

La causa fundamental del evento consistió en que al alcanzar el embalse del depósito de relaves (TSF) la cota 3,778 msnm, el relave y el agua del relave se conectaron, mediante una falla/fractura, con el nivel freático (flujo vertical), y luego con el sistema de derivación de aguas (SDA) del remanente Las Tomas (RLT), lo cual conllevó al incidente ambiental.

(Fuente: Datos tomados durante la inspección geológica a los representantes de Minera Gold Fields La Cima S.A.)

10.1. Medidas de mitigación

La empresa minera Gold Fields La Cima S.A (GFLC) manifiesta que, luego de ser reportado el incidente ambiental, tomó las siguientes medidas para mitigar la descarga de agua con contenido de relaves: la construcción de tres pozas de contención y el corte y revestimiento externo con cemento de la tubería y doblado de la misma para elevarla a una cota superior a la captación de las aguas remanentes del manantial Las Tomas y frenar el flujo por el principio de vasos comunicantes. Así mismo implementó un canal de conexión hacia la poza de contención de filtraciones (LVU) Las Águilas para derivar las aguas de la quebrada Las Hierbas hacia ella y su retorno a la presa de relaves.



Foto N° 3: Poza de contención de filtraciones (LVU), de 25 m de largo por 15 m de ancho, aproximadamente, revestida con geomembrana de 3 mm de espesor.



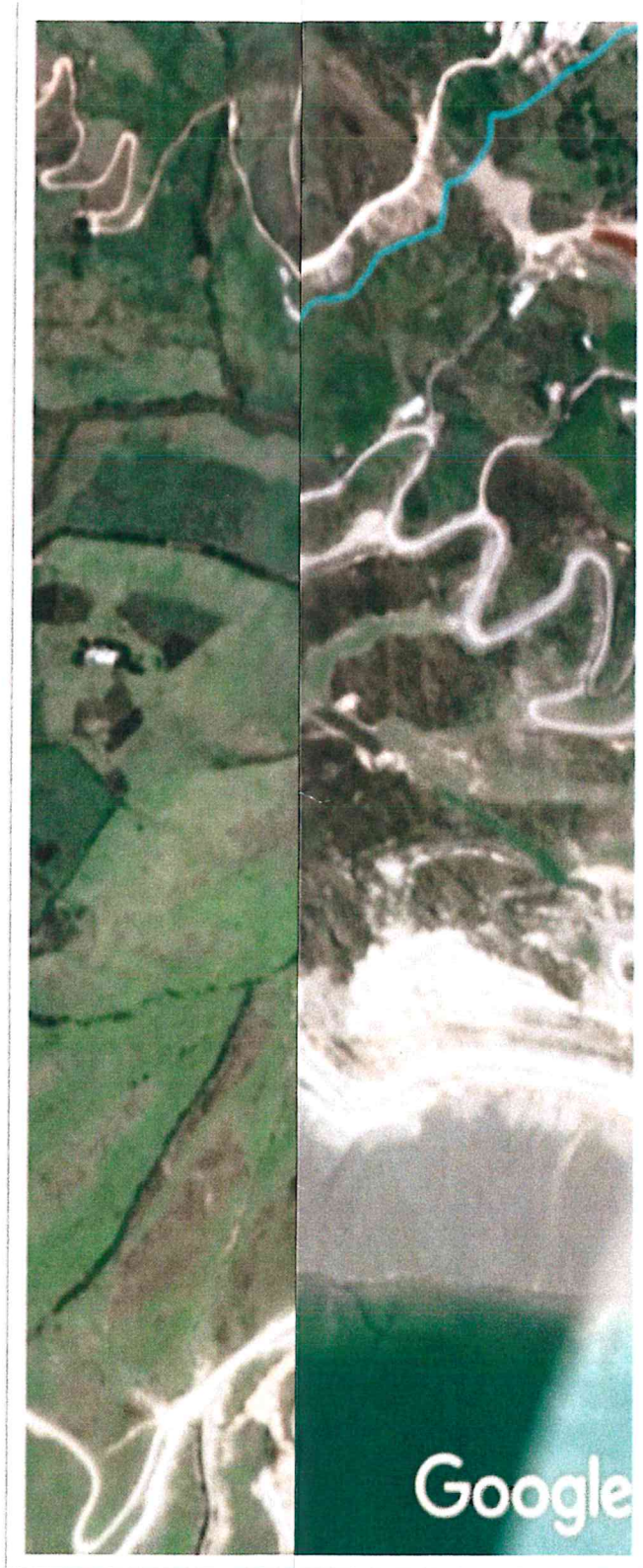
Foto N° 4: Tubería levantada (anulada) y revestida en forma externa con Cemento, luego del incidente ambiental; ancho promedio: 0.80 m.

Las actividades de limpieza del incidente se iniciaron el mismo día del evento y concluyeron el 5 de enero del 2019, la zona afectada fue dividida en 15 sectores, entre el 5 y el 10 de enero del 2019 se realizaron trabajos de control de calidad, GFLC contrató a la consultora internacional Golder Associates para que realice los trabajos de aseguramiento de la calidad de limpieza y remediación de las áreas impactadas.

A modo de evitar la generación de sedimentos en zonas con pendientes elevadas, se procedió a cubrir el suelo con mulch (paja), lo cual no afectará posteriores monitoreos previos a la revegetación.

El 27 de diciembre del 2018, representantes de la junta de usuarios de Bambamarca, de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y de Gold Fields La Cima S.A. (GFLC), realizaron una inspección ocular a los diferentes canales del río Tingo. Se visitaron 6 canales, constatándose que ya no existía evidencia de relaves.

(Fuente: Datos tomados durante la inspección geológica a los representantes de Minera Gold Fields La Cima S.A.)



11. GEOFÍSICA

Arce Geofísicos S.A.C. (Arce), en el informe técnico "*Perfiles de Refracción Sísmica con Interpretación por Tomografía Icónica y Tomografía de Resistividad Eléctrica*", de febrero del 2019, presenta los siguientes resultados:

Durante el desarrollo de la evaluación geofísica del sector del remanente Las Tomas (RLT) para evaluar las características del entorno hidrogeológico de la captación de agua del RLT que permitan clarificar la identificación de causas, el 30 de enero y el 01 de febrero del 2019 se ejecutó una campaña geofísica en la cual se levantaron 3 perfiles de 72.5 m cada uno de tomografía de resistividad eléctrica y esos mismos tres perfiles fueron levantados con 72 m de tomografía de refracción sísmica. En total se hicieron 217.5 m de tomografía eléctrica y 216 m de tomografía sísmica.

11.1. Resultados sísmicos

Por tratarse de secciones tomográficas, se espera que en estos modelos icónicos de onda P se obtenga la discriminación de "estructuras" en forma relativamente nítida.

En la línea L3-TCB se observa una deformación de la roca entre las progresivas 50 y 60 y las cotas 3770 y 3775. Igualmente, hay una pequeña alteración de la roca en la progresiva 48, cota 3760, como se puede ver a continuación.

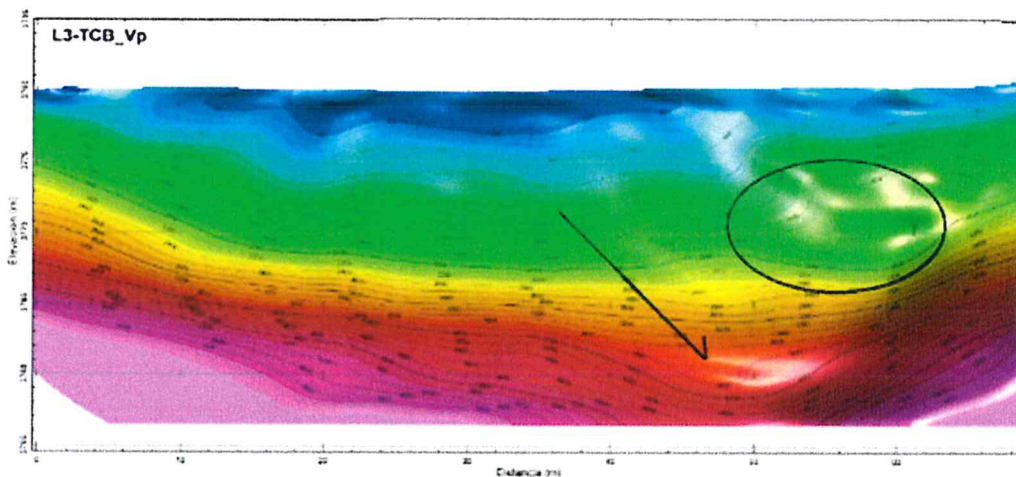


Figura N° 4: Sección de Tomografía Sísmica, perfil L3-TCB.

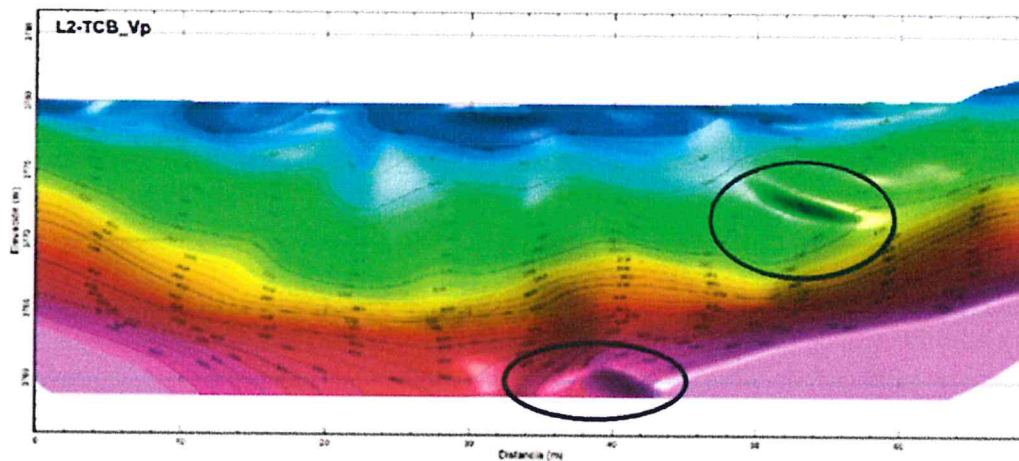


Figura N° 5: Sección de Tomografía Sísmica, perfil L2-TCB.

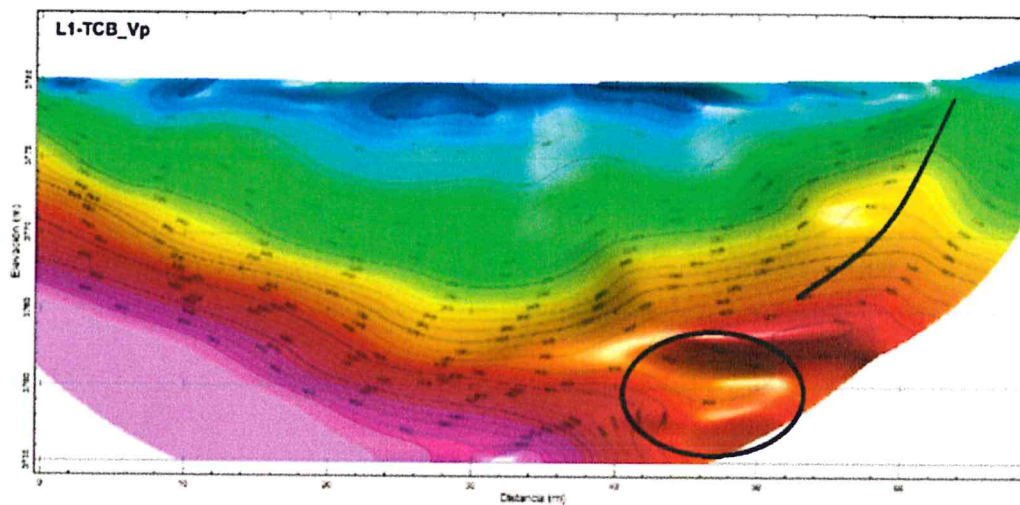


Figura N° 6: Sección de Tomografía Sísmica, perfil L1-TCB.

En opinión del suscrito, las líneas de secciones de Tomografía Sísmica reportan ciertas deformaciones que pueden ser pequeños defectos en la roca, pero **no aparentan ser problemas estructurales de consideración.**

11.2. Resultados eléctricos

La escala de resistividad revela que existe una cobertura de alta resistividad (rojo-blanco) con resistividades mayores a los 50 ohmio metros. Bajo esta cobertura, se ubica un contacto subhorizontal con resistividades menores a los 20 ohmio metros (negro-gris-azul) que probablemente representa la tubería de plástico saturada con agua que se espera esté en esta zona. Vale recalcar que la supuesta estructura con la tubería de paso se ve uniforme en la distribución de resistividades.

En las siguientes figuras se pueden ver las secciones de resistividad, con una marca donde se interpreta la posible caja de concreto que pudiera contener la tubería de agua. Como se puede ver en las tres secciones, cerca de la progresiva 62 hay una **aparente falla geológica**. Esta ha sido marcada con una línea blanca vertical.

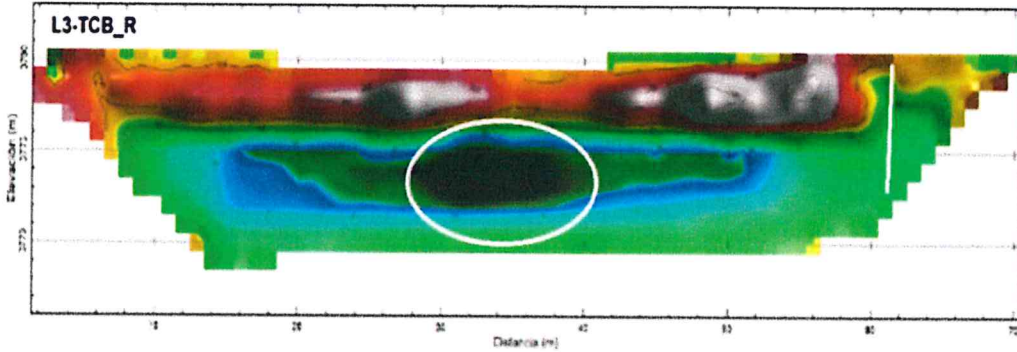


Figura N° 7: Sección de Tomografía de Resistividad, perfil L3-TCB.

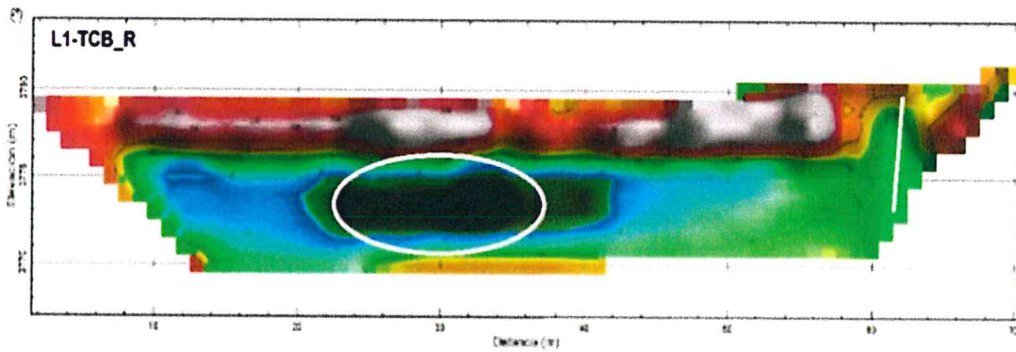


Figura N° 8: Sección de Tomografía de Resistividad, perfil L1-TCB.

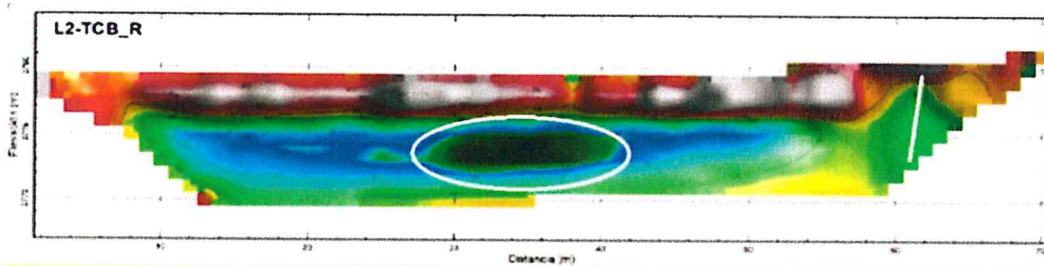


Figura N° 9: Sección de Tomografía de Resistividad, perfil L2-TCB.

(Fuente: “Perfiles de Refracción Sísmica con Interpretación por Tomografía Icónica y Tomografía de Resistividad Eléctrica”. Arce Geofísicos S.A.C., 2019).

En opinión del suscrito, las tres secciones de Tomografía de Resistividad (perfiles L1-TCB, L2-TCB y L3-TCB), **reportan la discontinuidad** cerca a la progresiva 62 (a la derecha de cada sección, en color blanco).

CONCLUSIONES

- 1. El incidente ambiental del 16 de diciembre del 2018 consistió en una descarga de agua con contenido de relaves en la quebrada Las Hierbas**, adyacente a la presa de relaves de la unidad minera Cerro Corona.

El suscrito llega a esta conclusión por los datos recogidos en campo durante el desarrollo de la inspección geológica, donde se incluyen las declaraciones de los representantes de la empresa minera Gold Fields La Cima S.A. (GFLC), sin embargo, al momento de la inspección **se observan pocos vestigios del incidente ambiental en superficie.**
2. Durante la inspección geológica, el suscrito pudo **constatar las medidas de mitigación tomadas por GFLC**, quienes manifestaron que tomaron medidas inmediatas para mitigar la descarga de agua con contenido de relaves, como la construcción de tres pozas de contención y el corte de la tubería y doblado de la misma para elevarla a una cota superior a la captación de las aguas remanentes del manantial Las Tomas y frenar el flujo por el principio de vasos comunicantes. Así mismo implementaron un canal de conexión hacia la poza de contención de filtraciones Las Águilas para derivar las aguas de la quebrada Las Hierbas hacia ella y su retorno a la presa de relaves. **(Ver Fotos N° 3 y 4)**
3. El suscrito opina que la causa fundamental del evento consistió en que al alcanzar el embalse del depósito de relaves la cota 3,778 msnm, **el relave y el agua del relave con finos se conectaron, mediante una fractura**, con el nivel freático (flujo vertical), y luego con el sistema de derivación de aguas del remanente Las Tomas, lo cual conllevó al incidente ambiental.

La Geofísica (Resistividad), realizada por Arce Geofísicos S.A.C., confirma la ocurrencia de una discontinuidad en las tres secciones de Tomografía de Resistividad (perfiles L1-TCB, L2-TCB y L3-TCB), observándose la discontinuidad cerca a la progresiva 62 (a la derecha de cada una de las tres secciones), esta discontinuidad **confirma una falla o fractura por donde conectaron el relave y el agua de la presa en la cota 3,778 msnm, produciéndose la descarga de agua más finos.** **(Ver Figuras N° 7, 8 y 9)**
4. La contención hidráulica fue bien trabajada en la presa de relaves de la unidad minera Cerro Corona, con el objetivo de mantener el interior del depósito de relaves con una cota hidráulica por debajo de la cota piezométrica del sistema hidrogeológico que lo circunda, impidiendo que se produzcan fugas desde la presa de relaves al exterior.

El suscrito opina que **la contención hidráulica ha sido correctamente diseñada y desarrollada en la presa de relaves de la unidad minera Cerro Corona.**
5. El suscrito opina que la correcta aplicación de la contención hidráulica y el monitoreo mediante la red de piezómetros, cuyos datos ponen de manifiesto que la cota piezométrica alrededor del embalse de relaves es superior a la cota del relave,

asegura que **no exista una posible contaminación del acuífero en el depósito de relaves de la unidad minera Cerro Corona**, por un principio fundamental de **diferencia de presiones que evita fugas del interior al exterior de la presa**.

6. El ambiente geológico que domina el área donde ocurrió el derrame de materiales de la relavera de la mina Cerro Corona está constituido por **calizas de la formación Yumagual, del Cretáceo superior**, las cuales presentan débil a moderado fracturamiento, no se observan zonas cavernosas en superficie, no llegan a constituir zonas kársticas, si se observa marmolización y recristalización, principalmente en el contacto con la roca intrusiva (cuarzodiorita). **(Ver Foto N° 2)**
7. Las principales estructuras en el área de inspección geológica son andinas y tienen un **comportamiento “normal” (distensivo)**. En cuanto a la neotectónica la única falla reactivada, “Chaquilbamba”, ocurre a más de 100 km de distancia.
8. La principal unidad geomorfológica en la zona donde se ubica el depósito de relaves de la unidad minera Cerro Corona es **Valle Glaciar (VII-gl)**, donde el fondo del valle es de **tipo “U”**; una segunda unidad geomorfológica es la unidad de **Colinas en roca sedimentaria (RC-rs)**, donde los afloramientos de roca han sido reducidos por procesos denudativos y conforman elevaciones alargadas con laderas disectadas y de pendiente moderada a baja. **(Ver Foto N° 1)**

RECOMENDACIONES

1. La empresa minera Gold Fields La Cima S.A. (GFLC) debe **proceder a rellenar con cemento el interior de la tubería** que ha sido levantada y revestida externamente, esta tubería se ubica en el sistema de derivación de aguas del remanente Las Tomas, debajo del dique; el objetivo es lograr su anulación total y reducir a cero el riesgo de fuga. **(Ver Foto N° 4)**
2. GFLC debe **continuar con el monitoreo mediante la red de piezómetros** en toda el área del depósito de relaves de Cerro Corona y zonas adyacentes, la información generada es importante para evitar los flujos de material hacia el exterior.
3. GFLC debe **desarrollar un modelo hidrogeológico regional que considere la interacción entre la presa de relaves y la excavación del tajo**, utilizando para ello un modelo de elementos finitos o discretos.
4. GFLC debe **actualizar permanentemente el modelo hidrogeológico** conceptual del funcionamiento hidrogeológico del entorno de la presa de relaves Cerro Corona, en base a la nueva información disponible.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Aliaga M., 2012. Controles de Mineralización del Pórfido Au – Cu Morocha – Minas Conga, Cajamarca – Perú. Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo.
- Ayala R., 2018. Gestión de Seguridad de Depósitos de Relave bajo Enfoque de Riesgo. Andes Asociados S.A.C. Osinergmin.
- Arce Alleva J. & Arce Helberg J., 2019. Perfiles de Refracción Sísmica con Interpretación por Tomografía Icónica y Tomografía de Resistividad Eléctrica. Arce Geofísicos S.A.C.
- Ego-Aguirre M., 2019. Informe Final – Investigación Pericial de Incidente Ambiental del 16 de diciembre del 2018 en el Depósito de Relaves de la Unidad Minera Cerro Corona. Ego-Aguirre & Smuda.
- Manrique W., 2013. Evaluación Hidrogeológica a partir del Drenaje del Tajo de Cerro Corona. Perumín 31 Convención Minera.
- Reyes L., 1980. Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Boletín N° 31, Serie A: Carta Geológica Nacional.
- Rivera L. & Redhead J., 2018. Reporte Integrado 2017 - Gold Fields Perú. Gold Fields La Cima S.A.
- Wilson J., 1984. Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepén. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Boletín N° 38, Serie A: Carta Geológica Nacional.


Manuel Rojas Casusol


Ing. CÉSAR A. CHACALTANA BUDIEL
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET