LA PREOCUPACIÓN FUNDADA DE SEDAPAL

SOBRE EL RIESGO QUE SUPONE EL PROYECTO MINERO ARIANA PARA EL AGUA DE LIMA

2014 - 2018

AÑO 2014

capacidad de almacenamiento útil de 8.00 MMC; trayendo consigo la disminución de la capacidad de almacenamiento de esta laguna, la misma que forma parte del sistema actual de lagunas y presas.

c) La contaminación de las aguas de laguna Sangrar, como producto de las operaciones mineras.
d) El descenso del nivel de las lagunas de Huancash, Shiusha y Escaparate, que alimentan a la laguna Sangrar, por efectos de infiltración a los socavones de las minas.

Por los motivos antes expuestos, solicito que por intermedio de su Despacho se solicite a la empresa Ariana Operaciones Mineras S.A.C. nos entregue la información relacionada a los estudios de hidrología, hidrogeología y Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Minero Ariana, a fin de tomar conocimiento fehaciente de las implicancias que conllevaría su desarrollo.

Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para expresarle las muestras de mi especial consideración y particular deferencia.

Atentamente,

Marco Vargas Medina
Gerente General (e)

CC. Autoridad Nacional del Agua - ANA
EDEGEL S.A.A.

Reg. 43132

Gerencia General
Autopista Ramiro Prialé Nº 210 - El Agustino
Teléfonos: (511) 317-3000 / 317-3007
Fax: (511) 362-5148

AÑO 2015

23 DE ABRIL

SEDAPAL
E E C DE PRODUCCION
IST CION PRIMARIA
23 ABR. 2015
RECIBIDO
MA ..... HORA 4:10 PM

Equipo Seguimiento y Control de Plantas

Informe N°23 -2015- -ESCP

A	:	Danilo Vergara Serrano Gerente de Producción y Distribución Primaria (e)
Asunto	:	Reunión solicitada por Ariana Operaciones Mineras S.A.C, sobre el Proyecto Ariana Operaciones Mineras S.A.C. y el Túnel Trasandino del Proyecto Marcapomacocha.
Referencia	:	1.- GAASSAOM037-2015, del 06.04.2015. 2.- Hoja de Envió GPDP, Reg. 40779, del 14.04.2015.
Fecha	:	Lima, 23 de Abril del 2015

En atención al documento de la referencia N°2, remitido por la GPDP de su representada solicita informar y preparar una repuesta al documento referencia No. 1, en el cual la empresa Ariana Operaciones Mineras S.A.C solicita una reunión y visita técnica los días 27 y 28 de Abril, a fin de tratar alcances técnicos - ambiental del proyecto Ariana y su relación con el túnel Trasandino del Proyecto Marcapomacocha, en aplicación a lo solicitado se remite el presente informe, adjuntado el proyecto carta para su remisión.

I.- e a

1.1 Ubicación del royecto A. ana Operac ones Mineras S.A.C.:
Comunidad Campesina Santiago de Carampoma.
Distrito: Macapomacocha
Provincia: auli
Departamento: Junín.

1.2 El EIA "Ariana" presentado por Ariana Operaciones Mineras S.A.C. involucra en sus áreas de afectación directa, zonas de conducción de aguas del sistema de afianzamiento Marca III correspondientes al canal Tucto y un tramo del Túnel Transandino, situación que se encuentra en análisis del equipo de mi representada para ver la mejor forma técnica de dar respuesta y/o opinión especializada.

II Antecedentes.

1. El 07.04.2014, La Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas, comunica mediante Oficio Nº 523-2014-MEM-DGAAM/DNAM a los miembros del Directorio de SEDAPAL, que la empresa Ariana Operaciones Mineras S.A.C. manifiesta que en el área del proyecto Minero Ariana localizado en la parte de los predios de la Comunidad Campesina de Santiago de Carampoma, distrito de Marcapomacocha provincia de Yauli la Oroya, departamento de Junín, se hallan las infraestructuras del Túnel Trasandino del Proyecto Marcapomacocha, teniendo como entidades administrativas a la Autoridad Nacional del Agua y a SEDAPAL, esta empresa Minera viene realizando durante la fase final de los Estudios de Línea de Base Social y Ambiental,

SEDAPAL Equipo seguimiento y control de plantas

así como los estudios de hidrología e hidrogeología, que forman parte del Estudio de Impacto Ambiental que viene elaborando para el Proyecto Minero Ariana.

2. El 25.04.2014, El Gerente General de SEDAPAL, comunica carta Nº 753-2014-GG a la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, se estima que las actividades relacionadas al proyecto Minero Ariana que la empresa Ariana Operaciones Mineras S.A.C. podrían afectar seriamente no solo a las unidades hidráulicas existentes en las inmediaciones del referido proyecto, sino a los cuerpos de agua existentes sin perjuicio de:
El desprendimiento de material de la zona de la bóveda y los hastiales del Túnel Trasandino Cuevas Milloc, perjudicando la conducción de agua por dicha infraestructura, como consecuencia de los disparos de explosivos en las zonas adyacentes y la reducción del recurso hídrico disponible para el almacenamiento de agua en las lagur .. de Shiusha y Sangrar (Pucrococha), que forma parte del sistema actual de lagunas y presas, se solicitó que nos alcance información relacionada a los estudios de hidrología, hidrogeología y Estudio de Impacto Ambiental.

3. El 24.02.2015, el Director General de Asuntos Ambientales Mineros, mediante oficio Nº 625-2015-MEM/DGAA/DGAM comunica al Gerente General de SEDAPAL y remite un (01) ejemplar del Estudio de Impacto Ambiental para Explotación y Beneficio Minero del Proyecto Ariana donde incluye los estudios de hidrología e hidrogeología realizados en dicho proyecto

4. El 06.04.2015, el Gerente de Asuntos Amo enta es, Sociales y de Seguridad de Ariana Operaciones Mineras SAC. Mediante AASSA M037-2015 solicita una reunión para tratar sobre el Estudio de Impacto Ambiental para xp otaco y Beneficio Minero – Proyecto Ariana y su relación con el Túnel Trasandino Cuevas – Milloc del Proyecto Marcapomacocha.

.- Ana s Prelim nar·

3.1. De acuerdo a lo visto en el tomo N° 1 plano 5-1 presentado con el documento Oficio Nº 523-2014-MEM-DGAAM/DNAM, del 7 de abril del 2015, se puede evidenciar que un tramo de la línea de conducción de aguas del túnel transandino que trasvasa las aguas del sistema Marca III de la cuenca del Mantaro a la cuenca del río Rímac para abastecer a la ciudad de Lima Metropolitana en épocas de estiaje se encuentra muy cerca de la cancha de relaves propuesta entre los componentes del proyecto minero y cuyas coordenadas UTM son: E 356750, N 8 727363.

Asimismo, el canal del sistema denominado "Tucto" estaría expuesto por estar debajo de la cota de la cámara de impulsión de relaves ubicado en la coordenadas UTM son: E 3357260, N 8 728692.

Equipo Seguimiento y control de plantas

IV.- .o n

4.1.- El ESCP, ha elaborado un Mapa de las estructuras y lagunas comprometidas con estas afectaciones por el Proyecto de la Empresa Ariana Operaciones Mineras SAC, los cuales se encuentran adjunto anexado.

V.-

1.- La Empresa Ariana Operaciones Mineras SAC. deberá presentar una exposición y presentación que tendrá lugar el próximo martes 05 de mayo del presente año a las 15:00 horas en los ambientes de SEDAPAL, donde Estarán presente los Especialistas que designe su Representada.

2.- Acceder a la visita técnica programada los días 27 y 28 de abril por La Empresa Ariana Operaciones Mineras SAC y la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas a fin de tratar y verificar aspectos técnicos ínsitu del Proyecto .

3.-El ESCP, sugiere se contrate a una consultora a fin de evaluar a detalle el EIA , presentado por La Empresa Ariana Operaciones Mineras SAC. por ser el EIA de carácter multidisciplinario.

Atentamente,

Gustavo Molero Ibáñez
Jefe Equipo de Seguimiento y Control de Plantas

Rómulo Cárhuaz Marcelo
Analista de Infraestructura Civil

8149

Minera Ariana - Santa Cecilia 1-B
Lag. Escaparate
Lag. Pucrococha
Lag. Huancash
Lag. Shiusha
Minera Ariana - San geronimo
Image © 2015 CNES / Astrium
©2015 Google
Google
Fecha de imágenes: 7/11/2014

AÑO 2015

14 DE JULIO

ANEXO VI-G

92
Noventa y dos

sedapal

Equipo Seguimiento y Control de Plantas

Informe Técnico Nº 36-2015-ESCP-EGIP-EGAm-EPFPI

A : Yolanda Andía Cárdenas
Gerente de Producción y Distribución Primaria

Asunto : Opinión técnica del EIA del Proyecto y Beneficio Minero "Ariana"

Referencia : 1) Memorando Nº 207-2015-GPDP, del 06.06.2015
2) Oficio Nº 1329-2015-MEM-DGAAM/DGAM del 29.05.2015
3) Carta Nº 753-2014-GG, del 25.04.2015

Fecha : Lima 14 de julio de 2015. **Registro 65445**

Atendiendo el requerimiento efectuado, por la Gerencia de Producción y Distribución Primaria (GPDP) de su representada, con el documento de la referencia Nº 1, la misma que contiene el documento de la referencia Nº 2), donde solicita opinión técnica referida al Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Minero "Ariana".

SEDAPAL Equipo Seguimiento y control de plantas

SEDAPAL EQUIPO GESTION INTEGRAL DE PLANTA

1. Antecedentes

1.1 SEDAPAL, mediante Carta N° 753-2014-GG de fecha 25.04.2014, comunicó al Ministerio de Energía y Minas - Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, en respuesta al Oficio N° 523-2014-MEM-DGAAM/DNAM, que el Proyecto Minero Ariana podría afectar la bóveda y los hastiales del Túnel Trasandino Cuevas-Milloc, como consecuencia de los disparos de explosivos en las zonas adyacentes, propio de la actividad minera. Asimismo, afectaría la calidad y cantidad de las aguas del conjunto de lagunas (Shiusha, Huancash y Sangrar con 8.8 MMC. con volumen útil de almacenamiento) que conforman el Sistema Marca I que fue ejecutado entre los años de 1957 al 1962, donde las aguas son trasvasadas de la cuenca del Mantaro hacia la cuenca del río Rímac, requiriendo para su evaluación los respectivos estudios hidrológicos y el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto minero Ariana, cuyo análisis de éste último motivan el presente informe.

1.2 El Proyecto de Explotación y Beneficio Minero Ariana, se encuentra localizado en el área de influencia del Sistema de Afianzamiento Hídrico de Marcapomacocha, emplazado en territorios de la Comunidad Campesina Santiago de Carampoma, jurisdicción del distrito de Marcapomacocha, provincia de Yauli, departamento de Junín.

2. Análisis y prevención de riesgos.-

SEDAPAL EQUIPO PLANEAMIENTO FISICO Y PRE INVERSION

2.1 Del Proyecto minero

El Proyecto minero Ariana, se encuentra ubicado en el distrito de Marcapomacocha, provincia de Yauli la Oroya departamento de Junín, en el paraje de Huancash, aproximadamente a 10 Km. del Centro Poblado de Marcapomacocha, es de yacimiento polimetálico. Su proyección es una mina subterránea con reservas principalmente de cobre y zinc, los que explotarían durante 10 años, bajo un cronograma de construcción de 24 meses.

SEDAPAL Equipo Gestión Ambiental

La capacidad de planta de beneficio proyectada es de 2000 Tm/día. Existe la posibilidad que podrían incrementarse las reservas de minerales con las nuevas exploraciones.

Los componentes del Proyecto Ariana son:

- Mina subterránea.- se encuentra entre las cotas 4 650 y 4 230 metros sobre el nivel del mar (msnm), existe una diferencia de 420 metros entre la cota m
- Canteras.
- Planta: chancado, molienda, flotación en circuitos de cobre y zinc.
- Campamento, con fuente de agua subterránea.
- Depósito de desmonte proyectado: con análisis de estabilidad física, sin generar aguas ácidas.
- Depósitos de relaves: Interacción del relieve entre el subsuelo. Se espera que las posibles infiltraciones se controlarán con la inyección de grouting y adicionalmente con revestimiento de geomembrana.
- PTAR doméstica e industrial: Se desconoce sus caudales; la disposición final del efluente industrial será por descarga al río Carispaccha, tributario del río Mantaro, aguas abajo de la represa Marcapomacocha.
- Pozo de agua subterránea. El caudal proyectado de agua a bombear será inicialmente de 20 l/s, llegando en la etapa de operación 72 l/s, sin embargo se espera caudales pico por encima de los 100 l/s, con recirculación de agua de proceso.
- Las áreas de influencia ambiental directa: 997,35 ha. (componentes mineros y vías de acceso a partir de la carretera distrital).
- Las áreas de influencia ambiental indirecta: de 2 217,23 ha.
- Las área de actividad minera: 193,61 ha. y
- Las áreas de uso minero: 151,57 ha.

2.2 Componentes de mayor impacto

- Habilitación de Depósito de Relaves.- Involucra principalmente trabajos de movimiento de tierras, construcción del dique de arranque que incluye la colocación de enrocado, material de filtro, pozas, canales de derivación, obras complementarias, etc. Sobre este dique de arranque durante la operación se realizará el recrecimiento del dique con relave grueso.

- Habilitación del Depósito de Desmonte.- Incluye la preparación de la superficie de fundación, colocación de un sistema de sub-drenaje para la colección de filtraciones y construcción de canales de coronación para el manejo de agua superficial. El depósito de desmonte será una instalación sin revestimiento con la idea que el desmonte de las operaciones mineras no tiene potencial degeneración de acidez.

- Usos del agua subterránea.- Cuatro (4) pozos de bombeo distribuidos en las cotas 4530, 4410, 4290 y 4230 msnm, desde las cuales se captará el agua de las filtraciones que se presente en las labores mineras subterráneas, cuyos excedentes serán bombeados a través de la chimenea de vía húmeda hacia pozas en superficie en la zona de la planta de beneficio, además de un pozo de contingencia a ubicarse en superficie, con 8 500 m^3 de capacidad.

- Potencial impacto negativo en la zona de influencia directa (que incluye a los sistemas de lagunas) por dispersión de material particulado propio de la actividad minera que podría alterar la composición química de los cuerpos de agua afectando irremediablemente dicho ecosistema.

- Potencial impacto negativo por efecto de la instalación de relaves en área cercana al túnel trasandino que podría infiltrar aguas ácidas que contiene el relave, hacia el túnel contaminando las aguas que son trasvasados a la cuenca del río Rimac.

2.3 Potenciales impactos hacia el Túnel Trasandino Cuevas-Milloc

Existe un impacto potencial que se generaría por la explotación del pozo de agua subterránea proyectado en la Mina Ariana, al reducir parte del flujo captado por el Túnel

Trasandino, a causa de la presencia de rocas fracturadas y la composición geológica de sus paredes. La condición geológica descrita y su probable impacto ocasionaría una merma al aporte del Túnel Trasandino, no se encuentran considerados en el Estudio Hidrológico.

- El mapa piezométrico no expresa la situación del Túnel Trasandino, que en su condición de dren local, colecta las aguas subterráneas de sus dos márgenes.
- El proyecto minero debe explicar ¿cómo ha previsto solucionar dos potenciales impactos?, el primero: es la infiltración de aguas ácidas hacia el Túnel Trasandino durante la etapa inicial de operación de la mina subterránea, el segundo es la infiltración del agua del túnel hacia el fondo de la mina durante la etapa final del minado.
- Para garantizar la ausencia de contaminantes que potencialmente ingresen al interior del Túnel Trasandino, la empresa minera debe instalar un sistema de monitoreo adecuado, incluyendo pozos de monitoreo en ambas márgenes del túnel.
- El proyecto minero debe incluir sistemas de contingencia ante eventuales derrames que potencialmente puedan descargar y contaminar el cauce de quebradas y lagunas o infiltrarse al interior del Túnel Trasandino.
- La inyección de Grouting en el lecho de la relavera no debería obstruir las fracturas de la roca por donde actualmente ingresa el agua subterránea al Túnel.
- Para asegurar que el agua ácida producida por la relavera no infiltre al Túnel Trasandino, la geomembrana se debería cubrir todo el lecho de la relavera y no solo el dique respectivo, tal como se muestra en los planos de diseño alcanzados.
- El plan de monitoreo presentado no incluye el monitoreo de la calidad del agua del Túnel Trasandino en la entrada ni en la salida,

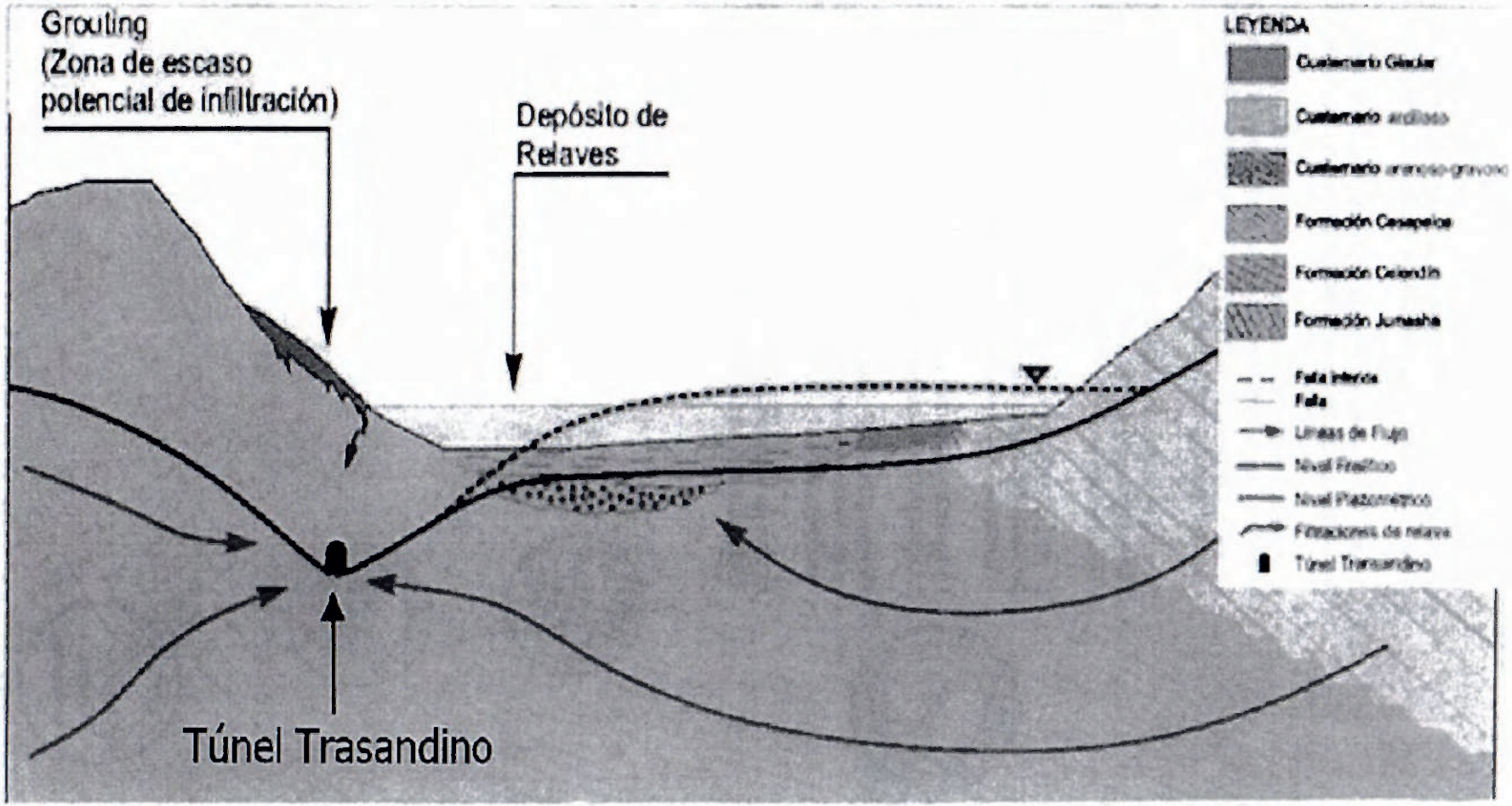
SEDAPAL - EQUIPO GESTIÓN INTEGRAL DE PLANTAS

SEDAPAL Equipo seguimiento y control de plantas

SEDAPAL EQUIPO PLANEAMIENTO FÍSICO Y PRESUPUESTO

SEDAPAL Equipo Gestión Ambiental

Figura N° 2 Flujo subterráneo natural hacia el Túnel Trasandino



94

Noventa y cuatro

2.4 Potenciales impactos hacia el Medio Ambiente

- El proyecto minero Ariana, por encontrarse en la cabecera de la cuenca del río Mantaro, de donde se extraen las aguas de derivación a Lima Metropolitana, amerita una especial evaluación por la Autoridad Nacional del Agua, Ministerio de Salud, Ministerio de Agricultura, SUNASS, entre otras autoridades de los sectores involucrados.

- En el ámbito del depósito de relaves del proyecto Ariana se consideran cuatro (4) áreas de aporte que pertenecen a la cuenca principal denominada cuenca de la Pampa Iscumachay. De acuerdo al plano PA-01, el **Depósito de Desmontes** ocupará una buena parte de dicha quebrada y por ende sepultará parte de los bofedales existentes. No se conoce la forma de mitigarlos.

- El **Depósito de Relaves** se encuentra sobre el cauce natural que sirve de conducción las aguas de rebose de lagunas en cascada denominadas Chulio, Rumicruz y Huarmi (1 y 2), por lo cual generará un impacto en la calidad y cantidad del agua aportante al Túnel Trasandino a través de las bocatomas de captación de Jorococha, Tilarhuay y Sangrar que trasvasan sus aguas hacia Lima.

- El **Botadero de Material Inadecuado N° 2** tiene previsto tomar agua del cauce natural, para lo cual deberán tramitarse los permisos correspondientes ante la Autoridad Local del Agua Mantaro.

La Planta de Beneficio, Cancha de Minerales, Cantera Huarmis Grando, Botadero de Material Inadecuado N° 1, Depósito de Desmonte, Taller de Mantenimiento, Polvorín y demás estructuras propias de la mina, se encuentran en el área de drenaje natural de la Laguna Huancash, por lo cual generará un impacto en la calidad del agua aportante al Túnel Trasandino a través del Canal Tucto, en la derivación hacia Lima.

- El área de influencia directa del Proyecto Minero Ariana cuenta con vías de pastoreo de ganado, que no han sido identificadas en los planos alcanzados.

- Existen numerosas interferencias entre los cursos de agua hacia el sistema de derivación a Lima y los emplazamientos para el desarrollo de los procesos mineros, aún no detallados en los planos del Proyecto Minero Ariana.

- Si bien el emplazamiento de los componentes del Proyecto Minero Ariana pertenecen geográficamente a la cuenca hidrográfica del río Mantaro, es la zona de mayor pluviosidad y donde se encuentra el principal sistema hidráulico construido con el propósito de derivar las aguas para el abastecimiento de Lima y Callao.

- Para prevenir que no ocurra infiltración de aguas contaminantes (ácidas y residuales), los depósitos de residuos sólidos proyectados (desmontes, relleno sanitario y otros) deberán estar provistos de una capa impermeabilizante a base de geomembrana que cubra toda su base. No basta con impermeabilizar con geomembrana el lecho de la relavera, tal como se muestra en los planos alcanzados.

- Por otro lado, cabe señalar que el Proyecto de la Mina Ariana se contrapone con las acciones que SEDAPAL, SUNASS y organizaciones no gubernamentales vienen impulsando en la protección de pajonales, humedales y bofedales por contribuir en conjunto, al mantenimiento de la conectividad hidrológica, a partir de proyectos de servicios ecosistémicos, acorde a la nueva normativa, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos, Ley 30215.

Pampa Iscumachay, de suelos predominantemente morrénicos, zona donde se emplazará la Presa de Relaves, cuyo depósito final sería de 4,2 y 1,3 MMC de relave grueso y fino, respectivamente. La precipitación promedio anual en este sector es de 1086 mm. (*Estación Milloc*)

- En caso se produzcan aguas ácidas producto del drenaje ácido de roca de los depósitos de desmonte y de la mina subterránea, éstas deben ser adecuadamente tratadas y por separado en una planta de tratamiento, antes de ser vertidas al medio ambiente. Este tratamiento debe garantizar la buena calidad del agua, inclusive durante la etapa de post cierre de la mina.

- Existe un potencial impacto negativo en la zona de influencia directa (que incluye al sistema de lagunas) por dispersión de material particulado propio de la actividad minera (dispersión de polvo) que puede alterar la composición química de los cuerpos de agua, afectando irremediablemente dicho ecosistema.

2.5 Potenciales impactos hacia el río Carispaccha

- La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, proveniente de las actividades de explotación minera, planta de beneficio, depósito de relaves y el agua de contacto de Depósito de Desmonte, descargará sus efluentes al cauce del río Carispaccha (según Plano PA-01). Entre los procesos de esta Planta está la sedimentación de los sólidos en suspensión, la concentración de metales y el control del pH. Al respecto, si bien la descarga de dichos efluentes está fuera del curso de agua que se derivan a Lima, sí impacta en la calidad de las aguas del río Mantaro, estando inmerso dentro del alcance de los Estándares de Calidad Ambiental - ECA (D.S. N° 002-2008-MINAM), el cual será materia de evaluación por la Autoridad Local del Agua Mantaro. Por lo que, deberá considerarse el replanteo del diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales propuesta.

2.6 Potenciales impactos del Botadero de Material Inadecuado

- El Botadero de Material Inadecuado N° 1 y 2 (Figura N° 1) no cuentan con un sistema de sub-drenaje, que permita captar flujos de agua subterránea que se originen dentro de los límites del depósito y la escorrentía superficial producto de las precipitaciones intensas propias de la zona, para posteriormente derivar los flujos hacia la relavera.

2.7 Dada la sensibilidad que plantea el proyecto minero Ariana, con relación al peligro que representa al sistema de almacenamiento, calidad y transporte de las aguas que utiliza SEDAPAL para atender de este recurso a la población de Lima y Callao, se debería requerir que las autoridades rectoras en materia de agua - ANA, consideren la objeción al proyecto minero, porque debe entenderse que el diseño, a nivel de factibilidad, contempla imprecisiones que pueden ser complejas y magnificarse en la etapa de ejecución y

operación del proyecto minero, lo cual pondría en riesgo la salud de más de nueve millones de peruanos.

2.8 Tratamiento de efluentes industriales y domésticos

El proyecto Ariana indica que se tratarán los efluentes domésticos e industriales mediante Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para realizar el vertimiento de los efluentes líquidos tratados a un cuerpo superficial de agua, cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes líquidos minero-metalúrgicos; sin embargo, no existen LMP para los todos parámetros importantes para el control de contaminación de cuerpos de agua y los LMP existentes son relativamente flexibles, ya que al asegurar la descarga de efluentes mineros con niveles de los parámetros por debajo de dichos LMP, no se asegura la calidad del agua del cuerpo receptor y se podrían originar impactos negativos, lo cual resulta critico si se considera que dicha fuente de agua se utiliza para fines de abastecimiento público de agua.

SEDAPAL Equipo seguimiento y control de plantas

Para el caso de parámetros no regulados, los titulares mineros deben demostrar técnicamente en base a parámetros internacionales, que su vertimiento al cuerpo receptor no ocasionará efectos negativos a la salud humana y al ambiente.

En virtud a lo mencionado, cabe resaltar que sería necesario definir el objetivo del tratamiento de los efluentes (industrial y doméstico) de la Minera Ariana, en base a estándares rigurosos como los Estándares de Calidad Ambiental para agua, Categoría 1-Clase II, u otra norma internacional con parámetros y límites permisibles más estrictos que los especificados en el D.S Nº 010-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes de Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas", los cuales a su vez servirán para la evaluación de la calidad de los efluentes obtenidos del Proyecto Minero.

SEDAPAL EQUIPO GESTION INTEGRAL DE PLANTA

3. Conclusiones y Recomendaciones

3.1 El proyecto minero Ariana podría afectar la bóveda y los hastiales del Túnel Trasandino Cuevas-Milloc, por donde se conduce el agua para la población de Lima y Callao, que abastece a mas de 9.5 millones de habitantes, como consecuencia de la infiltración de los líquidos lixiviados, que tienen metales tales como cobre y plomo; asimismo se encuentra expuesto a los disparos de explosivos en las zonas adyacentes, propio de la actividad minera, lo cual requiere evaluarse desde los aspectos, físico químico, geotécnico y geológico en la zona de explotación minera.

3.2 Las actividades del proyecto minero Ariana, presentan el potencial riesgo de que podría afectar la calidad físico química, así como la cantidad de las aguas del conjunto de lagunas que conforman el sistema Marca I y Marca III, que son trasvasadas por el Túnel Trasandino Cuevas-Milloc, a la cuenca del río Rímac, cuyos impactos ambientales deben ser evaluados y medidos con mayor certeza y confiabilidad, de tal modo que se pueda adoptar acciones orientadas al control y mitigación de los impactos ocasionados.

SEDAPAL EQUIPO PLANEAMIENTO FISICO Y PRE INVERSIÓN

3.3 El proyecto minero Ariana, debe plantear medidas de mitigación sobre el probable impacto ambiental producido, a partir de una mayor medición de los bofedales que serán cubiertos por los depósitos de desmontes, relaves y los efectos adversos que podrían ocasionar los líquidos provenientes de la flotación que contienen compuestos orgánicos e inorgánicos.

3.4 El proyecto minero Ariana, efectué un estudio, con marcadores (trazadores) iónicos que permita determinar con certeza los flujos de agua de subsuelo, lo cual permitirá asegurar que la explotación no deprimirá el sistema de lagunas (Shiusha, Huancash y Sangrar con 8.8 MMC. con volumen útil de almacenamiento).

SEDAPAL Equipo Gestión Ambiental

3.5 El proyecto Minero Ariana, amerita una especial evaluación a cargo de las autoridades sectoriales tales como: La Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Ministerio de Salud, el Ministerio de Agricultura y la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento SUNASS.

3.6 El proyecto Minero Ariana, debe considerar el tratamiento de los efluentes industriales y domésticos a niveles elevados de tal manera que el efluente tratado debe cumplir con limites similares a los Estándares de Calidad Ambiental de Agua, Categoría 1-Clase II u otra norma internacional con parámetros y Límites Permisibles más estrictos que los especificados en el D.S Nº 010-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes de Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas", para la evaluación de la calidad de los efluentes obtenidos del Proyecto Minero.

3.7 El Proyecto Ariana debe de ahondar los estudios hidrogeológicos en la zona donde va a estar emplazada todo el sistema minero metalúrgico, debido a que en la zona se encuentran infraestructuras hidráulicas (Conducción, almacenamiento, obras de arte, geológicas y otros), que permiten captar el agua en forma natural y artificial para su posterior conducción a la cuenca de Santa Eulalia y su aprovechamiento para fines de uso agrícola y no agrícola.

3.8 Para fines de evita la contaminación del recurso natural de tipo hidrológico e hidrogeológico se debe de plantear alternativas que permitan garantizar la no contaminación del recurso hídrico, bajo la implementación de técnicas de impermeabilización adecuadas para la retención de flujos analizando los pro y los contra; asimismo contemplar la estabilidad del mismo y en la zona de estudio considerando que el túnel trasandino en su entorno existe rocas kasrticas

3.9 Reevaluar los impactos que se generan desde el punto de vista geológico, hidrogeológico e hidrológico, y su influencia en la contaminación química, planteando la impermeabilización del túnel transandino así como la protección del mismo en su estabilidad y escurrimiento sub superficial

Atentamente,

Gustavo Molero Ibáñez
Jefe Equipo Seguimiento y Control de Plantas

Juan Moreno Oscanoa
Jefe Equipo Gestión Integral de Plantas

Alvaro Torres Enriquez
Jefe Equipo Gestión Ambiental

Daniel Benvenutto Mavila
Jefe Equipo de Planeamiento Físico y Pre Inversión

Cc.:ESCP, EGIP, EGAm, EPFPI

AÑO 2018

24 DE JULIO

96
Noventa y seis

ANEXO VI-H

sedapal

SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LIMA

GERENCIA GENERA

Autopista Ramiro Prialé 210 - El Agust
Teléfonos: (511) 317-3000 / 317-3(
Fax: (511) 362-51

ISO 9001:2008
ISO 14001:2004
OHSAS 18001:20

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

Carta N° 1013 -2018-GG

Lima, 24 JUL. 2018

Señor Doctor
Francisco Ísmodes Mezzano
Ministro de Energía y Minas
Av. De las Artes Sur N° 260
San Borja.-

Asunto : Condiciones para próxima construcción y operación de Depósito de Relaves del Proyecto Minero "Ariana", adyacente al Túnel Trasandino Cuevas - Milloc

Referencia : Carta N° 736 -2018-GG (Reg. N° 46295-218)

Mediante la presente me dirijo a usted, con relación al documento de la referencia, con el que manifestamos nuestra preocupación por la posible autorización del inicio de la construcción y operación del Depósito de Relaves del Proyecto minero "Ariana", al encontrarse colindante al Túnel Trasandino, por lo que, previo a ello, recomendamos que se debía someter el estudio del proyecto a una evaluación de riesgos y vulnerabilidad, a fin de adoptarse los estándares de seguridad más elevados, considerando que el diseño de la cimentación de la presa de relave se encuentra sobre una capa de depósito lacustre, generando las probabilidades de rotura de la presa y la licuación estática de los residuos mineros y su escape del depósito, que podría afectar el agua que se conduce por dicho Túnel.

En esta oportunidad, al haber tomado conocimiento que la administradora del Proyecto Ariana es la empresa Southern Peaks Mining (SPM), la que abandonara el plan de cierre de la unidad minera Quiruvilca, permitiendo que sea invadida por mineros informales y que se declare en emergencia ambiental "*por inminente riesgo de afectación de la calidad de las aguas de la cuenca alta del río Moche por el desborde y ruptura de los diques de las relaveras*" (R.J. 196-2018-ANA), solicitamos que dicha empresa presente garantías de cumplimiento del EIA del Proyecto Ariana, por encontrarse en el área de influencia del Túnel Trasandino Cuevas-Milloc, de gran importancia para las ciudades de Lima y Callao, usado para el trasvase de agua de la cuenca del río Mantaro para el procesamiento de agua potable por SEDAPAL. Una mayor información de SPM se encuentra en la ayuda memoria adjunta.

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente,

Neil Michael Vega Baltodano
Gerente General

C.C.: OEFA / OSINERGMIN / SENACE-MINAM / Vice Ministerio de Minas
GDI /GPDP / GALR / ER / EPFPI / Arch.
Adj. Ayuda Memoria con anexos
JCA

SEDAPAL
CÉSAR HEDDON NEGURA
Equipo Planeamiento Financ. y Presupuesto

SEDAPAL
JORGE RUCOBA TELLO
Gerente de Desarrollo e Investigación (e)

AÑO 2018
21 DE DICIEMBRE

97

ANEXO VI-I Noventa y siete

sedapal

SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LIMA

[redacted]
GERENCIA GENER

Autopista Ramiro Prialé 210 - El Ag
Teléfono: (511) 317-3000 / 31
Fax: (511) 36

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

Sagui
30474

Carta N° 1745-2018-GG

CONGRESO DE LA REPÚBLICA
ÁREA DE TRÁMITE DOCUMENTARIO
MESA DE PARTES
26 DIC 2018
RECIBIDO
Firma Hora 9:57

Lima, 21 DIC. 2018

Señorita
Marisa Glave Remy
Congresista de la República
Plaza Bolívar, Av. Abancay s/n
Lima

Asunto : Depósito de relaves del proyecto minero Ariana

Referencia : Oficio N° 719-2018/MGR-CR - Reg. N° 172028-2018

Mediante la presente me dirijo a usted, con relación al documento de la referencia, a través del cual, solicita información relacionada a las condiciones en las que se construirá el depósito de relaves del proyecto minero Ariana, situado en la región Junín, ejecutada por la empresa Southern Peaks Mining.

Al respecto, se adjunta el Informe N° 059-2018-EPFPI, elaborado por el Equipo de Planeamiento Físico y Pre Inversión de la Gerencia de Desarrollo e Investigación, para su conocimiento y los fines que estime pertinentes.

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente,

Neil Michael Vega Baltodano
Gerente General

c.c: SG del MVCS/GDI/GPDP/GALR/EPFPI
JCA

SEDAPAL
PLANEAMIENTO FÍSICO Y PRE INVERSIÓN

SEDAPAL
JORGE RUCOBA TELLO
Gerente de Desarrollo e Investigación
(e)

sedapal

Equipo Planeamiento Físico y Pre Inversión

Informe N° 059 - 2018 – EPFPI

A : Neil Michael Vega Baltodano
Gerente General

Asunto : Condiciones para la construcción y operación de Depósito de relaves del proyecto minero "Ariana", adyacente al Túnel Trasandino

Referencia : Oficio N° 719-2018/MGR-CR (Reg. N° 172028-2018)

Fecha : Lima, 30 NOV. 2018

1. Antecedentes

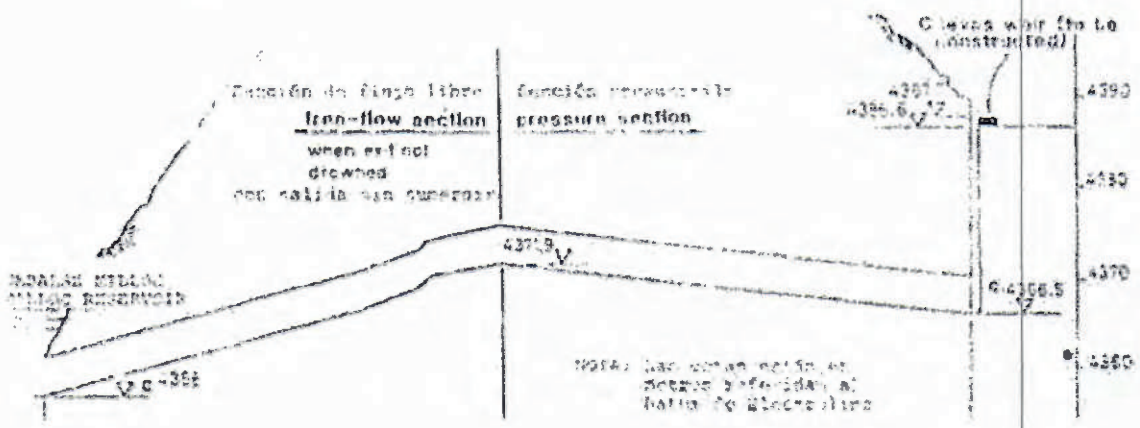
Mediante el documento de la referencia, la Congresista de la República, Sra. Marisa Glave Remy, solicita a SEDAPAL que remita toda la información con la que cuenta respecto a la construcción del depósito de relaves del proyecto minero Ariana, así como la comunicación que se haya enviado al Ministerio de Energía y Minas.

2. Análisis

2.1 Del Proyecto Trasvase de Aguas de la Cuenca Atlántica para Lima y Callao

Una de las obras más importantes del afianzamiento hídrico de la cuenca del Rímac fue la construcción del Túnel Trasandino Cuevas – Milloc (1957-1963) que conecta la cuenca Atlántica, parte alta del Mantaro, con la cuenca Pacifica, parte alta del río Santa Eulalia (afluente del Rímac). Esta obra con el represamiento de las lagunas Antacoto, Marcapomacocha, Marcacocha y Sangrar (Marca I), construida por la empresa ex – Electrolima, tuvo por objetivo aumentar el desarrollo hidroeléctrico y dotar de agua potable a la Ciudad Capital creciente de la década de los años 60.

El Túnel tiene una longitud total de 10.1 km y una capacidad de 14,5 m^3/s, más de 55 años de construido y cumple la importante función de derivar los aportes de los proyectos Marca I, III y IV que se han ido incorporando progresivamente, y a futuro otros aportes, por lo que constituye la infraestructura hidráulica de vital importancia para las poblaciones de Lima y Callao.

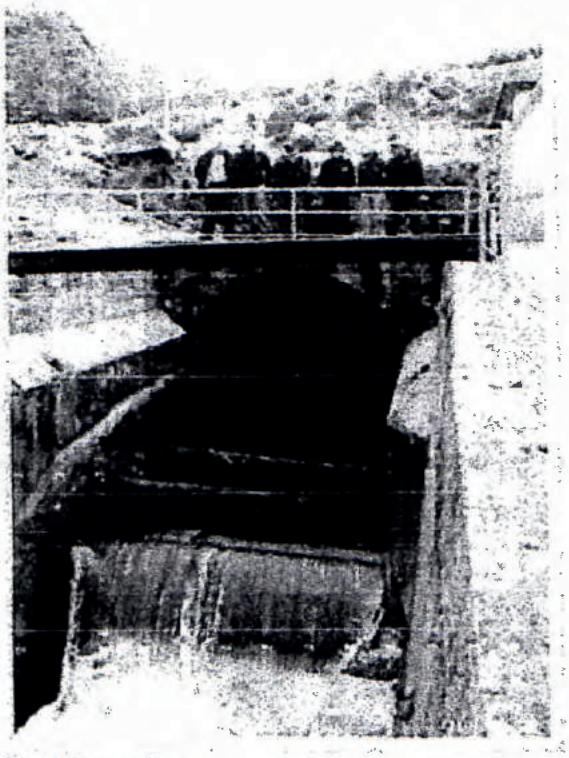


SEDAPAL
JORGE RUCOBATELLO
Gerente de Desarrollo e Investigación
(e)

98
Noventa y ocho

Este túnel se construyó con pendientes ascendientes desde cada entrada hacia la cumbre central, de sección irregular, en arco, con algunos tramos revestido de concreto que se amolda a la sección excavada, con lo que el perfil longitudinal no es uniforme, a pesar de que la variación en las áreas de sección generalmente es algo menor que en las áreas no revestidas. A fin de proporcionar la carga necesaria para impulsar el agua a través del túnel, ésta ingresa por el extremo de aguas arriba por un pozo vertical de 20 m. de altura, a un nivel de 4349 msnm.

Como consecuencia del ensanchamiento de la sección central en años posteriores, la capacidad del túnel alcanzó a 14,5 m3/s. Los volúmenes de derivación a la cuenca del río Rímac alcanzaron a 97.0 MMC/año, el cual se incrementó a partir de 1999/2000 a 157.05 MMC/año con la incorporación del Mega Proyecto de SEDAPAL denominado Marca III, y a partir de julio-2012 con un volumen mayor a 200 MMC/año con las obras del proyecto Derivación Huascacocha – Río Rímac -Marca IV.



Entrada y salida del Túnel Trasandino

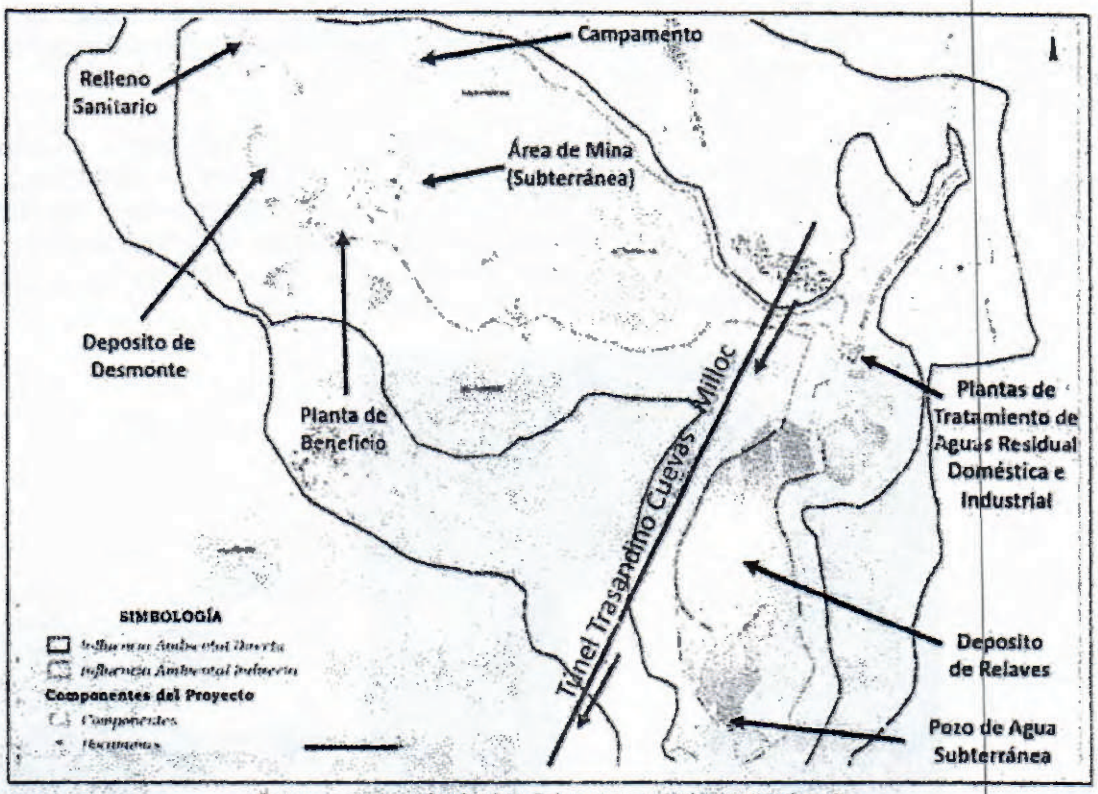
Para un mejor entendimiento de lo anteriormente expuesto, se anexa la infografía de los proyectos Derivación Huascacocha Río Rímac (Marca IV) y Afianzamiento Hídrico del Sistema Marcapomacocha (Marca III), cuyas aguas ingresan al único Túnel Trasandino.

2.2 Del Proyecto Minero Ariana

De acuerdo al aviso de solicitud de concesión de beneficio, publicado en el Diario Oficial El Peruano el 31.10.2017 por la Dirección General de Minería, Expediente N° 2726904, dicha concesión comprende una extensión de 546.89 ha. de terreno superficial, ubicada en el

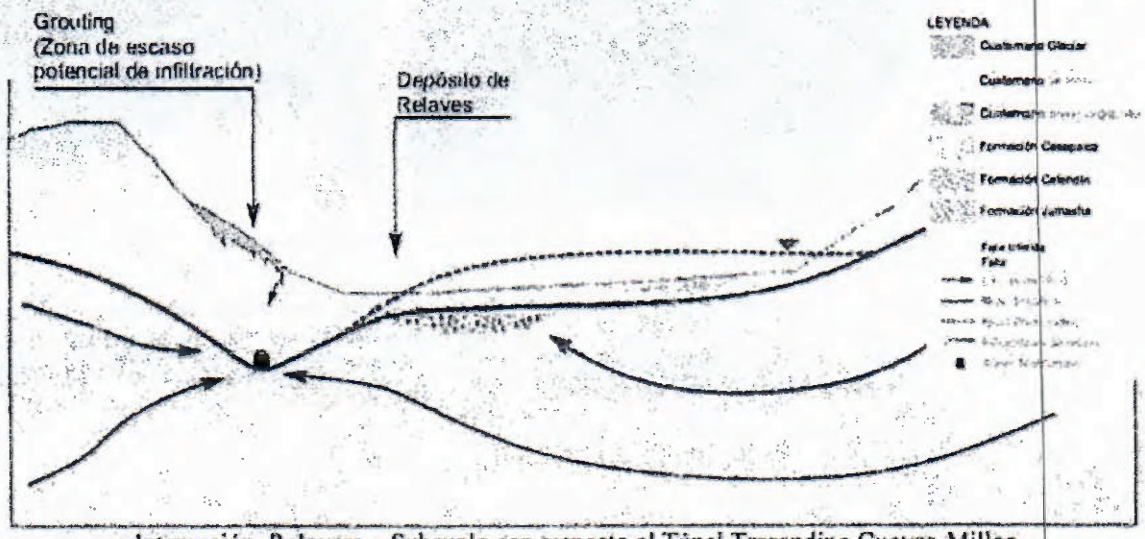
SEDAPAL JORGE RUCOBA TELLO Gerente de Desarrollo e Investigación (e)

distrito de Marcapomacocha, provincia de Yauli y departamento de Junín. La Planta de Beneficio tendrá una capacidad inicial de 2,000 TM/día, que procesará minerales de Cobre y Zinc.



Componentes principales del proyecto minero "Ariana"

La Planta de beneficio comprende: Chancado, molienda, flotación, espesado, filtrado y manejo de relaves, estimándose que se requiere de 20 l/s de agua a ser extraída de la mina subterránea realizándose recirculación de agua de proceso, tratándose las aguas residuales en una planta hasta disponer en el río Carispaccha.



Interacción Relavera – Subsuelo con respecto al Túnel Trasandino Cuevas-Milloc

SEDAPAL
JORGE RUCOBATELLO
Gerente de Desarrollo e Investigación (e)

De acuerdo a lo expuesto por los representantes de la Minera Ariana en las oficinas de SEDAPAL en abril del presente, el Depósito de Relaves no representa ningún riesgo de afectación en la calidad de agua del Túnel Trasandino Cuevas Milloc por lo siguiente:

El tendrá un dique de arranque de 18 m. de altura inicial conformado con relleno estructural de relave grueso y un dique final de 30 m. de altura. El vaso del depósito tendrá una capa de arcilla de 13 m. de espesor en los bordes y 32 m. en la zona central. La parte lateral se impermeabilizará mediante la colocación de geomembrana, a fin de evitar cualquier impacto hacia el Túnel Trasandino.

El concepto de relave, es un sólido finamente molido, que se descarta en operaciones mineras. La minería de sulfuros de cobre extrae grandes cantidades de material (roca) del yacimiento que se explota. Sólo una pequeña fracción corresponde al elemento de interés económico que se desea recuperar. Una vez que ese material (la roca) ha sido finamente molido y concentrado por procesos de flotación, se obtiene un material (el concentrado) con una concentración más alta de cobre (entre 20 y 30%), que se puede vender como Concentrado o procesar hasta cobre metálico puro. El resto del material (muy pobre en cobre) se denomina "relave", y se debe depositar de forma segura y ambientalmente responsable.

Sin embargo, de acuerdo a lo expresado por la Empresa ENEL, propietaria del Túnel Trasandino Cuevas-Milloc, en su Carta N° AL-177-2018 del 10.05.2018 dirigida al MEM, indica que "*la presa de relaves del proyecto minero Ariana, estaría aproximadamente entre las progresivas Km 1+900 y 3+100. El dique de arranque de la presa estaría a la altura de la progresiva Km 2+048, cuya geología es de lutita (material muy compacto e impermeable). A partir de esta progresiva hasta el final del Túnel, la geología es de caliza pizarrosa muy fracturada (material permeable y kárstico).*

En la progresiva Km 2+160, hay una filtración abundante de agua subterránea, en cuya altura se depositaría el relave. A la altura de la progresiva Km 2+595, se tiene una falla geológica importante, lo cual preocupa teniendo en cuenta que el relave estaría ubicado aproximadamente a unos 340 m. y a una profundidad aproximada de 60 m. En la progresiva Km 2+738, se tiene una filtración de agua importante que en el momento de la inspección se encontró seca. Si en este punto no cae actualmente agua, podría ser un punto de filtración de agua del relave. Entre las progresivas Km 3+018 y 3+156, hay falla geológica muy fracturada por la que se filtra un gran chorro de agua. A esta altura al parecer se usará como depósito de relaves".

2.3 De las acciones tomadas por SEDAPAL y el MEM

Mediante Carta N° 1013-2018-GG de fecha 24.07.2018 de SEDAPAL, se manifestó al titular del Sector Energía y Minas, nuestra preocupación ante la próxima construcción y operación del Depósito de Relaves del Proyecto minero "Ariana", recomendando que se "*debía someter el estudio del proyecto a una evaluación de riesgos y vulnerabilidad a fin de adoptarse los estándares de seguridad más elevados, considerando que el diseño de la cimentación de la presa de relave se encuentra sobre una capa de depósito lacustre, generando las probabilidades de rotura de la presa y la licuación estática de los residuos mineros y su escape del depósito, que podría afectar el agua que se conduce por el Túnel Trasandino Cuevas-Milloc*", cuyo destino es para la atención del abastecimiento de la población de Lima y Callao.

Visto la Carta Notarial N° AOM-GG-009-2018 de fecha 28.08.2018 de la Empresa Ariana Operaciones Mineras S.A.C. dirigida a SEDAPAL, se tomó conocimiento que, mediante Resolución Directoral N° 205-2018-MEM-DGM-DTM/PB del 10.07.2018, la Dirección General de Minería aprobó el expediente de Concesión de Beneficio "Ariana", autorizándosele la

SEDAPAL
JORGE RUCOBA TELLO
Gerente de Desarrollo e Investigación
(e)

construcción de la Planta de Procesos Metalúrgicos, Depósitos de Relaves e instalaciones auxiliares.

El nivel de afectación que podría sufrir el Túnel Trasandino Cuevas-Milloc, aún cuando no haya fallado el Depósito de Relaves, es por el drenaje subterráneo del líquido que hay al interior del Túnel. Aún en superficie en los alrededores de dicho Túnel, la imagen satelital muestra la huella de una laguna, la que se habría secado por una infiltración.

3. Conclusiones y Recomendaciones

El Túnel Trasandino Cuevas-Milloc cumple la importante función de derivar los aportes de los proyectos Marca I, III y IV que se han ido incorporando progresivamente, y a futuro otros aportes para el afianzamiento hídrico de la cuenca del río Rímac, por lo que constituye la infraestructura hidráulica de vital importancia para las poblaciones de Lima y Callao.

Dentro de nuestro rol como empresa prestadora del servicio de agua potable para las poblaciones de Lima y Callao, es nuestra preocupación ante una posible afectación de la cantidad y calidad de agua que conduce dicho Túnel, por lo que se recomendó al Ministerio de Energía y Minas tomara en consideración los mayores estándares de seguridad para la Planta de Procesos Metalúrgicos y Depósitos de Relaves del proyecto Minero "Ariana".

Atentamente,

V° B°

César Bedón Nunura
Jefe de Equipo Planeamiento Físico
y Pre Inversión

Jorge Rucoba Tello
Gerente de Desarrollo e Investigación (e)

c.c.: GDI/GALR/GPDP/Arch.
Adj. -Infografía Trasvase Huascacocha Rímac
-Carta N° Carta N° 1013-2018-GG
JCA

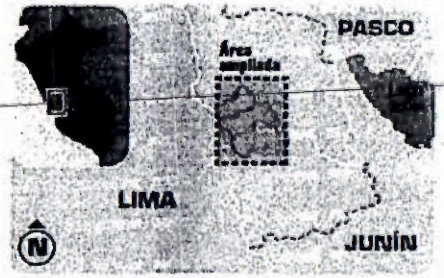
TRASVASE HUASCACOCHA-RÍMAC

MÁS AGUA PARA LIMA Y CALLAO

Almacenamiento de agua en la laguna Huascacocha, que deriva el recurso hídrico hasta el Sistema Marcapomacocha-Marca III, para garantizar el abastecimiento de agua potable a la población de Lima y Callao.

LA RUTA DEL AGUA DESDE HUASCACOCHA HASTA LIMA

La represa está ubicada entre las regiones de Pasco y Junín.



La represa se encuentra entre los 4280 y 4600 msnm

Leyenda
- Sistema de conducción Represa Huascacocha
- Sistema de conducción Marca III
- Límite departamental

Laguna Huascacocha

1 El agua es represada para luego ser enviada mediante un sistema de conducción.

2 El agua es transportada mediante un sistema de canales abiertos, túneles y sifones.

Trasvase al Sistema Marca III

3 A través de una estación de bombeo el agua es elevada hasta el sistema Marca III, cuya infraestructura permite que el recurso hídrico llegue a Lima por el río Rímac.

Laguna Marcacocha

Laguna Marcapomacocha

Laguna Antacoto

Quebrada Cosurcocha

Canal 1 Toma Antacocha

Túnel Río Paltanga-Tuctococha

Laguna de Tuctococha

Canal 2

Canal 3

Canal 4

Canal 5

Canal 6

Sifón 1

Sifón 2

Sifón 3

Sifón 4

Túnel Patahuay Sapicancha

Laguna Sapicancha

Canal Antashuay

PRESA PRINCIPAL

Puente Piedra

Carabayllo

Comas

Los Olivos

San Martín de Porres

San Juan de Lurigancho

Lurigancho

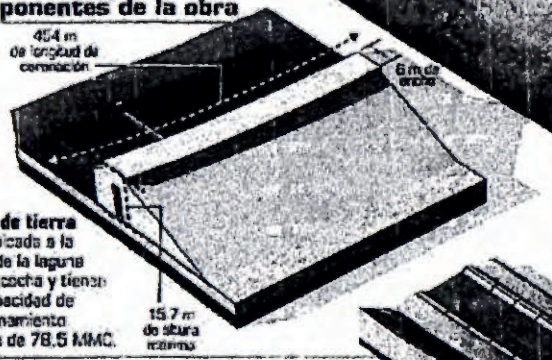
Callao

8 distritos beneficiados

El agua tratada en la Planta Huachipa será distribuida a través del Ramal Norte.

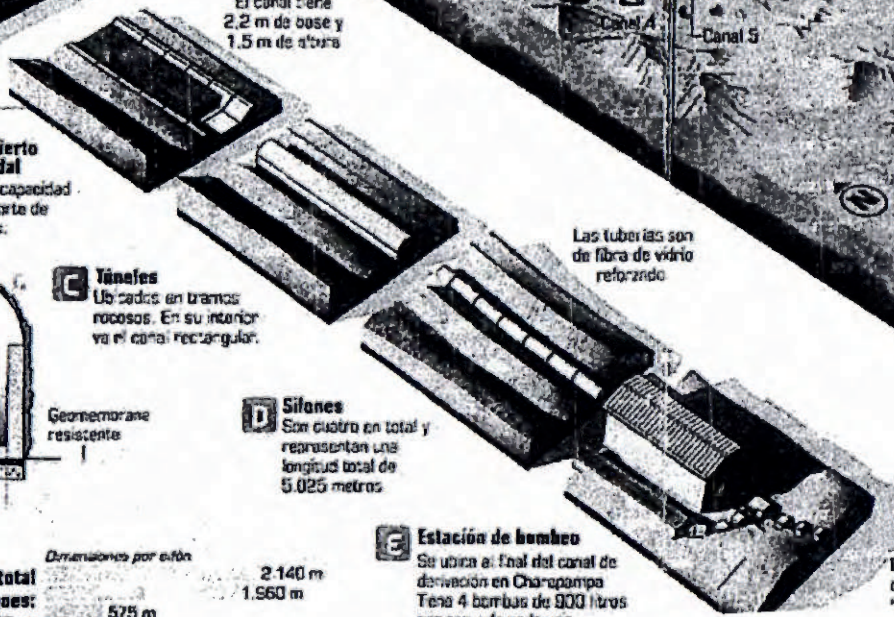
Desde este punto el agua llega hasta el río Rímac. El caudal obtenido de la presa Huascacocha será tratado en la nueva Planta Huachipa

Componentes de la obra



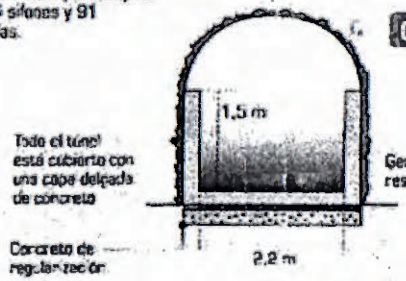
A Presa de tierra
Está ubicada a la salida de la laguna Huascacocha y tiene una capacidad de almacenamiento máxima de 78.5 MMC.

29.462 m de longitud
tiene el sistema de conducción conformado por canales de concreto armado que incluye 2 túneles, 4 sifones y 91 alcantarillas.



B Canal abierto trapezoidal
Tiene una capacidad de transporte de 2,63 m³/s.

C Túneles
Ubicados en tramos rocosos. En su interior va el canal rectangular.



D Sifones
Son cuatro en total y representan una longitud total de 5.025 metros

Dimensión total de los sifones: 5.025 m

Dimensiones por sifón
- 2.140 m
- 1.960 m
- 575 m
- 350 m

E Estación de bombeo
Se ubica al final del canal de derivación en Chorapampa. Tiene 4 bombas de 900 litros por segundo cada una.

El agua es elevado 110m desde la estación de

INFORME TÉCNICO

REVISIÓN DE LAS EVALUACIONES GEOLÓGICAS, GEOTÉCNICAS E HIDROGEOLÓGICAS DEL PROYECTO ARIANA Y SU INFLUENCIA EN EL TÚNEL TRASANDINO CUEVAS-MILLOC

Preparado para:

enel

Y

sedapal

Elaborado por:

Walsh Perú
ecology and environment, inc.

Calle Alexander Fleming 187 Urb. Higuereta, Surco, Lima, Perú
Teléfono: 448-0808, Fax: 448-0808 Anexo 300
E-mail: postmast@walshp.com.pe
www.walshp.com.pe

Junio, 2019

ÍNDICE GENERAL

1.0 ANTECEDENTES 2
1.1 UBICACIÓN 2
2.0 OBJETIVOS 2
2.1 ALCANCES 3
3.0 METODOLOGÍA EMPLEADA. 5
3.1 REVISIÓN DE ESTUDIOS ANTERIORES 5
4.0 DESARROLLO DE LA REVISION 7
4.1 COMENTARIOS SOBRE LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUÍMICO PROY. 219_14-2015. (AMPHOS, MAYO 2015) 7
4.1.1 Investigaciones de campo 7
4.1.2 Sobre la Hidrología 7
4.1.3 Sobre el Marco geológico. 7
4.1.4 Perforaciones y Piezómetros instalados 8
4.1.4.1 Perforaciones realizadas 8
4.1.4.2 Instalación de Piezómetros Casagrande 9
4.1.5 Unidades Hidrogeológicas definidas 10
4.1.6 Propiedades Hidráulicas 10
4.1.7 Niveles de Agua Subterránea y Piezómetros 11
4.1.8 Marco Conceptual Hidrogeológico 12
4.1.9 Modelo Numérico de Flujo 12
4.1.10 Análisis de las explicaciones del modelo 13
4.1.11 Comportamiento sobre la calidad del agua en galerías y componentes 15
4.1.12 Funcionamiento Hidrodinámico Fase Operativa y Cierre. 15
4.1.13 Consideración de una Planta de Tratamiento de Agua 16
4.2 ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA EL DEPÓSITO DE RELAVES ARIANA. ARIANA OPERACIONES MINERAS S.A.C. (AMPHOS 21, MARZO, 2018) 17
4.3 INGENIERÍA DE DETALLE DEL DEPÓSITO DE RELAVES PROYECTO MINERO ARIANA (ANDDES, 2016) 19
4.3.1 Sobre el diseño del depósito de relaves. 19
4.3.2 Análisis geoquímico de roca total (Pág. 155-157). 21
4.3.3 Ensayos de celdas humedad (Pág. 164-175). 22
4.3.4 Modelamiento de la calidad de efluentes por componentes (Pág. 175-176). 23
4.3.5 Galerías Subterráneas (Pág. 177-182). 23
4.4 SOBRE LA IMPERMEABILIZACIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES 23
5.0 CONCLUSIONES 25
6.0 RECOMENDACIONES 28

DIMAS APAZA IDME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

REVISIÓN DE LAS EVALUACIONES GEOLÓGICAS, GEOTÉCNICAS E HIDROGEOLÓGICAS DEL PROYECTO ARIANA Y SU INFLUENCIA EN EL TÚNEL TRASANDINO CUEVAS-MILLOC

1.0 ANTECEDENTES

El 29 de abril de 2016, mediante resolución directoral RD N°127-2016-MEM/DGAAM, se aprobó el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Ariana, a favor de Ariana Operaciones Mineras S.A.C. (Ariana). En el marco del desarrollo y aprobación del EIA, Ariana desarrolló una serie de estudios de línea base ambiental y de ingeniería los cuales sirvieron como sustento técnico para el desarrollo del mencionado estudio. Asi mismo, estos estudios han sido luego complementados con requerimientos adicionales establecidos a través del proceso de obtención de la licencia de construcción que es emitida por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

El Depósito de Relaves es uno de los componentes principales del proyecto Ariana y tiene una ubicación adyacente al Túnel Trasandino Cuevas - Milloc, operado por ENEL. Asimismo, la infraestructura de conducción del trasvase de agua proveniente del sistema de lagunas de los proyectos Marca I, Marca III y Marca IV, ubicadas en la cuenca del río Mantaro, es administrado por SEDAPAL, en coordinación con ENEL.

El grupo ENEL Generación Perú (ENEL) y SEDAPAL han contratado los servicios de Walsh Perú S.A.(Walsh), para realizar la revisión de los estudios geológicos, geotécnicos e hidrogeológico de la línea base del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y del depósito de relaves del proyecto minero Ariana, para el cual se ha preparado el presente informe.

1.1 UBICACIÓN

El Proyecto Ariana se encuentra ubicado en el distrito de Marcapomacocha, provincia de Yauli, departamento de Junín. La Figura 1 muestra la ubicación y las vías de acceso al proyecto minero.

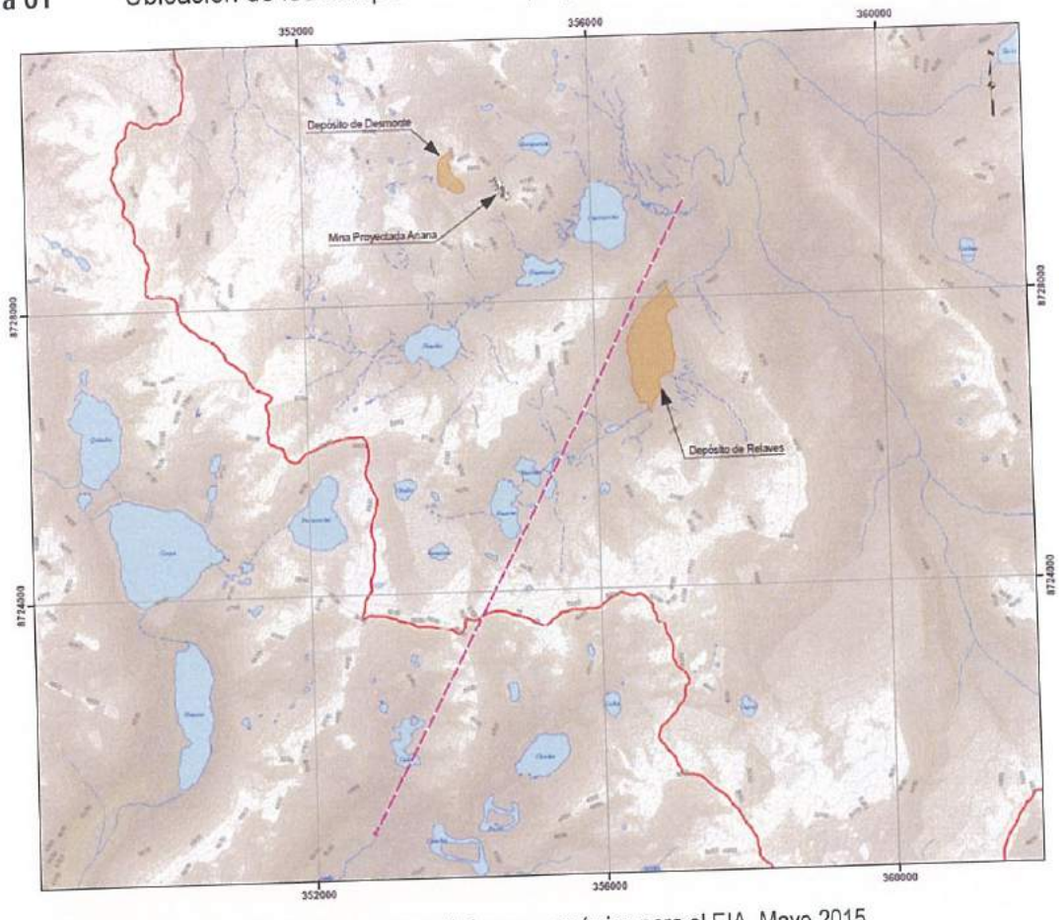
1.2 OBJETIVOS

- Revisión de Estudios Hidrogeológicos, Hidrológicos y Geotécnicos de la Línea Base del EIA y del depósito de Relaves del Proyecto Minero Ariana y su influencia en el Túnel Trasandino Cuevas-Milloc.

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

DIMAS APAZA IDME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

Figura 01 Ubicación de los componentes del proyecto



Fuente: Amphos, Estudios hidrológico, hidrogeológico y geoquímico para el EIA, Mayo 2015

1.3 ALCANCES

a) Revisión del Estudio Hidrológico e Hidrogeológico del EIA para el Proyecto Minero Ariana (2015).

Revisión de la información de entrada, la metodología empleada para la determinación, predicción y evaluación de impactos en sus diferentes etapas, relacionados a:

- Afectación a la disponibilidad hídrica a las microcuencas del área de influencia ambiental del proyecto (microcuencas con lagunas reguladas y los aportes hídricos del túnel).
- Afectación al Túnel Trasandino mediante la cual se realiza el trasvase del recurso hídrico para la ciudad de Lima.

b) Revisión del Estudio de Actualización Hidrogeológica del Depósito de Relaves (2018)

- Revisión de la data de entrada y la metodología utilizada para la elaboración del estudio hidrogeológico para el Depósito de Relaves, así como las conclusiones obtenidas.
- Análisis de la interacción que existiría entre el depósito de relaves y las labores del Proyecto Minero y su relación con el Túnel Trasandino.

HEBERT SOTELO AEDC
INGENIERO CIVIL
Reg CIP N° 57639

DIMAS APAZA IDME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP Nº 39111

c) **Revisión del estudio de Ingeniería de Detalle del Depósito de Relaves Proyecto minero Ariana, (Anddes 2016).**

- Revisión de los parámetros geotécnicos considerados para el diseño del depósito de relaves
- Revisión de los parámetros hidrogeológicos considerados para el diseño del depósito de relaves

DIMAS ARAZA NOME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

2.0 METODOLOGÍA EMPLEADA

2.1 REVISIÓN DE ESTUDIOS ANTERIORES

Se realizó la revisión de la información técnica proporcionada por ENEL y SEDAPAL relacionada al área de interés. Estos corresponden a estudios desarrollados para diferentes objetivos y forman parte de los datos incorporados en el presente documento. La información base para la revisión del presente documento, se lista a continuación:

A. Estudios Proyecto Ariana

a) Estudios hidrológico, hidrogeológico y geoquímico de Línea Base para el EIA de Factibilidad Proyecto Ariana. (AMPHOS mayo, 2015).
   - Hidrología
   - Modelo conceptual hidrogeológico
   - Modelamiento numérico de flujo subterráneo
   - Geoquímica
   - Lista de anexos
     - Anexo A Investigaciones de Campo
     - Anexo B Clima
     - Anexo C Hidrología
     - Anexo D Marco Geológico
     - Anexo E Desarrollo de Modelo de Flujo Subterráneo
     - Anexo F Hidroquímica y Calidad de Agua
     - Protocolo: Procedimiento de Muestreo de Aguas Subterráneas
     - Anexo G Geoquímica
     - MT Programa de muestreo geoquímico
     - Anexo H-8 Prueba de Bombeo Pozo P-01
     - Anexo I-9 Interpretación de Pruebas de Bombeo en Pozo P-01

b) Ingeniería de Detalle del Depósito de Relaves Proyecto minero Ariana. (Anddes, abril 2016).

   - Resumen Ejecutivo Dep. Relaves
   - Criterios de Diseño Dep. Relaves
   - Diseño Civil - Hidráulico
   - Geotecnia Dep Relaves
   - Monitoreo Dep Relaves
   - Especificaciones Técnicas y QA QC Dep Relaves
   - Manual Aseguramiento Calidad - Dep Relaves
   - Manual de Operación y Contingencias Dep Relaves

c) Actualización Hidrogeológica para el Depósito de Relaves Ariana. Ariana Operaciones Mineras S.A.C. (Amphos 21, Marzo 2018).
d) Batimetría Lagunas
e) Estudio Trasandino Cuevas - Milloc

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

DIMAS ARAZA DIAZ
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

f) Resolución Directoral e Informe de Aprobación de EIA
g) Comunicaciones e Informes de SEDAPAL 2015 EIA
h) Carta de AOM e Información de EDEGEL 2015
i) Avisos CAB Ariana

B. Estudio geológico Túnel Trasandino

a) 2018-05-25, GAASSAOM065-2018
b) Carta de Ariana a GG SEDAPAL-Solicita reunión.
c) En 3.- PPT Ariana - Sedapal 24.04.18 Rev0 Final

DIMAS APAZA IDME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg CIP N° 57639

3.0 DESARROLLO DE LA REVISION

3.1 COMENTARIOS SOBRE LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUÍMICO PROY. 219_14-2015. (AMPHOS, mayo 2015).

3.1.1 Investigaciones de campo

La investigación de campo muestra pocas pruebas hidráulicas ***en la Fm. Jumasha***. Esta unidad es la más permeable del área y es muy incidente en la recarga y flujo de las aguas subterráneas del área, **actualmente produce descargas hacia el Túnel Trasandino, con caudal importante posible hasta 100 l/s.**

La zona del proyecto presenta medios porosos no consolidados, fracturados y kársticos. Las unidades hidrogeológicas en roca han sido poco estudiadas durante las perforaciones de investigación hidrogeológica (16 sondeos). **Solo 02 sondeos atravesaron la Fm. Jumasha** y se realizaron 03 pruebas hidráulicas durante este estudio. (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 40-43; Anexos: A.2-A.8).

La prueba de bombeo se realizó en el pozo P-01, el cual fue instalado en un horizonte de gravas y arenas (acuífero detrítico) con nivel freático somero de 5.0 m de profundidad. La prueba evaluó un acuífero somero posible de origen fluvio-aluvial, cuyas reservas parecen ser limitadas. (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 1421-1432).

3.1.2 Sobre la Hidrología

El curso de la quebrada Huancash presenta comportamiento recto a lo largo de su explanada de pendientes bajas y fuertes. Tramos del curso de la quebrada son subterráneos debido a la dilución de la caliza que forma Karst (Pág. 18,19).

El estudio de Amphos ha realizado cálculos sobre la morfología de las lagunas y el volumen de almacenamiento, sin embargo, **no indica si algunas de estas las lagunas están reguladas, para fines de uso agrícola o captación para SEDAPAL.** (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 85).

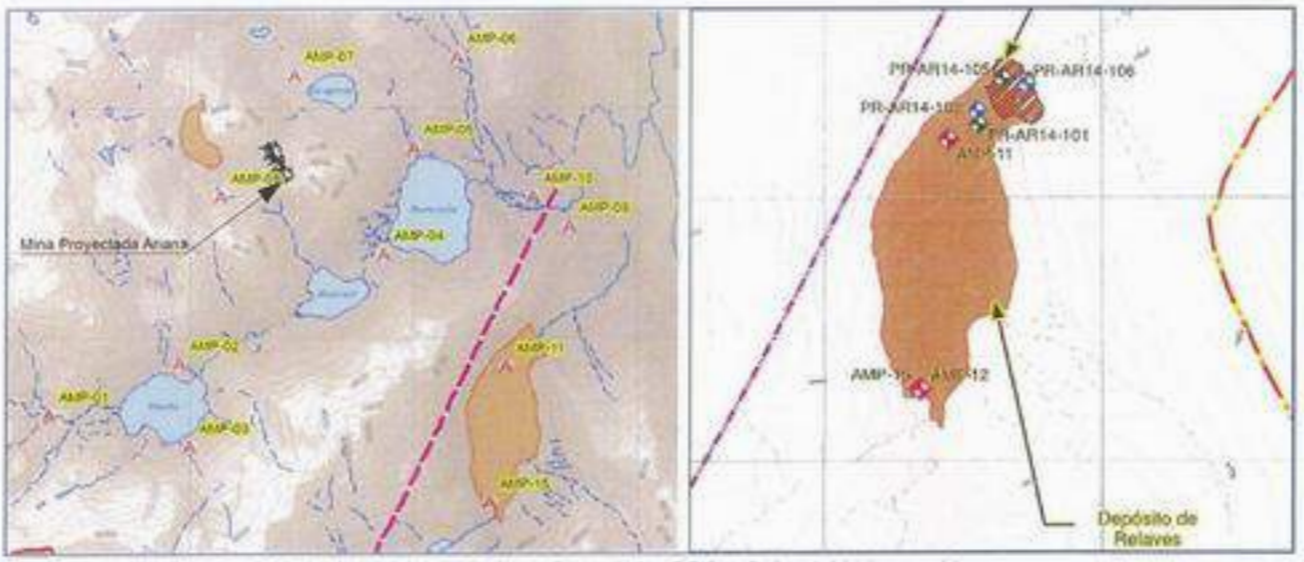
3.1.3 Sobre el Marco geológico.

Para recabar información geotécnica e hidrogeológica a nivel de factibilidad, AOM encargó una serie de investigaciones basadas fundamentalmente en las perforaciones diamantinas cuya distribución se observa en la Figura 02. Estas han sido complementadas posteriormente, como se explicará en las secciones más adelante, con el objetivo cumplir con los requerimientos para obtener el permiso de construcción.

DIMAS APAZA ARIME
INGENIERO GEOLOGO

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg CIP N° 57639

Figura 02. Perforaciones diamantinas realizadas en la zona del Proyecto a nivel de factibilidad.



Fuente: Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 28

- La geología y la hidrogeología de Línea Base Ambiental del EIA, fue construida sobre una base de geología regional con poco detalle. La información de hidrogeología del depósito de relaves (Amphos 2018) fue mejorada sustantivamente con la nueva información. Esta información fue escasamente utilizada en el modelo numérico del estudio del 2018, cuyas capas se muestran horizontales.
- Se han estudiado las fallas con un adecuado nivel de detalle. **No se identificó información sobre la permeabilidad de estas o su grado de apertura.** (pág. 86-91).

3.1.4 Perforaciones y Piezómetros instalados

3.1.4.1 Perforaciones realizadas

La instalación de piezómetros fue realizada con el objetivo de mejorar el conocimiento de la litología, patrones de flujo en el área de estudio y contar con instrumentación para futuros monitoreos hidrogeológicos. Del total de sondajes realizados, tres sondajes fueron ejecutados con fines de exploración hidrogeológica para abastecimiento de agua subterránea. La **Tabla 1** muestra el resumen de las perforaciones ejecutadas con fines de investigaciones hidrogeológicas y exploración de agua subterránea. (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, PROY. 219_14-2015, pág.35).

DIMAS APAZA IDME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 29111

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

Tabla 1 Resumen de Ubicación de Sondajes

Nombre de Sondaje	Coordenadas		Cota (msnm)	Fecha		Profundidad Ejecutada (m)	Contacto Suelo-Roca (m)
	Este	Norte		Inicio	Fin		
AMP-01	352,743	8,727,354	4695.25	11/04/2014	15/04/2014	45.40	6.00
AMP-02	353,906	8,727,794	4655.41	01/03/2014	05/03/2014	45.50	2.50
AMP-03	353,995	8,727,075	4648.03	12/02/2014	19/02/2014	45.60	14.50
AMP-04	355,727	8,728,753	4523.61	04/02/2014	06/02/2014	40.20	0.90
AMP-05	355,993	8,729,673	4509.52	16/01/2014	18/01/2014	40.00	3.30
AMP-06	356,372	8,730,466	4567.1	21/04/2014	23/04/2014	40.00	23.70
AMP-07	354,920	8,730,311	4597.92	21/12/2013	11/01/2014	80.00	58.20
AMP-08	354,269	8,729,251	4710.18	18/12/2013	20/12/2013	40.10	0.80
AMP-09	357,383	8,728,993	4425.99	21/01/2014	23/01/2014	80.10	12.80
AMP-10	357,059	8,729,254	4435.00	26/01/2014	29/01/2014	85.10	3.80
AMP-11	356,821	8,727,775	4457.78	27/03/2014	02/04/2014	58.90	48.40
AMP-12	356,685	8,727,776	SD	09/03/2014	16/03/2014	50.00	47.40
AMP-13	358,549	8,737,027	4252.11	29/04/2014	01/05/2014	30.90	17.05
AMP-14	358,540	8,737,032	4252.03	02/05/2014	05/05/2014	34.30	21.80
AMP-15	356,678	8,726,588	4463.68	08/05/2014	19/05/2014	40.50	37.60
P-01(*)	356,684	8,726,600	4463.68	05/06/2014	11/06/2014	36.70	30.70

(*) Sondaje preparado para pozo

Fuente: Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, PROY. 219_14-2015, pág.35

3.1.4.2 Instalación de Piezómetros Casagrande

Un total de catorce (14) piezómetros tipo Casagrande fueron instalados y distribuidos estratégicamente dentro del área de estudio. En el sondaje AMP-12 no fue posible la instalación de piezómetro debido a complicaciones y condiciones desfavorables durante la instalación (surgencia de agua de volumen aproximadamente 4 L/s). Por otro lado, los piezómetros AMP-13, AMP-14 y AMP.15 fueron instalados como parte de un programa de exploración de agua subterránea. (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, PROY. 219_14-2015, pág.37).

La **Tabla 2,** muestra el resumen de los piezómetros Casagrande instalados y su diseño de instalación.

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg CIP N° 57639

DIMAS ARAZA IDME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

Tabla 2 Resumen de diseño de piezómetros tipo Casagrande

Nombre de Piezómetro	Fondo de Piezómetro (m)	Sobrante (m)	Prof. Intervalo Ranurado (m)		Prof. Intervalo Filtro de Arena (m)		Prof. Intervalo Sello de Bentonita (m)		Prof. Intervalo Grout (m)	
			Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
AMP-01	44.55	0.70	14.65	44.65	13.00	45.40	10.00	13.00	0.00	10.00
AMP-02	20.90	0.70	12.00	21.00	9.70	22.60	8.10	9.70	0.00	8.10
AMP-03	44.10	0.70	23.00	44.00	21.50	45.60	19.50	21.50	0.00	19.50
AMP-04	39.00	0.70	18.00	39.00	14.80	40.20	7.35	14.80	0.00	7.35
AMP-05	39.00	0.75	24.00	39.00	22.00	40.00	20.00	22.00	0.00	20.00
AMP-06	39.50	0.80	27.50	39.50	25.50	40.00	23.20	25.50	0.00	23.20
AMP-07	58.60	0.65	43.60	58.60	41.60	59.20	39.60	41.60	0.00	39.60
AMP-08	19.15	0.70	7.15	19.15	5.15	19.65	3.50	5.15	0.00	3.50
AMP-09	59.00	0.60	49.00	59.00	45.00	59.00	42.80	45.00	0.00	42.80
AMP-10	84.00	0.65	54.00	84.00	50.55	85.10	46.35	50.55	0.00	46.35
AMP-11	45.20	0.65	33.10	45.10	31.60	45.80	29.60	31.60	0.00	29.60
AMP-13	16.30	0.80	7.20	16.20	5.20	16.70	3.20	5.20	0.00	3.20
AMP-14	21.35	0.80	6.35	21.35	4.87	21.80	2.95	4.87	0.00	2.95
AMP-15	37.00	0.70	13.20	37.00	6.20	38.00	4.00	6.20	0.00	4.00

Fuente: Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, PROY. 219_14-2015, pág.39

3.1.5 Unidades Hidrogeológicas definidas

La Tabla 6-1 del **estudio de Amphos, Unidades Hidrogeológicas, indica a las formaciones Jumasha y Celendín como una sola unidad sedimentaria y se califica como "permeabilidad media-baja".** Estas formaciones fueron representadas de forma conjunta en el modelo numérico. (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, PROY. 219_14-2015, pág. 92-94).

Sin embargo, las investigaciones realizadas por Amphos muestran que la formación hidrogeológica Jumasha tiene alta permeabilidad, y modelarla como una sola unidad junto con la formación Celendín tiene una alta incidencia en el modelo conceptual y en el modelo numérico.

Los rasgos kársticos han sido estudiados con relativo detalle con el objetivo de evaluar el riesgo de infiltración desde el depósito de relaves. Debido a este objetivo (riesgo de infiltración desde el depósito de relaves), el modelo conceptual y numérico no utilizó esta información para evaluar su efecto sobre la recarga del sistema hidrogeológico local y el túnel transandino. Sin embargo, esta información fue utilizada en el EIA para establecer como medida de prevención la impermeabilización de la zona del depósito de relaves que podría estar expuesta a áreas kársticas.

3.1.6 Propiedades Hidráulicas

Se tienen escasas pruebas hidráulicas en las rocas de basamento, Se identificaron 07 ensayos Lugeón para tres unidades litológicas Formaciones Celendín, Jumasha y Casapalca. La Formación Jumasha, constituida por calizas fracturadas, muestran una permeabilidad que varía entre 2,76 m/d y

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg CIP N° 57639

DIMAS APAZA TOME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 20111

0,02 m/d. (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, PROY. 219_14-2015, pág. 95-96).

Los valores de permeabilidad que se obtuvieron como resultado de las pruebas hidráulicas no han sido asignados de forma independiente, a cada unidad litológica. Por ejemplo, la Fm Jumasha y la Fm. Celendín se han agrupado como una solo unidad cuando ambas tienen litologías distintas y permeabilidades contrastantes.

3.1.7 Niveles de Agua Subterránea y Piezómetros

a) Para la evaluación a nivel de factibilidad, la mayor parte de los piezómetros fueron distribuidos tomando en cuenta las lagunas y los cursos superficiales. En este estudio **no se colocaron piezómetros en el área de mina subterránea para conocer los niveles de agua subterránea y propiedades hidráulicas de dicha zona.** Se indica que el Túnel Trasandino a alcanzado una situación de equilibrio estacionaria. (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, PROY 219_14-2015, pág. 20), debido a esta consideración la distribución de los piezómetros no tomó en consideración el posible cono de depresión del Túnel Trasandino; los piezómetros ubicados próximos al Túnel son el AMP-09 (4424 msnm y 1.27 m) y AMP-10 (4391 msnm y 43.92 m) ambos localizados en el valle del río Cuevas, aguas abajo de la laguna Marcapomacocha (las cotas de los filtros no concuerdan con la topografía). El AMP-10 tiene un nivel estático profundo, pero no se refleja en el Plano 6.3 Mapa piezométrico (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, PROY 219_14-2015, pág. 249).

b) Los porcentajes de recuperación de las muestras son muy bajos. En muchos casos, este comportamiento es debido a la naturaleza del material, su baja densidad o vacíos en el interior de la estructura a evaluar. Debido a la escasa investigación que se tiene, y a la presencia del ambiente kárstico, se debe considerar toda la información disponible y asumir la condición más desfavorable (zona kárstica). Por ejemplo, el registro del sondaje AMP-03, debe tener especial consideración en razón de que en la zona del basamento rocoso el porcentaje de recuperación disminuye sustancialmente. **El registro de este sondaje muestra presencia de oquedades y no se observa ensayos de resistencia ni de permeabilidad realizados** (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, PROY 219_14-2015, pág 338-342).

   El sondaje AMP-04 registra caliza en superficie y, hasta cierta profundidad, presenta rellenos de arcilla. Se observa sectores muy fracturados de caliza. **No se identificaron ensayos de resistencia ni de permeabilidad realizados** (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, PROY. 219_14-2015, pág 343-346).

c) El sondaje AMP-09 presenta un porcentaje de recuperación de los depósitos cuaternarios muy bajo. No se identificaron ensayos de resistencia ni de permeabilidad (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, PROY. 219_14-2015, pág 367-374).

d) El sondaje AMP-10 muestra alto nivel de fracturamiento de las limolitas y las areniscas. No se identificaron ensayos de resistencia ni de permeabilidad realizados. (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág 375-383).

e) El sondaje AMP-11 registra desde aproximadamente los 27m y hasta aproximadamente los 48 m la presencia de gravas con bajo porcentaje de recuperación sin aparente presencia de finos

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg CIP N 57639

DIMAS MAZA TOME
INGENIERO GEOLOGO

(Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág 384-389).

f) Los sondajes AMP-12 y AMP-15, registran arcilla desde la superficie y hasta aproximadamente los 9 m de profundidad. También se registra la presencia de alto contenido de materia orgánica y de raíces, seguido por el material fluvio glaciar con presencia de clastos angulosos en matriz areno limosa con muy bajo porcentaje de recuperación. La caliza en profundidad presenta zonas de alto grado de fracturamiento rellenas con calcita y arcillas. **No se identificaron ensayos de resistencia ni de permeabilidad realizados** (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág 390-394, 402-403).

3.1.8 Marco Conceptual Hidrogeológico

a) *En las capas más superficiales la mayoría de las rocas que constituyen la zona poseen baja permeabilidad y a través de la fracturación asociada a los planos de estratificación por dónde discurren los principales flujos de aguas subterráneos. Dichos flujos pueden ser profundos y con mayores tiempos de tránsito dependiendo de la entidad de las fracturas conductivas por las que circulan, enriqueciéndose hidroquímicamente y geoquímicamente de los componentes iónicos de la roca con la que interacciona el agua, a menudo metales en zonas con altos contenidos de mineralización.* (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 92).

Esta descripción no incorpora a la Fm. Jumasha que se encuentra próxima y muy visible en la zona. Esta formación tiene un comportamiento hidráulico y flujos marcados.

b) *En la zona se tiene la particularidad de la existencia del túnel Transandino que drena aguas para abastecimiento de la ciudad de Lima, las cuales son gestionadas por SEDAPAL. Dicho túnel, desde su ejecución hace unas décadas, trasvasa agua desde la vertiente Atlántica a la Pacífica. Por su longitud (aproximadamente 10 Km), dicha estructura se consideró que condiciona el flujo subterráneo a escala regional de estudio dado que atraviesa fracturas de importancia. Se consideró que el túnel ha producido el desaguado del medio rocoso circundante desde su ejecución y que en la actualidad ha alcanzado una situación de equilibrio estacionaria.* (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 92).

Se debería demostrar la condición de equilibrio estacionario determinando el cono de abatimiento producido en la piezometría del área por efecto de drenaje del túnel. Con esto, se puede evaluar si el túnel afectó o no los niveles de agua subterránea actuales, ya que la piezometría construida para el modelo conceptual, no muestra este efecto.

3.1.9 Modelo Numérico de Flujo

El modelo numérico busca representar el comportamiento hidrogeológico de la zona sin la incorporación de medidas de prevención y mitigación para luego realizar las recomendaciones pertinentes. El modelo numérico tiene una discordancia con los detalles de la geología (comparar Planos 6.4 al 6.6 vs Planos 7.6 al 7.10). Por ejemplo, el Plano 6.4 muestra capas geológicas inclinadas en el sistema hidrogeológico mientras que **el modelo numérico muestra unidades hidrogeológicas**

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg CIP N° 57639

DIMAS APAZA OME
INGENIERO GEOLOGO

deformadas para hacerlas horizontales a profundidad, con lo cual el medio hidrogeológico del modelo numérico responde como un medio homogéneo (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 106-113, 250-252, 258-262). La delimitación de las capas falladas y la variación en su estratificación, hubieran representado mejor el límite de las capas permeables y poco permeables que pudieran comportarse como barreras hidráulicas. **Esta situación limita las predicciones del modelo numérico de flujo y no ayuda a definir los impactos que potenciales pueden ocurrir en este escenario base.**

3.1.10 Análisis de las explicaciones del modelo

a) *Bajo estos condicionantes se evaluó el balance de aguas en mina y particularmente el caudal que será extraído a causa del laboreo. Los volúmenes esperables que serán captados por el desarrollo y minado se incrementarán con el avance, desde un caudal nulo hasta el momento en que se intercepta la napa freática, a partir de donde el caudal en condiciones climáticas de año promedio comienza a aumentar paulatinamente hasta llegar picos instantáneos del orden* ***de 150 L/s,*** *caudal el cual se consideró no sostenible en el tiempo por las características hidrogeológicas del medio. Tras pocos meses el caudal se prevé que descienda hasta valores aproximados de 65 L/s, para los que se mantendrá relativamente constante durante el transcurso de las operaciones.* (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 219).

Es normal que en acuíferos kársticos como la Fm. Jumasha se pueda producir altos caudales de drenaje ya que la recarga será alta. Esta unidad tiene alta incidencia en la recarga e interacción pluvial con los cursos y cuerpos de agua, lo cual puede incidir mucho más a lo calculado si se revisa el modelo numérico, (permeabilidades) en el volumen de drenaje estacional de la mina subterránea. Esta situación ocurre en minas similares en actual explotación.

b) *Desde un punto de vista de impactos el modelo demostró que el esquema de minado (Proesmin, 2014) no provocará un impacto destacable en el entorno, debido a que la mina tiene una extensión que se podría considerar limitada. Los impactos sobre las lagunas en superficie serán despreciables debido a que se consideró que éstas tienen un funcionamiento hidráulicamente desconectado.* (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 219).

En el estudio de Amphos indica que las lagunas existentes no tienen conexión hidráulica a través del subsuelo (son "colgantes"). Sin embargo, por la información de las investigaciones realizadas (geológica, hidrológica e hidrogeológica) **en este estudio, se esperaría que las lagunas tengan algún nivel de conexión hidráulica a través del subsuelo debido a que la mayor parte está emplazada sobre rocas calcáreas endorreicas con substratos arcillosos, y tienen aportes laterales durante las épocas húmedas al acuífero que son una fuente de recarga del mismo.** Ejem. Planos 7-12, 7-14, 7-16, 7-20, 7-22. (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 264, 266, 268, 272, 274).

c) *Uno de los aspectos más destacables del análisis se centró en evaluar la interacción hidrodinámica y los posibles impactos asociados al emplazamiento de la presa de relaves. Para ello se seleccionó una ubicación favorable la cual se dispondría sobre materiales arcillosos de*

HEBERT SOTELO AEDC
INGENIERO CIVIL
Reg CIP N° 57639

DIMAS ARANA IDME
INGENIERO GEOLOGO

potencia suficiente para limitar la infiltración. El modelamiento confirmó dicho aspecto y se sugirieron medidas ingenieriles que garantizasen una posible migración lateral a través de fallas o zonas de disolución en las calizas. La Ingeniería desarrollada para la presa (Anddes, 2014) contempló impermeabilización de aquellas zonas del talud favorables o potenciales a la migración, las cuales fueron simuladas garantizando la estanqueidad de la solución. (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 219).

Las secciones del modelo numérico (Planos 7-12, 7-14, 7-16, 7-20, 7-22, mapa piezométrico del modelo numérico Plano 7-9) **muestran sólo la condición sin impermeabilización.** No se muestra el escenario de impermeabilización parcial del depósito de relaves. Si bien los objetivos de este estudio fueron evaluar el riesgo de infiltración desde el depósito de relaves, **hubiera sido útil para un análisis de riesgo modelar el cono de abatimiento en la Formación Jumasha hacia el Túnel Trasandino para identificar su amplitud y su relación con los componentes de la operación minera.** (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 261, 264, 266, 268, 272, 274).

El modelo numérico representa a las formaciones Jumasha y Celendín como una sola (Planos 7-7 y 7-8). El modelo utiliza 03 permeabilidades para la Fm Jumasha sobre la base de 15 sondeos ejecutados y un pozo de prueba ejecutado en suelos fluvioglaciares. **El valor de permeabilidad de las rocas calcáreas de la Fm. Jumasha parece no ser el adecuado, debido a que, dependiendo de su grado de karsticidad, debería ser media a alta y esto puede afectar la evaluación de los impactos.** (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 258, 259).

d) Según los registros obtenidos en los ensayos y lo observado en superficie, el modelo hidrogeológico de la zona del túnel debe prever un ambiente con presencia de materiales kársticos. **En ese sentido, el modelo hidrogeológico debería utilizar valores más conservadores**. Para mantener una predicción conservadora, el modelo debería hacer un análisis de sensibilidad donde se castigue los valores de permeabilidad con la finalidad de modelar un incremento en los vacíos (del subsuelo), debido al fenómeno de karsticidad.

e) Debido a la presencia de zonas kársticas, el estudio realizado por Amphos recomienda inyecciones de grouting en la ladera muy próxima al depósito de relaves (Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 103). Como parte de la respuesta de observaciones al EIA, estos han sido sustituidos por la impermeabilización lateral del depósito.

f) Según la Figura 6.4 de la evaluación realizada por Amphos 2015, (Estudios Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, pág. 104), con los parámetros que se ajustan más a los obtenidos en los ensayos, el modelo del peor escenario sin impermeabilización determina que existiría flujo del depósito de relaves hacia el túnel. Según el modelo realizado en el informe Amphos 2015 (Estudios Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, pág. 127); se observa que, si no se realiza impermeabilización[1] de la formación kárstica, las infiltraciones están en el orden de 2.5 L/s desde los materiales de relave y de 13 L/s desde el espejo de agua clara. Si se hace un análisis de sensibilidad con parámetros más conservadores, considerando el fenómeno kárstico identificado, las infiltraciones podrían incrementarse. Debido a esto, durante las respuestas a las observaciones se incorporó la impermeabilización lateral del depósito de

[1] Recomendaron grouting que es un relleno estructural sin contracción para la colocación bajo estructuras y maquinaria. Adhiere el equipo dinámico a su base para formar un monolito que contrapone la vibración. Especializado para el relleno de espacios.

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

DIMAS ARAUJO DIAZ
INGENIERO GEÓLOGO

relave a pesar que, según el plan de minado, el nivel del depósito de relaves no alcanzaría los sectores de karst identificados. Adicionalmente, durante la aprobación del permiso de construcción, se ha solicitado la impermeabilización total del depósito.

3.1.11 Comportamiento sobre la calidad del agua en galerías y componentes

a) *En las paredes de las galerías existirán materiales correspondientes a mineral y desmonte que abarcará todo el rango de contenidos de azufre (según los datos de taladros, más del 6% de los tramos intersectados presentan contenido de azufre >10%). En este sentido, aunque la probabilidad de que se generen drenajes ácidos procedentes de las galerías es incierta con los datos disponibles, sí que es posible que se produzca un drenaje con elevados contenidos en sulfato y metales. También es posible que los contenidos en arsénico puedan ser elevados, así como en hierro coloidal (hierro total).* (Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 223)

El estudio de Amphos indica que las aguas de mina drenarán aguas con elevado contenido en sulfatos y metales, trazas de arsénico y hierro coloidal. Debido a que los relaves son parte del mismo material es probable que el depósito de relaves será generador de acidez y lixiviados. La prevención de la infiltración, a través de la impermeabilización solicitada como parte del permiso de construcción, y el tratamiento de aguas de contacto planteado en el EIA harán que no resulten en afectaciones de la calidad de agua de la zona.

b) *En contexto del drenaje del depósito de relaves se consideró que el material presenta unas características relativamente homogéneas en mineralogía y granulometría, pero una mineralogía compleja, por lo que se consideró y recomendó evaluar en detalle las interacciones entre el agua y los distintos minerales, así como los minerales secundarios que pudieran precipitar debido a esa interacción y al comportamiento hidrodinámico del sistema. De todos modos, por lo que se dedujo de los datos de celdas húmedas, el comportamiento de estos materiales es intermedio entre los materiales de desmonte y de mineral, por lo que podría tenerse un comportamiento con contenidos ligeramente altos en sulfato y metales y también en arsénico. Para determinar la calidad esperable de las aguas asociadas a los relaves, se desarrollaron cálculos hidrogeoquímicos, confirmando que puede ser posible la movilización de As y Zn. En base a ello se recomendó el adecuado manejo del efluente.* (Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 223)

El reporte de Amphos indica que la información disponible indica que es posible la movilización de sulfato y metales pesados como As y Zn. Debido a este potencial escenario, **el EIA ha previsto la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales de estos componentes del proyecto.**

3.1.12 Funcionamiento Hidrodinámico Fase Operativa y Cierre

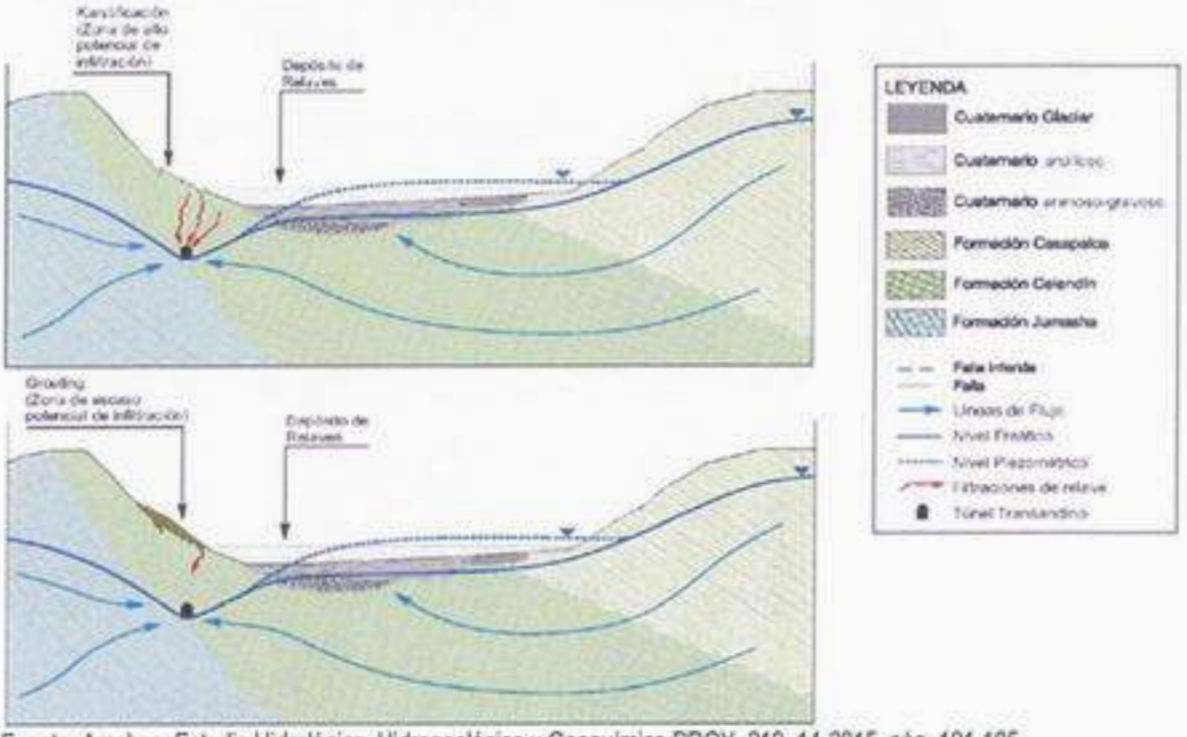
Según el EIA, se propone ubicar el depósito de relaves espesados al este del túnel trasandino. La disposición de relaves generaría un incremento de carga hidráulica invirtiendo los gradientes en algunos sectores, los cuales podrían producir potenciales infiltraciones que podrían dirigirse hacia el túnel (bajo el escenario desfavorable sin impermeabilización del depósito de relaves).

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg CIP N° 57639

DIMAS APAZA TOME
INGENIERO GEOLOGO

Si bien los materiales presentes en el fondo de valle corresponden a paquetes de arcillas con potencias de hasta 30 m de espesor que limitarían estas potenciales infiltraciones, existen sectores en la margen izquierda del valle con presencia de rasgos kársticos que las facilitarían. El estudio de Amphos presenta como una alternativa inicial de mitigación de la potencial infiltración la inyección de lechadas de cemento (grouting) en la ladera u otro tratamiento para eliminar la potencial infiltración. La Figura 6.4 ilustra el funcionamiento de la interacción entre depósito de relaves y el subsuelo con y sin la presencia de grouting. (Amphos, Estudio Hidrogeológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 101-105). Como parte de la absolución de observaciones del EIA, se aprobó la impermeabilización lateral de la margen donde se había observado sectores con kársticos. Como se explica más adelante, como parte del proceso de obtención del permiso de construcción, se **la DGM ha solicitado la impermeabilización de todo el depósito de relave.**

Figura 6.4; Esquema de Funcionamiento de Interacción Relavera – Subsuelo



Fuente: Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 101-105

3.1.13 Consideración de una Planta de Tratamiento de Agua

Con el objetivo de no impactar la calidad de agua en zonas próximas al proyecto, se sugirió la ubicación de una planta de tratamiento aguas abajo de todos los componentes para garantizar su adecuado tratamiento hasta ECA3. En base al modelamiento integral se recomendaría que dicha planta considere el tratamiento de 100 L/s en etapa de operación, para su posterior evaluación en una fase de ingeniería de detalle. (Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág. 225)

La sugerencia de planta de tratamiento de Amphos es consistente con las conclusiones sobre la presencia de sulfatos y metales. Esta ha sido incorporada a los requerimientos del EIA.

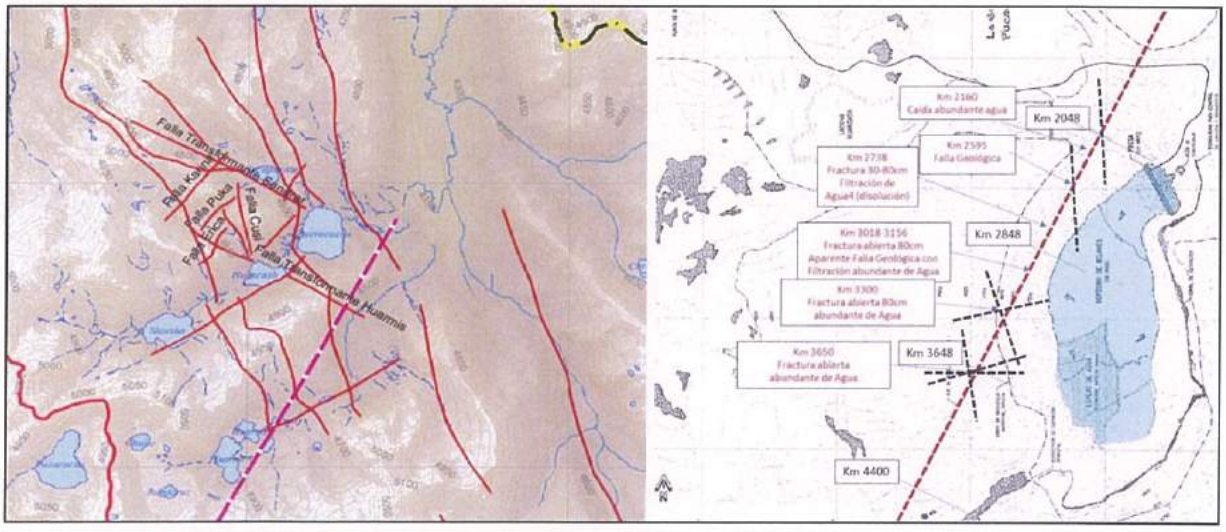
HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

DIMAS APAZA IDME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

3.2 ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA EL DEPÓSITO DE RELAVES ARIANA. ARIANA OPERACIONES MINERAS S.A.C. (AMPHOS 21, marzo, 2018).

a) La estructura del basamento rocoso se caracteriza por la presencia de tres dominios estructurales, cada uno de ellos con un patrón definido de fallamiento concordante con la geología regional de orientación NE-SW, N-S y NNW-SSE (Actualización hidrogeológica para el Depósito de Relaves, informe 430_18-ITE-002, rev D, pág.28). El patrón estructural principal varía ligeramente entre cada una de las formaciones geológicas implicadas. Los patrones estructurales menos dominantes, pero no por ello menos importantes a la hora de influir en el comportamiento de agua subterránea, describen direcciones aproximadas NE-SW y en algunos casos varía en dirección E-W. Estos dominios estructurales son importantes para definir la dirección del flujo que predominantemente serán mayores siguiendo estos dominios como se observa en la figura 04.

Figura 04. Principales Estructuras identificadas en la zona del depósito de relaves



Fuente: Amphos, Actualización Hidrogeológica para el Depósito de Relaves, 2018, pág. 28

El alineamiento, NE-SW es de importancia debido a la probabilidad de que las aguas de los relaves, en caso de no impermeabilizar el depósito, se dirijan al túnel siguiendo el sistema de fracturas principales. El estudio realizado por Amphos confirma que la dirección principal de flujo subterráneo a nivel regional es NE – SW (Amphos, Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico PROY. 219_14-2015, pág 97).

b) La perforación AMP-11 registra en superficie y hasta aproximadamente los 15m de profundidad que la resistencia a la penetración de la arcilla es nula. Esto podría ser debido a la presencia de suelo orgánico y raíces que fue registrado en otras perforaciones realizadas por Amphos. El registro de esta perforación no indica dicha presencia. La roca registrada desde los 48m hasta los 58m muestra que la limolita se encuentra muy fracturada y en algunas zonas extremadamente fracturada (Actualización Hidrogeológica para el depósito de relaves Ariana, 2018, Amphos, 430_18-ITE-002, pág 160-162).

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

DIMAS APAZA IDME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

c) La piezometría no muestra el cono de depresión por efecto de drenaje subterráneo a partir del Túnel Trasandino. Aparentemente, no fue un objetivo la detección del cono de depresión en el eje de túnel debido a la ubicación de los piezómetros.

d) **Las mediciones del nivel freático muestran que este no es estacionario y existe alta variabilidad.** Por ejemplo, el registro del **sondaje AMP-04** (donde casi toda la perforación está en roca caliza) muestra que el 28 de diciembre del 2016 **no había agua a una profundidad de 40m. A la semana siguiente se registró agua a 5 m de profundidad (subió por lo menos 35m).** Esto demuestra la alta permeabilidad de la roca caliza y que podría estar relacionada la karsticidad. **Comportamiento similar se observa en el registro de las perforaciones AMP-11 y AMP-15, donde en menos de 1 semana (espacio de registro) se observa cambios de hasta 9m en el nivel freático. Este comportamiento es propio de suelos permeables y confirmaría la presencia de materiales Kársticos** (Actualización Hidrogeológica para el depósito de relaves Ariana, 2018, Amphos, 430_18-ITE-002, pág. 257-259; 266-267; 268-269).

e) **La permeabilidad de la Formación Jumasha se ha catalogado como baja debido a que fueron mezclados con la Formación Celendín que tiene litología mucho más fina e impermeable.** Las calizas del Jumasha son más permeables que las limolitas del Casapalca.

f) El estudio Actualización Hidrogeológica para el Depósito de Relaves Ariana (Amphos, 2018) no establece si las lagunas circundantes aportan caudales generados en sus cuencas tributarias y producen recarga lateral hacia el acuífero calcáreo.

g) **El modelo numérico desarrollado para el Depósito de Relaves (Amphos, 2018), al igual que el del 2015, presenta las unidades hidrogeológicas como un medio homogéneo, lo cual, en base a la información presentada en el 2015 no es correcto.**

h) Bajo un escenario conservador, las simulaciones de Amphos 21 se ejecutaron bajo el supuesto de no incorporar medidas para la contención de la infiltración hacia el subsuelo. Sin embargo, una vez identificado este riesgo, Anddes desarrolló una ingeniería con impermeabilización del sector de morrenas, que entrarían en contacto con los relaves y controlar la potencial infiltración. Dicho sistema incluye un sistema GCL geomembrana y un sistema de subdrenaje. Con esto se elimina el riesgo de infiltración.

i) Las secciones hidrogeológicas Figura 5.12 y 5-15 del modelo numérico muestra que el flujo subterráneo hacia el Túnel Trasandino afecta a toda la región simulada y recibe aportes de agua subterránea desde la zona donde se ubicarán los componentes mineros depósito de relaves, depósito de desmontes, inclusive desde la mina subterránea proyectada, siendo **el Túnel Trasandino una labor recibe agua subterránea de toda la zona.**

j) Las secciones hidrogeológicas B-B´ Figura 5.12, y la Figura 5.15 en régimen transitorio indica una deflexión en sus equipotenciales. Estos no son paralelos al vaso del depósito de relaves, lo cual indica que existe flujo subterráneo vertical descendente en todo el dominio, no coincidente con el plano piezométrico Figura 4.4, del modelo conceptual.

k) Según las secciones mostradas en la Figura B-B´, C-C´, y D-D´ (Figuras 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8) indican que la formación Jumasha, cuyos estratos calcáreos son la de mayor permeabilidad del área, se encuentra muy próximo por debajo de los suelos detríticos (fluvioglaciales). Debido a esta condición, el permiso de construcción establece que el depósito de relaves sea impermeabilizado en su totalidad de manera tal de eliminar el riesgo de filtración desde este componente.

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

DIMAS APAZA IDME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

3.3 INGENIERÍA DE DETALLE DEL DEPÓSITO DE RELAVES PROYECTO MINERO ARIANA (ANDDES, 2016).

3.3.1 Sobre el diseño del depósito de relaves.

a) El Depósito de Relaves se ubicará en la pampa conocida como Iscumachay y ocupa un área de 97 ha. Se indica que para la cimentación de la presa se excavará aproximadamente 3 m de profundidad y que el suelo de cimentación tiene una potencia de 13 m.

b) Para el inicio de operaciones, se propone la construcción de un dique de arranque de 17 m de altura, conformado por relleno estructural, con un ancho de cresta de 8 m, talud aguas arriba y agua debajo de 2H:1V. Para los siguientes años de operación el cuerpo del dique estará conformado por relave griego proveniente del ciclón, de acuerdo al método de crecimiento aguas abajo con un talud global 3.5H:1V. Al final de la operación el dique tendría una altura de 28.5 m.

c) Según la información del EIA, los resultados de geofísica y perforaciones indican que la potencia del estrato arcilloso de baja permeabilidad tiene un espesor de 13 m y un espesor de 32 m en la zona central.

d) En el levantamiento de observaciones, Ariana Operaciones Mineras ha precisado que la litología bajo la estructura de la presa de relaves se conforma de 30 m de arcilla natural compacta, la cual en teoría disminuye la permeabilidad vertical ante las potenciales filtraciones. **Esta afirmación se contradice con el registro de los ensayos realizados donde se indica que las arcillas son muy blandas con alta compresibilidad con resistencias a la penetración prácticamente nulas, como se observa en la Figura 05.**

Figura 05 Resultados de los ensayos de penetración realizada en el depósito de Arcilla blanda

Tabla 2.8
Resumen de ensayos de penetración estándar (SPT) - Amphos 21

Área	Perforación	Ensayo SPT	Prof. (m)	Tipo de suelo (SUCS)	N_{SPT}	Densidad relativa (*)
Depósito de relaves	AMP-11	SPT-01	1,50 - 1,95	CH	0	Muy blando
		SPT-02	3,00 - 3, 45	CH	0	Muy blando
		SPT-03	6,50 - 6,95	CH	0	Muy blando
		SPT-04	8,50 - 8,95	CH	0	Muy blando
		SPT-05	10,0 - 10,45	CH	0	Muy blando
		SPT-06	11,5-13,00	CH	0	Muy blando
Depósito de relaves	AMP-11	SPT-07	13,0 - 13,45	CH	4	Blando
		SPT-08	14,5 - 14,95	CH	3	Blando
		SPT-09	17, 5 - 17,95	MH	5	Muy blando
		SPT-10	19,0 - 19,45	MH	10	Rígida
		SPT-11	20,5 - 20,95	MH	12	Muy rígida
		SPT-12	22,0 - 22,45	MH	11	Rígida

Fuente: Anddes, Diseño del Depósito de Relaves 1301.10.07-5-100-21-ITE-001, pág. 9

Los ensayos de laboratorio mostrados en la Figura 06 muestran valores de cohesión y fricción cercanos a cero. **Sin embargo, en el modelo numérico para la cohesión se asumió un valor de 50 kPa sin mayor justificación.** Los resultados del AMP-11, se ajustan a los

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

DINO ARANZA IDME
INGENIERO GEOLOGO

resultados de laboratorio, por lo tanto, para asumir los parámetros de resistencia de las arcillas debe ser considerado, a pesar de no estar ubicado directamente en la zona del dique.

Figura 06 Resultados de los ensayos triaxiales

Tabla 3.7
Resumen de ensayos de compresión triaxial no consolidado no drenado (UU) (Anddes, 2014)

Sondaje	Prof. (m)	Clasif. SUCS	Esfuerzos efectivos	
			c' (kPa)	ϕ' (°)
PR-AR14-101	5,40 - 5,85	CL-ML	0,025	0
PR-AR14-102	12,00 - 12,45	CL	0,015	0

Abreviaturas:
SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
Cont. Hum.: Contenido de humedad
C: Cohesión
Dens. Seca: Densidad seca
ϕ: Ángulo de fricción

Fuente: Anddes, Diseño del Depósito de Relaves 1301.10.07-5-100-21-ITE-001, pág. 22

e) **El modelo de filtraciones para la arcilla asume un valor prácticamente impermeable de 1.0E-09 cm/s, mientras que los ensayos reportan valores de hasta 4.08E-04 para este mismo depósito, prácticamente permeables.**

f) **El modelo considera que las arcillas sin resistencia a la penetración y con parámetros de resistencia cortante prácticamente nulos, alcanzan cargas de pre consolidación de hasta 85 KPa, no concordante con el tipo de suelo; en razón de ello, los asentamientos calculados deberían ser revisados** (Anddes, Informe Geotécnico 1301.10.07-5-100-21-ITE-001 pag-23).

g) El estudio geológico de Anddes 2016 Figura P-100 para el depósito de relaves tiene cartografía de mayor detalle, y delimita las unidades litológicas y las geotécnicas. Estas unidades difieren ligeramente de la cartografía de Amphos 21 (2018) en sus contactos, que se muestran en secciones geológicas (Láminas 1, 2 y 3). La Lámina 2 muestra que la Fm. Jumasha se encuentra muy próxima al eje de presa y afloran en la parte NW a la entrada del valle. Esta ubicación hace que esta formación sea vulnerable a la filtración proveniente de los relaves bajo el escenario no impermeabilización del depósito de relave. **El mapa geológico geotécnico muestra zonas con caliche en ladera, o tal vez se trate de travertinos por surgencia de agua carbonatada a superficie, lo que indicaría solubilidad de las rocas calcáreas. Dicho mapa también muestra 05 manantiales que descargan al valle, sin indicar caudales, lo que indicaría nivel freático somero.**

h) Existen 04 perforaciones en el eje de dique proyectado. Se debería incrementar el número de piezómetros para confeccionar la piezometría del área y evaluar los flujos e interacción con el drenaje del Túnel trasandino. Preliminarmente se recomienda incrementar la cantidad de sondajes, de acuerdo a la siguiente distribución:
   - 04 sondajes profundos en la zona de la mina subterránea, en base a su Plan de Minado.
   - 02 sondajes en la zona del depósito de desmontes, para evaluar su estanqueidad y propiedades hidráulicas del basamento rocoso.
   - 02 sondajes ubicados en la margen derecha del depósito de relaves a fin de investigar la permeabilidad de las rocas calcáreas y el grado de karsticidad de ellas.

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

DIMAS APAZA IDME
INGENIERO GEOLOGO

i) La perforación realizada por Anddes, PR-AR14-101 presenta resistencia a la penetración entre 1 y 3 golpes hasta aproximadamente los 20m de profundidad. Luego esta arcilla incrementa ligeramente su resistencia. Como describe las perforaciones realizadas por Amphos, podría ser debido al alto contenido de materia orgánica y raíces. La roca caliza que se registra desde los 36m hasta los 50m se registra como fracturada a muy fracturada (Anddes, Informe Geotécnico (2016), 1301.10.07-5-100-21-ITE-001, pág 12).

a) La perforación PR-AR14-102 muestra un comportamiento similar en la arcilla hasta los 20m de profundidad y la caliza es registrada de manera general de calidad mala, fracturada a muy fracturada (Anddes, Informe Geotécnico (2016), 1301.10.07-5-100-21-ITE-001, pág 8; 1301.10.07-5-100-21-ITE-001, pág 12).

b) Los registros de la perforación PR-AR14-105 son similares en superficie, pero resalta la descripción en profundidad sobre las margas, donde se indica presencia incluso de arenas en las juntas y oquedades y registra que existe evidencia de procesos Kársticos (Actualización Hidrogeológica para el depósito de relaves Ariana, 2018, Amphos, 430_18-ITE-002, pág 155,156).

c) En el registro de la perforación PR-AR14-106, la roca identificada es calizas desde los 8m de profundidad hasta los 50m y se registra presencia de fracturas, fallas y evidencias de procesos Kársticos (Actualización Hidrogeológica para el depósito de relaves Ariana, 2018, Amphos, 430_18-ITE-002, pág 157-159).

d) Otro aspecto resaltante son los ensayos de permeabilidad; por ejemplo, el sondeo PR-AR14-106 entre 42m a 44m de profundidad en la roca caliza, da como resultado un valor de permeabilidad de K=4.11E-03 cm/s, valores muy altos, que podría estar relacionado al fenómeno de karsticidad de las calizas (Anddes, Informe Geotécnico 1301.10.07-5-100-21-ITE-001, pág 11).

e) El plano P-111 secciones geotécnicas Lámina 2, muestra el contacto entre la Formación Jumasha y la Formación Celendín, las que tienen litologías distintas. Esto concuerda con el contacto litológico observado con las imágenes satélites del Google Earth. La sección muestra el espesor de los suelos y los niveles de arcillas lacustres en el vaso de la cuenca en la que se hicieron buena cantidad de sondajes y calicatas para la evaluación de la zona de fundación prevista para el depósito de relaves.

f) La parte norte del valle en la zona prevista para el espejo de agua P-031 Impermeabilización de la margen izquierda, indica revestimiento con geomembrana HDPE 1.5 mm. Como parte del permiso de construcción, se ha requerido que todo el depósito sea sujeto a impermeabilización con lo cual el estudio de ingeniería para la ejecución de esta medida deberá ser ejecutado teniendo en consideración estos hallazgos.

3.3.2 Análisis geoquímico de roca total (Pág. 155-157).

Los contenidos de arsénico son elevados en algunas muestras, llegando a superar las 5 000 ppm. No existe una relación clara con el azufre y otros metales, lo cual no permite determinar, a partir de estos análisis, la asociación del arsénico con las fases minerales presentes. Esto podría ser debido a una distribución no homogénea del arsénico en determinadas fases minerales en el yacimiento, como podría ser el caso de la arsenopirita o contenidos difícilmente correlacionables de arsénico en pirita.

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

DIMAS APAZA IDME
INGENIERO GEOLOGO

Los contenidos de manganeso medidos son elevados, aunque no existe una relación clara con los otros elementos. Esto podría ser debido a que el manganeso se encuentra asociado a diferentes fases minerales, como carbonatos, óxidos y silicatos, lo que podría dificultar establecer un término fuente para este metal a partir de estos análisis. El resto de elementos analizados se encuentran en concentraciones muy bajas, por lo que no se han considerado en la evaluación de los resultados.

3.3.3 Ensayos de celdas húmedas (Pág. 164-175).

Tanto para el mineral como para el desmonte, se seleccionaron muestras que permitieran cubrir todo el rango de contenidos de azufre determinado a partir de los ensayos estáticos en 36 muestras de mineral y desmonte y 2 muestras de relaves.

Los contenidos de sulfuros son muy variables, y en general están representados por contenidos crecientes de esfalerita, calcopirita y pirita (o pirrotina). Es posible que se encuentren cantidades menores de otros sulfuros, como galena, arsenopirita y tetraedrita, pero su distribución es muy local. Los tres sulfuros principales presentan contenidos variables de otros elementos a nivel de trazas, como cadmio en esfalerita, y arsénico, bismuto y cobalto en pirita.

Todas las muestras presentan contenidos variables de óxidos e hidróxidos de hierro, los cuales presentan trazas de otros metales y metaloides, como manganeso, arsénico, cobalto, zinc y cobre.

La oxidación de los sulfuros dará lugar a la generación de acidez de forma local con la liberación de algunos metales, en especial hierro, zinc, cobre, cadmio, cobalto, manganeso y arsénico. Sin embargo, la amplia presencia de carbonatos en las muestras permitirá que dicha acidez se neutralice rápidamente. Así, la neutralización de la acidez, permitirá la precipitación de la mayor parte de estos metales de tal manera que las aguas de contacto presenten concentraciones por debajo de estándares de calidad ambiental (ECA) y de los límites máximos permisibles (LMP). El análisis de los resultados de ensayos ABA indica que la generación de acidez de las muestras se producirá sólo en aquellos materiales que presenten un contenido de sulfuros superior a 5% (azufre total). En este sentido, se puede precisar a partir de los datos representados en la Figura 9.2, que un 1.3% de los materiales de desmonte son potencialmente generadores de drenaje ácido, mientras que para los materiales correspondientes a mineral el porcentaje aumenta hasta un 36%. Por lo que respecta a los relaves, se puede precisar que en base a los datos analizados estos no serán productores de drenaje ácido.

Sin embargo, algunos de los metales (zinc, cadmio, manganeso) pueden permanecer en solución con elevadas concentraciones, ya que la solubilidad de los óxidos e hidróxidos de estos metales son elevadas en el rango de pH de equilibrio con calcita (7.5 a 9.0). Por consiguiente, **aunque no se genere drenaje ácido, las muestras con elevados contenidos de sulfuros pueden generar drenaje neutro con elevadas concentraciones de sulfato y metales como zinc, cadmio y manganeso.**

De modo preventivo, se deben colocar estructuras de interceptar escorrentía en la zona para prevenir el contacto de agua de lluvia con los botaderos de desmonte y el depósito de relaves.

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

DIMAS APAZA TIDME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

3.3.4 Modelamiento de la calidad de efluentes por componentes (Pág. 175-176).

Para determinar la calidad de los efluentes potenciales de mina, botadero y relavera, se han agrupado los diferentes materiales en base a su reactividad. Lo primero que se observa es que más del 70% de los materiales que se van a excavar corresponden a calizas o mármoles, mientras que el resto corresponden principalmente a alteraciones de tipo skarn o skarnoide, por lo que la abundancia de carbonatos será muy elevada en cualquier tipo de rocas.

Por tanto, los materiales se han agrupado en unidades geo-ambientales (UGAs) en función del rango de contenido de azufre, lo que condicionará la respuesta de la roca en la interacción con agua en condiciones aeróbicas. Los rangos de contenido de azufre considerados son los que se describen en la Tabla 9-3, a los que se ha asociado una representatividad basada en el análisis de datos de taladros y se ha determinado el contenido promedio de azufre y los metales más relevantes, con el fin de poder calcular a partir de estos metales el contenido de los sulfuros correspondientes.

3.3.5 Galerías Subterráneas (Pág. 177-182).

Para el cálculo de la calidad del agua de drenaje en las galerías se ha considerado que el agua circula por un sistema de fracturas y que el tiempo de contacto con la roca, en condiciones aeróbicas, es inferior a un año.

En base a los resultados obtenidos, los principales problemas pueden darse en referencia a las concentraciones de zinc y arsénico, especialmente cuando el material lixiviado corresponde a mineral o desmonte con elevado contenido de sulfuros (Tabla 9-7). Aun así, no hay que descartar las elevadas concentraciones de sulfato y manganeso que, aunque no presenten un LMP asociado, presentan concentraciones calculadas bastante elevadas para estos elementos.

Sobre la base de estos resultados, el EIA prevé la construcción y operación de una planta de tratamiento de aguas industriales, tanto para las galerías subterráneas como para los otros componentes del proyecto.

3.4 SOBRE LA IMPERMEABILIZACIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES

El Informe N°205-2018-MEM-DGM-DTM/PB, del 10 de julio del 2018, del Ministerio de Energía y Minas, en referencia a la impermeabilización del depósito de relaves indica que Ariana Operaciones Mineras S.A.C., indica que la impermeabilización parcial del vaso con geomembrana del HDPE lisa de 1,5 mm de espesor, instalada sobre una capa de GCL, no garantiza la impermeabilización total de este debido a los materiales identificados en el emplazamiento del depósito. Asimismo, recomienda la impermeabilización de todo el vaso con la finalidad de evitar cualquier potencial de flujo de infiltración hacia el túnel trasandino.

Esta recomendación debe ser implementada, debido a que esta medida elimina el riesgo de filtraciones, **teniendo en consideración la alta compresibilidad de los depósitos arcillosos y orgánicos identificados en el vaso, que se depositan de manera errática. En ese sentido, se**

HEBERT SOTELO AED
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

DIMAS APAZA IDME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

debería realizar los modelos numéricos para determinar el tratamiento adecuado para asegurar la estabilidad frente a la rotura de los elementos de impermeabilización.

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

CARLOS ZAPATA IDME
INGENIERO GEÓLOGO
Reg. CIP N° 39111

4.0 CONCLUSIONES

1. La zona del proyecto tiene un sistema de discontinuidades principales y fracturas con un alineamiento desde los componentes del proyecto hacia el túnel transandino. Esta condición representa un riesgo a infiltración desde el depósito de relaves, la que ha sido primero mitigado mediante la impermeabilización parcial de la zona donde se identificaron los rasgos kársticos, y luego a través del permiso para la construcción de la impermeabilización total del vaso.

2. De los registros de perforaciones realizadas, el mapeo del túnel y la que se observa en superficie, las formaciones *Jumasha y Celendin,* presentan evidencias de karstificación en su conjunto, lo que evidencia una alta probabilidad de conexión hidráulicas con el subsuelo.

3. Existe discrepancia en los valores de permeabilidad asumidos en el modelo hidrogeológico para las formaciones Jumasha, Celendin, del depósito fluvio glaciar y en especial el de las arcillas plásticas, que según los ensayos geotécnicos son muy compresibles. En algunos casos el valor asumido es 100,000 veces mayor a los registrados en campo. Por lo tanto, el modelo hidrogeológico puede estar dando resultados, no concordantes con la realidad.

   El cuadro 1, resume los parámetros más conservadores obtenidos en los ensayos para cada depósito y los asumidos en los estudios hidrogeológicos, realizados por Amphos y Anddes.

Cuadro 1 Valores de Permeabilidad Asumidos en los Diferentes Estudios (Cm/S)

Material	Valor conservador del ensayo	Amphos (2015)	Amphos (2018)	Anddes (2016)
Materiales Cuaternarios	1.2 E-02 - 2.41E-03	2.41E-03	1.64E-04	1.0 E-07
Andesitas fracturadas	1.38E-03	1.38E-03	-	-
Formación Jumasha (Calizas fractruradas – Evidencias de Kasticidad)	3.26E-03	3.26E-03	2.16E-06	1.0E-06
Formación Celendin (Limolitas – Evidencias de Karsticidad)	1.56E-03	1.56E-03	8.0 E-05 – 2.0 E-7	-
Formación Casapalca (Limolitas y Lutitas – fracturadas a muy fracturadas)	1.49E-04	1.49E-04	1.49E-04	-
Fluvio Glaciar	7.42E-04	7.42E-04	8.0E-06	1.0 E-07
Arcillas de alta plasticidad	4.08E-04	-	5.0E-07	1.0E-09

Elaboración: Walsh Perú 2019

Si bien los materiales presentes en el fondo de valle, corresponden a paquetes de arcillas con potencias de hasta 30 m de espesor, aparentemente éstas no serían del todo impermeables, debido al alto contenido de material orgánica y raíces y son altamente compresibles, con resistencias a la penetración en muchos casos nulos, las que no limitarían el potencial de infiltración. Según las perforaciones realizadas, la roca base se encuentra fracturada a muy fracturada, con presencia de rasgos kársticos que facilitarían la potencial infiltración, no solamente en el sector izquierdo del depósito de relaves. Por lo tanto, se recomienda la impermeabilización total del depósito de relaves, de manera tal que se elimine este riesgo.

HEBERT SOTELO AE
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N. 57639

DIMAS APAZA TOME
INGENIERO GEOLOGO

4. El análisis de filtraciones utiliza un valor de permeabilidad para las arcillas de 1,0E-09 cm/s, lo cual es discordante con los ensayos que reportan valores para este mismo depósito de hasta 4,08E-04 cm/s.

5. Los parámetros utilizados en el modelo conceptual (Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, Amphos 2015) se ajusta mejor a los valores obtenidos con los ensayos y representan de mejor manera el fenómeno de karstificación. En este modelo se indica que, de no existir impermeabilización podría existir una migración lateral de material de relave hacia el túnel trasandino, en un caudal de 13 l/s., desde el material de relave y de 2.5 l/s., desde su espejo de agua, producto de la karstificación. Según AOM, el depósito no alcanzaría la zona donde existe kastificación, pero de forma preventiva el EIA incorporó la impermeabilización de dicho sector. Así mismo, como parte del permiso de construcción, el requerimiento de impermeabilización fue extendido a todo el depósito.

6. La zona de la estructura mineralizada será excavada hasta el nivel 4230 mnsm, en 8 niveles proyectados, y para las actividades de explotación se ha previsto deprimir la napa freática mediante el uso de bombas. AOM debe estar preparado para la probabilidad de tener mayores caudales de los obtenidos en el modelo numérico debido a la karsticidad del área o la probabilidad de interceptar cavidades u oquedades durante la explotación.

7. Existe una aparente discordancia entre los parámetros de resistencia cortante, utilizados para el análisis de estabilidad asumido, y los obtenidos en campo y laboratorio. Por ejemplo, se registraron depósitos de arcillas muy blandos, con resistencia a la penetración entre 0 y 3 (prácticamente nulos) y se ha asumido valores de cohesión de 50 KPa. Esto debe ser corroborado por los estudios de ingeniería de detalle.

8. El análisis de asentamientos, utiliza para las arcillas muy blandas cargas de pre consolidación de 85 KPa, lo cual parece discordante con el tipo y naturaleza del material identificado en campo. Esto debe ser corroborado por los estudios de ingeniería de detalle para el depósito de relaves.

9. Las rocas calcáreas de la Fm., Jumasha es uno de los acuíferos más permeables de la región y actualmente drenan hacia el Túnel Trasandino. Por la ubicación de la mina subterránea, se estima que drenará parte de estas aguas. El depósito de relaves se encuentra rodeado por esta unidad, tanto basal y lateralmente. El requerimiento del permiso de construcción de impermeabilizar la totalidad del depósito de relaves, debe eliminar el riesgo de que la filtración vaya hacia el túnel transandino.

10. El túnel posee revestimiento parcial de su techo y de sus paredes. Se estima alrededor del 50% de su longitud, y su piso es de concreto entre las progresivas Km 5+043 y Km 6+780. Entre el Km 2+045 a 4+070 atraviesan calizas permeables y algunas alteradas a mármol, las que registran hasta tres puntos de ingresos de agua subterránea al Túnel Trasandino, procedente del acuífero calcáreo Fm. Jumasha.

11. Por la condición de túnel Trasandino descrita en el párrafo anterior, la formación Jumasha actualmente aporta importante caudal de agua subterránea. Las labores mineras podrían afectar al caudal del túnel, la que debería ser mejor evaluada, mediante evaluación de las descargas actuales del túnel y la reconstrucción de la piezometría del área.

HEBERT SOTELO AE
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

DIEGO APAZA IDME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

12. El Ministerio de Energía y Minas ha recomendado la impermeabilización total del vaso. Debido a la presencia de materiales altamente compresibles, se debe hacer la ingeniería para prevenir la rotura de los elementos impermeabilizantes (geomembranas) debido a los potenciales asentamientos diferenciales.

13. Finalmente, los modelos numéricos del estudio hidrogeológico, deben considerar la geología en base a su litología y evaluar con mayor profundidad el grado de kársticidad que influye en la recarga del sistema hidrogeológico, identificados en el proyecto las que deben ser analizados considerando las condiciones más desfavorables, incluyendo la rotura de la impermeabilización del vaso, recomendado por el Ministerio de Energía y Minas.

HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

5.0 RECOMENDACIONES

- Se recomienda complementar los estudios, con nuevas perforaciones de investigación, localizadas, expresamente en el área de componentes mineros proyectados, e instalarlo como piezómetros, para la observación de niveles y calidad de las aguas subterráneas.
- Es necesario actualizar estudios de los aportes por drenaje del acuífero calcáreo de la Fm. Jumasha hacia el túnel Trasandino, tanto en caudal, calidad hidroquímica y estabilidad del túnel, ante la presencia de vibraciones por efecto del minado para el proyecto Ariana.
- Se recomienda evaluar y determinar el refuerzo o mejoramiento necesario para proteger el elemento impermeabilizante que se coloque en el vaso debido a potenciales asentamientos diferenciales que puedan ocurrir en las arcillas altamente compresibles.
- Se recomienda realizar un nuevo modelo hidrogeológico que considere un análisis de sensibilidad y el fenómeno de karsticidad identificado para la zona del proyecto. Lo cual servirá para analizar el riesgo en caso de rotura del sistema de impermeabilización requerido como parte de la licencia de construcción, y puede ser empleado a mejorar la predicción del drenaje de agua subterránea, las que serán captados durante las labores de explotación de la mina subterránea.
- Se recomienda que el botadero de desmonte, cuente con un sistema de intercepción de agua de escorrentía, para minimizar su contacto con material potencialmente reactivo. El programa de monitoreo de aguas superficiales, debe evaluar la calidad de la escorrentía.
- El EIA ya plantea la instalación de la planta de tratamiento de agua residual industrial, para asegurar el cumplimiento de los LMP y ECAs. Debido a la posibilidad de captar más agua que la prevista, por efectos de las fallas y oquedades kársticas, se debe asegurar que la planta tenga suficiente capacidad de tratamiento para los caudales picos o interceptación de cavidades kársticas de conducto.

DIMAS ARANA DME
INGENIERO GEOLOGO
Reg. CIP N° 39111

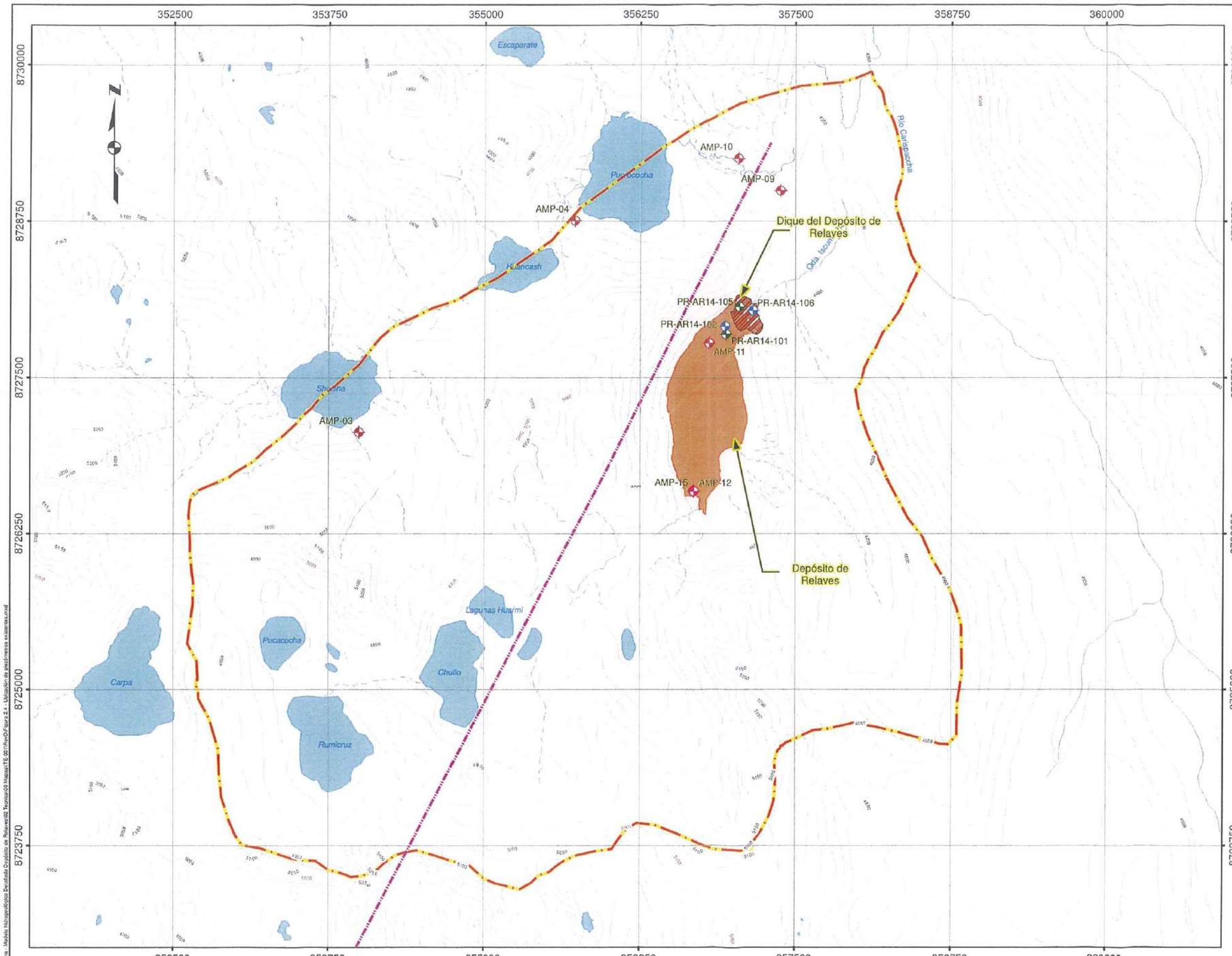
HEBERT SOTELO AEDO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 57639

ANEXOS

Tabla 2-5 Resumen de parámetros hidráulicos obtenidos

Piezómetro	Intervalo Prueba (m)		Prof. Prom (m)	Intervalo Prueba (m)	Tipo de Prueba	Conductividad Hidráulica		Litología	N°
	Tope	Fondo				K (m/día)	K (cm/s)		
AMP-01	13	45.4	29.2	32.4	Slug "Recuperación"	0.01	7.8E-06	Falta registro	1
AMP-01	13	45.4	29.2	32.4	Prueba de Bombeo	0.004	4.9E-06	Falta registro	2
AMP-02	9.7	22.6	16.15	12.9	E. Recuperación	0.36	4.2E-04	Falta registro	3
AMP-02	9.7	22.6	16.15	12.9	Slug "Descenso"	0.72	8.4E-04	Falta registro	4
AMP-02	9.7	22.6	16.15	12.9	Slug "Recuperación"	1.17	1.4E-03	Falta registro	5
AMP-02	9.7	22.6	16.15	12.9	Prueba de Bombeo	0.54	6.2E-04	Falta registro	6
AMP-04	14.8	40.2	27.5	25.4	E. Recuperación	0.002	2.1E-06	Calizas	7
AMP-04	14.8	40.2	27.5	25.4	Slug "Descenso"	0.01	9.0E-06	Calizas	8
AMP-04	14.8	40.2	27.5	25.4	Slug "Recuperación"	0.00	4.2E-06	Calizas	9
AMP-05	33	40	36.5	7	Lugeon	0.04	4.2E-05	Falta registro	10
AMP-05	22	40	31	18	Slug "Descenso"	0.93	1.1E-03	Falta registro	11
AMP-05	22	40	31	18	Slug "Recuperación"	1.71	2.0E-03	Falta registro	12
AMP-06	14.8	40	27.4	25.2	E. Recuperación	0.28	3.2E-04	Falta registro	13
AMP-06	25.5	40	32.75	14.5	Slug "Descenso"	0.09	1.1E-04	Falta registro	14
AMP-06	25.5	40	32.75	14.5	Slug "Recuperación"	0.18	2.1E-04	Falta registro	15
AMP-07	67.4	80	73.7	12.6	Lugeon	0.01	1.2E-05	Falta registro	16
AMP-07	41.6	59.2	50.4	17.6	E. Recuperación	2.04	2.4E-03	Falta registro	17
AMP-07	41.6	59.2	50.4	17.6	Slug "Recuperación"	0.59	6.8E-04	Falta registro	18
AMP-08	35.2	40.1	37.65	4.9	Lugeon	0.02	1.9E-05	Falta registro	19
AMP-08	5.15	19.65	12.4	14.5	Slug "Descenso"	2.76	3.2E-03	Falta registro	20
AMP-09	30.5	48.8	39.65	18.3	Lugeon	0.02	2.2E-05	Limolitas	21
AMP-09	61.5	70.1	65.8	8.6	Lugeon	0.02	2.7E-05	Limolitas	22
AMP-09	45	59	52	14	Slug "Descenso"	0.13	1.5E-04	areniscas	23
AMP-09	45	59	52	14	Slug "Recuperación"	0.20	2.4E-04	areniscas	24
AMP-09	45	59	52	14	Prueba de Bombeo	0.05	5.3E-05	areniscas	25
AMP-10	34.5	60.9	47.7	26.4	Lugeon	0.02	2.5E-05	Limolitas	26
AMP-10	60.6	85.1	72.85	24.5	Lugeon	0.01	9.8E-06	Limolitas	27
AMP-10	50.55	85.1	72.85	34.55	Slug "Descenso"	0.04	4.8E-05	Limolitas	28
AMP-11	31.6	45.8	38.7	14.2	Slug "Recuperación"	0.01	5.8E-06	Limolitas	29
AMP-13	5.2	16.7	10.95	11.5	E. Recuperación	0.29	3.3E-04	areniscas	30
AMP-13	5.2	16.7	10.95	11.5	Prueba de Bombeo	0.42	4.8E-04	areniscas	31
AMP-14	4.87	21.8	13.34	16.93	E. Recuperación	0.37	4.2E-04	areniscas	32
AMP-14	4.87	21.8	13.34	16.93	Prueba de Bombeo	0.55	6.4E-04	areniscas	33
AMP-13 Obs.	5.2	21.8	13.5	16.6	Prueba de Bombeo	0.63	7.3E-04	areniscas	34
AMP-14 Obs.	4.87	16.7	10.79	11.83	Prueba de Bombeo	0.73	8.5E-04	areniscas	35
AMP-12	--	--	--	--	--	--	--	Calizas	36
AMP-14	--	--	--	--	--	--	--	Poco calizas	37

(--) Sin datos



LEYENDA

- Piezómetros Amphos21, 2014
- Piezómetros Anddes, 2014
- Sondaje Amphos21, 2014
- Sondajes Anddes, 2014
- Curvas de nivel mayores
- Quebradas permanentes
- Quebradas efímeras
- Área de estudio
- Túnel Trasandino
- Lagunas

Nota:
1. Las huellas de los componentes Relave, Dique y Túnel Trasandino fueron proporcianados por AOM.
2. Topografía Regional: Carta Nacional del IGN Empalme "24-k".

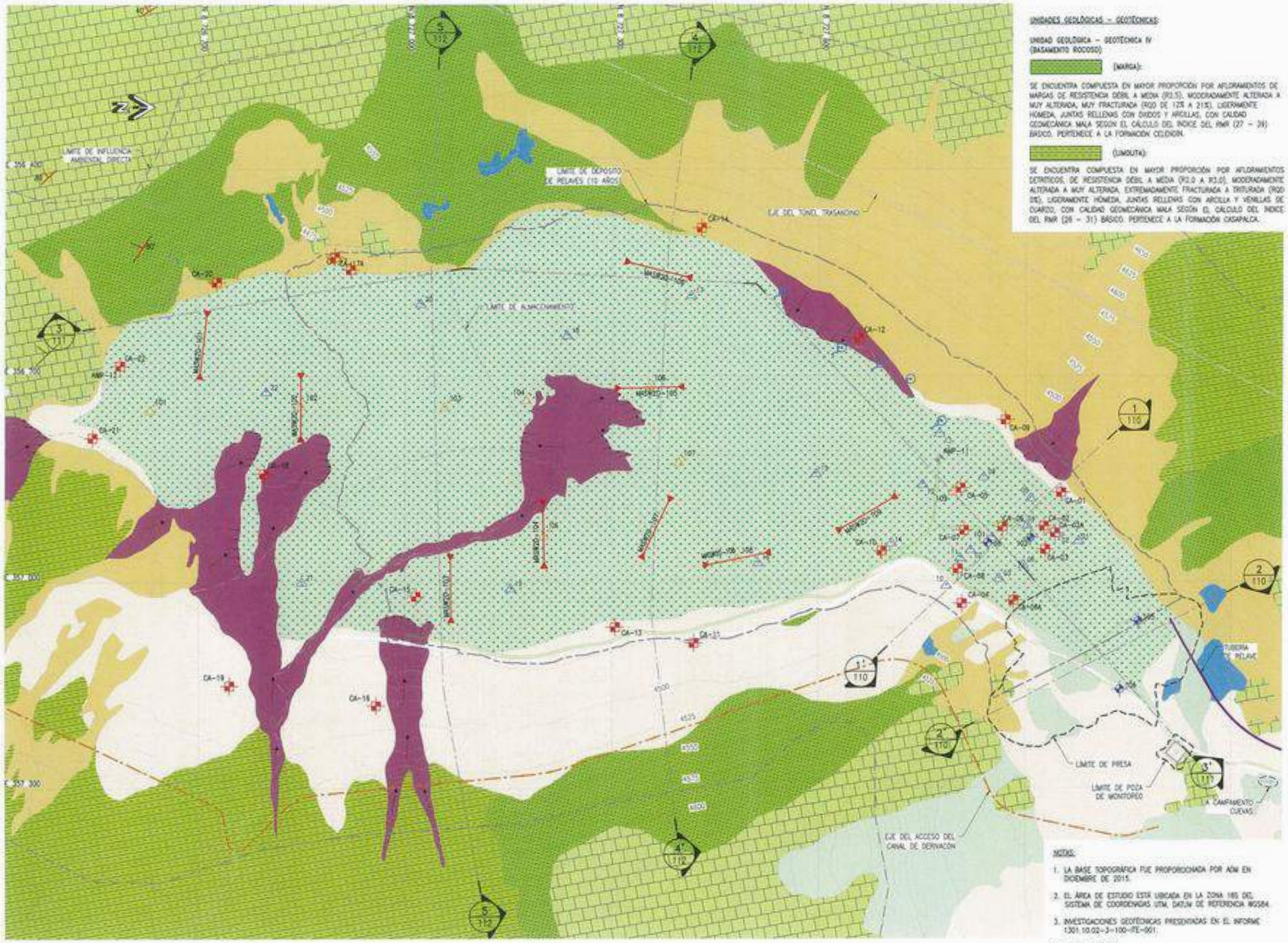
MIGUEL ANGEL
MENDOZA TINOCO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 115525

0 0.15 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5
KILÓMETROS
1:30,000

EMPRESA: AMPHOS 21 SCIENTIFIC AND STRATEGIC ENVIRONMENTAL CONSULTING Jr. Pietro Torrigiano 396, San Borja, Lima 41 - Perú - T: +51 1 592 1275 - www.amphos21.com	REVISADO: A. Yancapallo APROBADO: M. Mendoza DIBUJADO: Amphos21 FECHA: Marzo 2018 ESCALA: INDICADA PROYECCCIÓN: UTM DATUM: WGS 84 ZONA: 18S	CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC PROYECTO: ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA EL DEPÓSITO DE RELAVES ARIANA TÍTULO: UBICACIÓN DE PIEZÓMETROS EXISTENTES	FIGURA N°: 2.4 PROYECTO N°: 430_18 REVISIÓN: D

CONFIDENCIAL:
ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DE AMPHOS21 Y DE USO EXCLUSIVO DEL CLIENTE MENCIONADO EN EL MEMBRETE. SU USO Y REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN PREVIA, ESTÁN PROHIBIDOS.

RUTA ARCHIVO GIS: P:\01 Proyectos\430_18 Ariana - Modelo Hidrogeológico Detallado Depósito de Relaves\02 Tecnico\00 Mapas\TE-001\RevD\Figura 2.4 - Ubicación de piezómetros existentes.mxd



PLANTA

ESCALA 1 : 5000

LEYENDA

- CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO EXISTENTE (VER NOTA 1)
- LÍMITE DE DEPÓSITO Y DIQUE DE RELAVE
- LÍMITE DE CORTE O RELLENO
- LÍNEA DE DISEÑO
- CAMINO EXISTENTE
- LÍMITE DE ALMACENAMIENTO
- LÍMITE DE INFLUENCIA AMBIENTAL DIRECTA
- EJE DEL ACCESO DEL CANAL DE DERIVACIÓN
- LÍMITE DE DEPÓSITO DE RELAVES
- TÚNEL TRASANDINO
- TUBERÍA DE RELAVE
- QUEBRADAS
- LÍNEA SECCIÓN (PLANTA)
- ESTRUCTURAS EXISTENTES
- RUMBO Y BUZAMIENTO
- MANANTIAL
- CA-AR14-01: CALICATAS, CÓDIGO: CA-AR14-01 (ANDDES, MARZO 2014)
- PR-AR14-101: PERFORACIONES, CÓDIGO: PR-AR14-101 (ANDDES, MARZO - MAYO 2014)
- DPL-AR14-101: DPL, CÓDIGO: DPL-AR14-101 (ANDDES, MARZO 2014)
- AMP-11: PERFORACIONES EXISTENTES (AMPHOS 21, MARZO 2014)
- MAM-AR16-101: ENSAYO MAM, CÓDIGO: MAM-AR16-101 (ANDDES, MARZO 2016)
- MASW2D-AR16-101: ENSAYO MASW2D, CÓDIGO: MASW2D-AR16-101 (ANDDES, MARZO 2016)
- RELLENO CONTROLADO
- RELLENO NO CONTROLADO
- SUELO ORGÁNICO
- FLUJO DE DETRITOS
- CALICHE (CONCRECIONES)

UNIDADES GEOLÓGICAS - GEOTÉCNICAS:

UNIDAD GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA I (DEPÓSITO COLUVIAL)

SUELO CONFORMADO POR GRAVA BIEN GRADADA, DE PLASTICIDAD NULA, SUELTA A MUY SUELTA, LIGERAMENTE HÚMEDA, DE COLOR MARRÓN CLARO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA, GRAVAS SUBANGULOSAS, POTENCIA DE 2.0 A 5.0 m.

UNIDAD GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA II (SUELO LACUSTRINO)

TERRAZA LACUSTRINA, MAYORMENTE CON PRESENCIA DE SUELOS FINOS (OL, ML, OL, CH), CON VALORES "N" DEL SPT VARIABLES DE 1 A 13 GOLPES.

(OL):

LIMO ORGÁNICO CON GRAVA Y ARENA, PLASTICIDAD MEDIA, FIRME, LIGERAMENTE HÚMEDO A HÚMEDO, COLOR PARDO CLARO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA.

UNIDAD GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA III (DEPÓSITO MORRÉNICO)

SUELO CONFORMADO POR GRAVA ARCILLOSA Y ARCILLA GRAVOSA, DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA, DENSA, LIGERAMENTE HÚMEDA A HÚMEDA, DE COLOR MARRÓN OSCURO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA, GRAVAS ANGULOSAS A SUBANGULOSAS, POTENCIA DE 10.0 A 15.0 m.

UNIDAD GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA IV (BASAMENTO ROCOSO)

(CALIZA):

SE ENCUENTRA COMPUESTA EN MAYOR PROPORCIÓN POR AFLORAMIENTOS DE CALIZAS MICRÍTICAS DE RESISTENCIA MEDIA A DURA (R3.0 A R4), LIGERAMENTE ALTERADA A MODERADAMENTE ALTERADA, MUY FRACTURADA A MODERADAMENTE FRACTURADA (RQD DE 20.0% A 87%), LIGERAMENTE HÚMEDA, JUNTAS RELLENAS CON ARCILLA Y VENILLAS DE CALCITA, CON CALIDAD GEOMECÁNICA MALA A REGULAR SEGÚN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL RMR (26 - 52) BÁSICO. PERTENECE A LA FORMACIÓN JUMASHA.

UNIDADES GEOLÓGICAS - GEOTÉCNICAS:

UNIDAD GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA IV (BASAMENTO ROCOSO)

(MARGA):

SE ENCUENTRA COMPUESTA EN MAYOR PROPORCIÓN POR AFLORAMIENTOS DE MARGAS DE RESISTENCIA DÉBIL A MEDIA (R1-S), MODERADAMENTE ALTERADA A MUY ALTERADA, MUY FRACTURADA (RQD DE 12% A 21%), LIGERAMENTE HÚMEDA, JUNTAS RELLENAS CON ÓXIDOS Y ARCILLAS, CON CALIDAD GEOMECÁNICA MALA SEGÚN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL RMR (27 - 39) BÁSICO. PERTENECE A LA FORMACIÓN CELENDÍN.

(LIMOLITA):

SE ENCUENTRA COMPUESTA EN MAYOR PROPORCIÓN POR AFLORAMIENTOS DETRÍTICOS, DE RESISTENCIA DÉBIL A MEDIA (R2.0 A R3.0), MODERADAMENTE ALTERADA A MUY ALTERADA, EXTREMADAMENTE FRACTURADA A TRITURADA (RQD DE), LIGERAMENTE HÚMEDA, JUNTAS RELLENAS CON ARCILLA Y VENILLAS DE CUARZO, CON CALIDAD GEOMECÁNICA MALA SEGÚN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL RMR (28 - 31) BÁSICO. PERTENECE A LA FORMACIÓN CASAPALCA.

NOTAS:

1. LA BASE TOPOGRÁFICA FUE PROPORCIONADA POR AOM EN DICIEMBRE DE 2015.
2. EL ÁREA DE ESTUDIO ESTÁ UBICADA EN LA ZONA 18S DEL SISTEMA DE COORDENADAS UTM, DATUM DE REFERENCIA WGS84.
3. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS PRESENTADAS EN EL INFORME 1301.10.02-3-100-ITE-001.
4. NOMENCLATURAS:
   RMR = *ROCK MASS RATING*
   RQD = *ROCK QUALITY DESIGNATION*
5. LAS ESCALAS SE MOSTRARÁN COMO REALES EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A1.

LAS ESCALAS GRÁFICAS PODRÁN SER USADAS EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A1.

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIS.	REV.	NÚMERO DE PLANO	PLANO DE REFERENCIA
A	04/01/16	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	M.D.		1301.10.07-5-100-21-P-110	SECCIONES GEOLÓGICAS - GEOTÉCNICAS - LÁMINA 1 DE 3
B	31/03/16	EMITIDO PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE	M.D.		1301.10.07-5-100-21-P-111	SECCIONES GEOLÓGICAS - GEOTÉCNICAS - LÁMINA 2 DE 3
0	08/04/16	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	M.D.			
-	-	-				
-	-	-				
-	-	-				
-	-	-				

ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

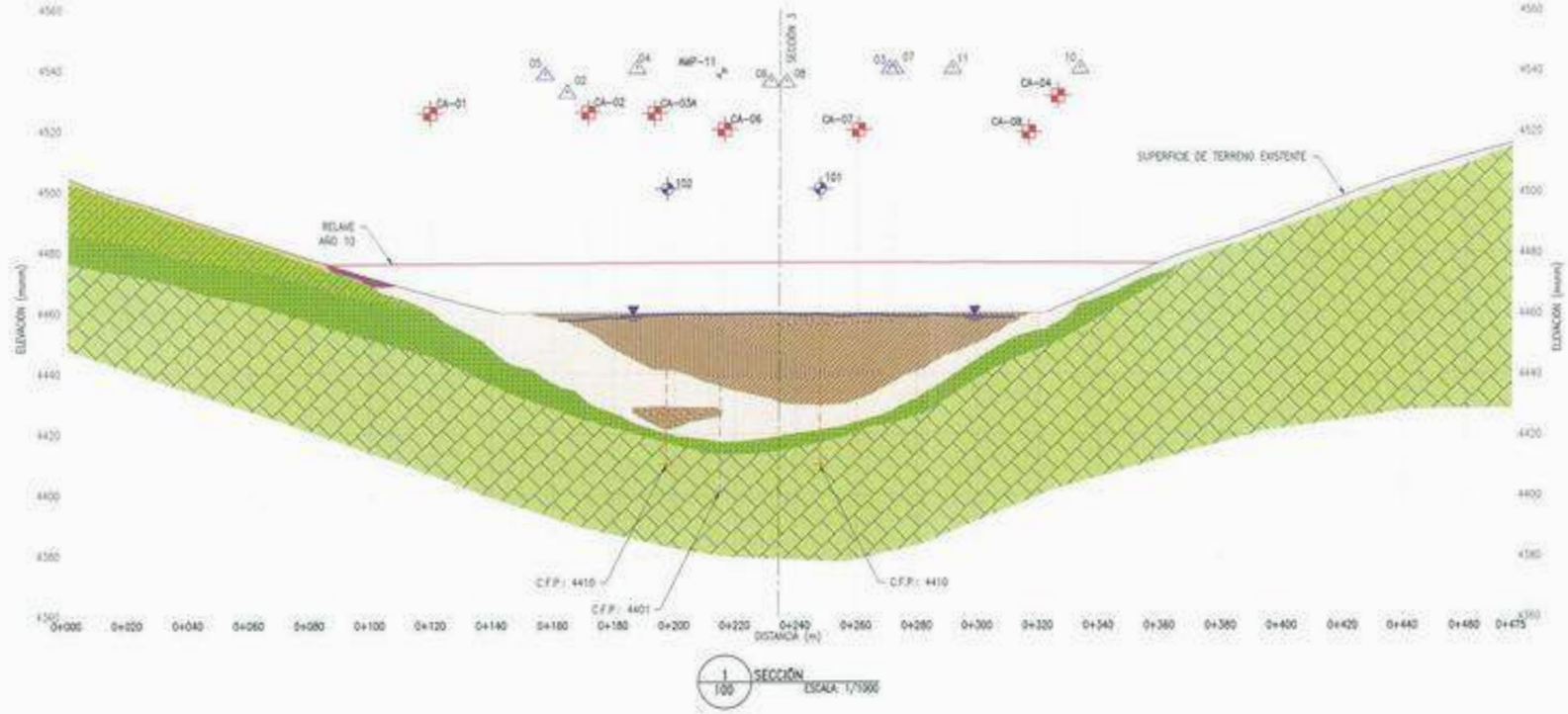
CONFIDENCIAL:
ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ÉL, SON PROPIEDAD DE ANDDES Y DE USO EXCLUSIVO DEL CLIENTE MENCIONADO EN EL MEMBRETE. SU USO Y REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN PREVIA, ESTÁN PROHIBIDOS.

DISEÑADO POR: M. DAVILA	FECHA: 08/04/16	Nº PROYECTO: 1301.10.07
DIBUJADO POR: F. GAMIO	FECHA: 08/04/16	DISCIPLINA: GEOTECNIA
REVISADO POR: M. DAVILA	FECHA: 08/04/16	ESCALA: INDICADA
APROBADO POR: L. SALAS	FECHA: 08/04/16	REVISIÓN: EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN
GERENTE DE PROYECTO: J. ALVAREZ	FECHA: 08/04/16	
CLIENTE: AOM	FECHA: -	

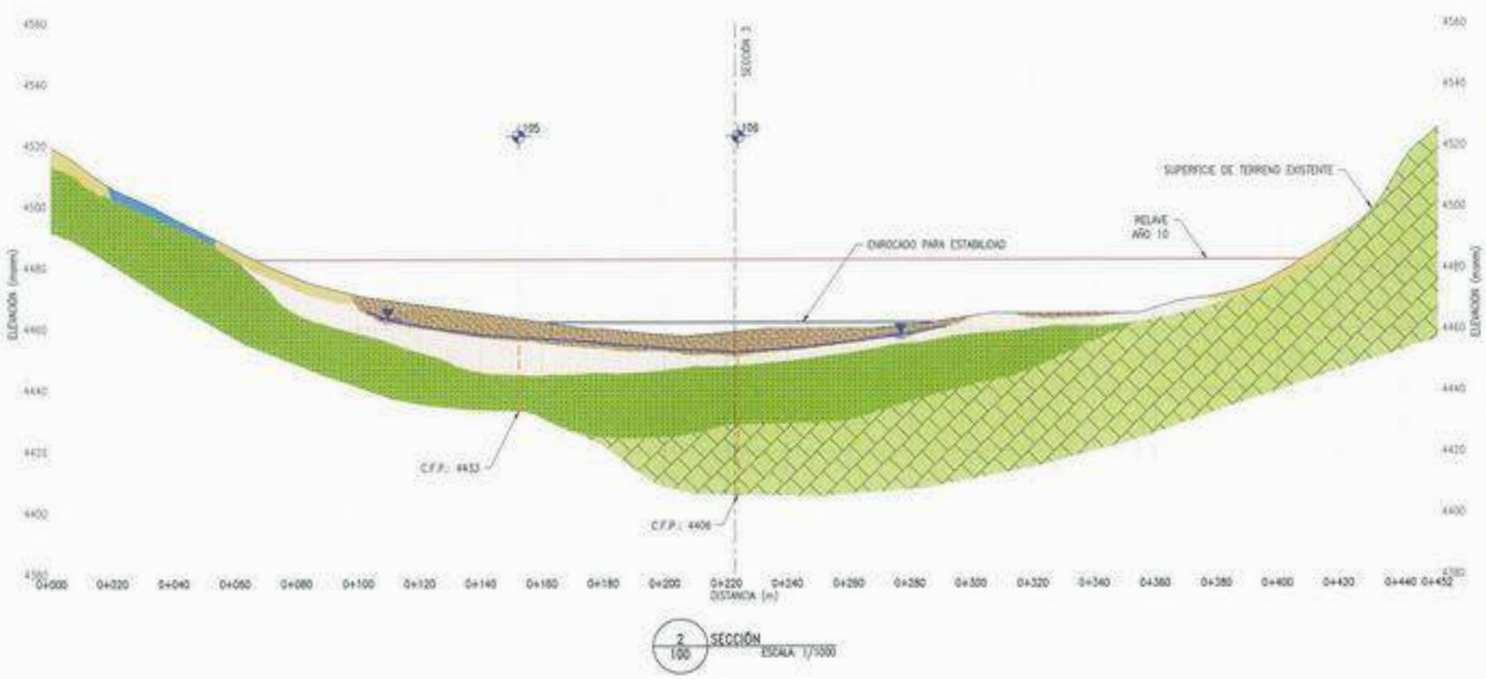
Anddes
www.anddes.com

NOMBRE DEL PROYECTO:
INGENIERÍA DE DETALLE DEL DEPÓSITO DE RELAVES
PLANOS GEOTÉCNICOS
MAPEO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO

NÚMERO DE PLANO: 1301.10.07-5-100-21-P-100 REV. 0



1 / 100 SECCIÓN
ESCALA: 1/1000



2 / 100 SECCIÓN
ESCALA: 1/1000

LEYENDA

- SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE
- LINEA DE DISEÑO
- RELAVE AÑO 10
- CONTACTO LITOLÓGICO
- LINEA DE PRESUNCIÓN
- LINEA SECCIÓN (CORTE)
- NIVEL DE AGUA
- C.F.P. — COTA DE FONDO DE PERFORACIÓN
- CA-AR14-01 — CALICATAS, CÓDIGO: CA-AR14-01 (ANDDES, MARZO 2014)
- PR-AR14-101 — PERFORACIONES, CÓDIGO: PR-AR14-101 (ANDDES, MARZO-MAYO 2014)
- DPL-AR14-101 — DPL, CÓDIGO: DPL-AR14-101 (ANDDES, MARZO 2014)
- AMP-11 — PERFORACIONES EXISTENTES (AMPHOS 21, MARZO 2014)
- RELLENO CONTROLADO
- FLUJO DE LODO
- CALICHE (CONCRECIONES)

UNIDADES GEOLÓGICAS – GEOTÉCNICAS

UNIDAD GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA I
(DEPÓSITO COLUVIAL)

SUELO CONFORMADO POR GRAVA BIEN GRADADA, DE PLASTICIDAD NULA, SUELTA A MUY SUELTA, LIGERAMENTE HÚMEDA, DE COLOR MARRÓN CLARO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA, GRAVAS SUBANGULOSAS, POTENCIA DE 2,0 A 5,0 m.

UNIDAD GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA II
(SUELO LACUSTRINO)

TERRAZA LACUSTRINA, MAYORMENTE CON PRESENCIA DE SUELOS FINOS (OL, ML, CL, CH), CON VALORES "N" DEL SPT VARIABLES DE 1 A 13 GOLPES.

(OL):

LIMO ORGÁNICO CON GRAVA Y ARENA, PLASTICIDAD MEDIA, FIRME, LIGERAMENTE HÚMEDO A HÚMEDO, COLOR PARDO CLARO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA.

(ML):

LIMO, PLASTICIDAD MEDIA A ALTA, FIRME, HÚMEDO, COLOR PARDO CLARO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA.

(CL):

ARCILLA CON GRAVA, PLASTICIDAD BAJA A MEDIA, BLANDA, SATURADA, COLOR GRIS CLARO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA, GRAVA ANGULOSA A SUBANGULOSA.

(CH)

ARCILLA, PLASTICIDAD ALTA, BLANDA, HÚMEDA, COLOR PARDO CLARO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA.

UNIDAD GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA III
(DEPÓSITO MORRÉNICO)

SUELO CONFORMADO POR GRAVA ARCILLOSA Y ARCILLA GRAVOSA, DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA, DENSA, LIGERAMENTE HÚMEDA A HÚMEDA, DE COLOR MARRÓN OSCURO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA, GRAVAS ANGULOSAS A SUBANGULOSAS, POTENCIA DE 10,0 A 15,0 m.

UNIDADES GEOLÓGICAS – GEOTÉCNICAS

UNIDAD GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA IV
(BASAMENTO ROCOSO)

(CALIZA):

SE ENCUENTRA COMPUESTA EN MAYOR PROPORCIÓN POR AFLORAMIENTOS DE CALIZAS MICRÍTICAS DE RESISTENCIA MEDIA A DURA (R3,0 A R4), LIGERAMENTE ALTERADA A MODERADAMENTE ALTERADA, MUY FRACTURADA A MODERADAMENTE FRACTURADA (RQD DE 20,0% A 87%), LIGERAMENTE HÚMEDA, JUNTAS RELLENAS CON ARCILLA Y VENILLAS DE CALCITA, CON CALIDAD GEOMECÁNICA MALA A REGULAR SEGÚN EL CÁLCULO DEL INDICE DEL RMR (26 – 52) BÁSICO. PERTENECE A LA FORMACIÓN JUMASHA.

(MARGA):

SE ENCUENTRA COMPUESTA EN MAYOR PROPORCIÓN POR AFLORAMIENTOS DE MARGAS DE RESISTENCIA DÉBIL A MEDIA (R2,5), MODERADAMENTE ALTERADA A MUY ALTERADA, MUY FRACTURADA (RQD DE 10% A 21%), LIGERAMENTE HÚMEDA, JUNTAS RELLENAS CON ÓXIDOS Y ARCILLAS, CON CALIDAD GEOMECÁNICA MALA SEGÚN EL CÁLCULO DEL INDICE DEL RMR (27 – 39) BÁSICO. PERTENECE A LA FORMACIÓN CELENDÍN.

(LIMOLITA):

SE ENCUENTRA COMPUESTA EN MAYOR PROPORCIÓN POR AFLORAMIENTOS DETRÍTICOS, DE RESISTENCIA DÉBIL A MEDIA (R2,0 A R3,0), MODERADAMENTE ALTERADA A MUY ALTERADA, EXTREMADAMENTE FRACTURADA A TRITURADA (RQD 0%), LIGERAMENTE HÚMEDA, JUNTAS RELLENAS CON ARCILLA Y VENILLAS DE CUARZO, CON CALIDAD GEOMECÁNICA MALA SEGÚN EL CÁLCULO DEL INDICE DEL RMR (26 – 31) BÁSICO. PERTENECE A LA FORMACIÓN CAJAPALCA.

NOTAS:

1. LA BASE TOPOGRÁFICA FUE PROPORCIONADA POR AOM EN DICIEMBRE DE 2015.
2. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS PRESENTADAS EN EL INFORME 1301.10.02-3-100-ITE-001.
3. NOMENCLATURAS:
   RMR = *ROCK MASS RATING*
   RQD = *ROCK QUALITY DESIGNATION*
4. LAS ESCALAS SE MOSTRARÁN COMO REALES EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A1.

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ORIG.	REV.	NÚMERO DE PLANO	PLANO DE REFERENCIA
A	04/01/16	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	W.D.		1301.10.07-5-100-21-P-100	MAPEO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO
B	31/03/16	EMITIDO PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE	W.D.			
0	08/04/16	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	W.D.			
-	-	-				
-	-	-				
-	-	-				
-	-	-				

LAS ESCALAS GRÁFICAS APLICAN SÓLO PARA LOS PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A1.

ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

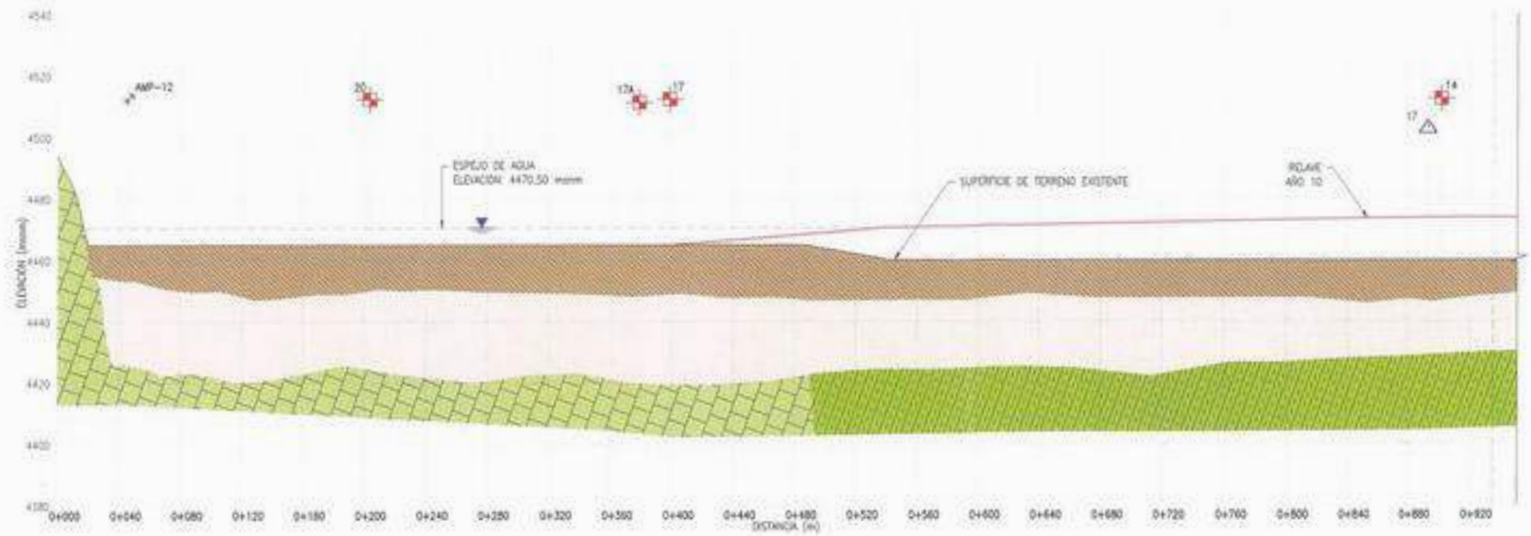
CONFIDENCIAL
ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DE ANDDES Y SE USO EXCLUSIVO DEL CLIENTE MENCIONADO EN EL MOMENTO. SU USO Y REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN PREVIA, ESTÁN PROHIBIDOS.

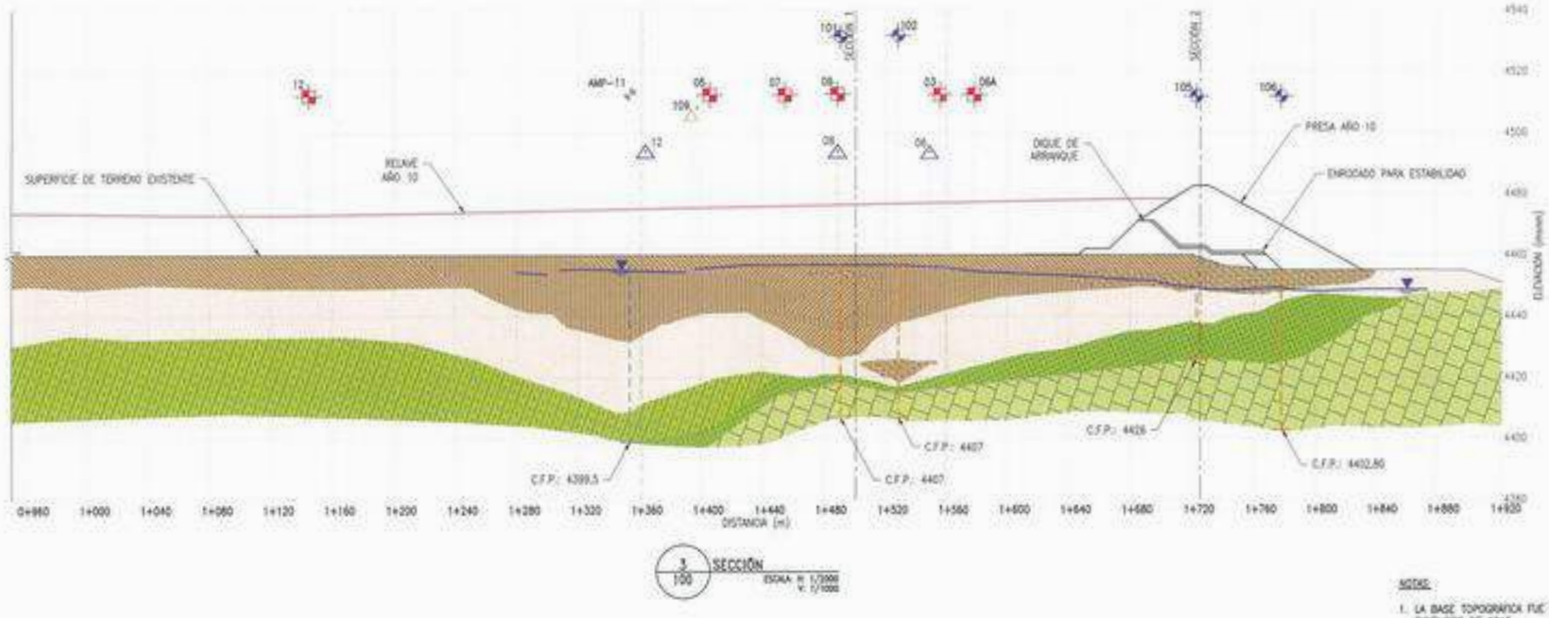
DISEÑADO POR: M. DAVILA	FECHA: 08/04/16	Nº PROYECTO: 1301.10.07
DIBUJADO POR: F. GAMO	FECHA: 08/04/16	DISCIPLINA: GEOTECNIA
REVISADO POR: M. DAVILA	FECHA: 08/04/16	ESCALA: INDICADA
APROBADO POR: L. SALAS	FECHA: 08/04/16	REVISIÓN: EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN
GERENTE DE PROYECTO: J. ALVAREZ	FECHA: 08/04/16	
CLIENTE: AOM	FECHA: -	

Anddes
www.anddes.com

NOMBRE DEL PROYECTO:
INGENIERÍA DE DETALLE DEL DEPÓSITO DE RELAVES
PLANOS GEOTECNICOS
SECCIONES GEOLÓGICAS – GEOTÉCNICAS – LÁMINA 1 DE 3

NÚMERO DE PLANO: 1301.10.07-5-100-21-P-110 REV. 0





3/100 SECCIÓN
ESCALA H: 1/2000
V: 1/1000

LEYENDA

- SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE
- LINEA DE DISEÑO
- RELAVE AÑO 10
- CONTACTO LITOLÓGICO
- LINEA DE PRESUNCIÓN
- LINEA SECCION (CORTE)
- NIVEL DE AGUA
- ESPEJO DE AGUA
- LÍNEA DE QUIEBRE
- C.F.P. — COTA DE FONDO DE PERFORACIÓN
- CA-AR14-01 — CALICATAS, CÓDIGO: CA-AR14-01 (ANDDES, MARZO 2014)
- PR-AR14-101 — PERFORACIONES, CÓDIGO: PR-AR14-101 (ANDDES, MARZO-MAYO 2014)
- DPL-AR14-101 — DPL, CÓDIGO: DPL-AR14-101 (ANDDES, MARZO 2014)
- MAM-AR16-109 — ENSAYO MAM, CÓDIGO: MAM-AR16-109 (ANDDES, MARZO 2016)
- AMP-11 — PERFORACIONES EXISTENTES (AMPHOS 21, MARZO 2014)

UNIDADES GEOLÓGICAS - GEOTÉCNICAS:

UNIDAD GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA II
(SUELO LACUSTRINO)

TERRAZA LACUSTRINA, MAYORMENTE CON PRESENCIA DE SUELOS FINOS (OL, ML, CL, CH), CON VALORES "N" DEL SPT VARIABLES DE 1 A 13 GOLPES.

(OL):
LIMO ORGÁNICO CON GRAVA Y ARENA, PLASTICIDAD MEDIA, FIRME, LIGERAMENTE HÚMEDO A HÚMEDO, COLOR PARDO CLARO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA.

(ML):
LIMO, PLASTICIDAD MEDIA A ALTA, FIRME, HÚMEDO, COLOR PARDO CLARO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA.

(GL):
ARCILLA CON GRAVA, PLASTICIDAD BAJA A MEDIA, BLANDA, SATURADA, COLOR GRIS CLARO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA, GRAVA ANGULOSA A SUBANGULOSA.

(CH)
ARCILLA, PLASTICIDAD ALTA, BLANDA, HÚMEDA, COLOR PARDO CLARO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA.

UNIDAD GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA III
(DEPÓSITO MORRÉNICO)

SUELO CONFORMADO POR GRAVA ARCILLOSA Y ARCILLA GRAVOSA, DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA, DENSA, LIGERAMENTE HÚMEDA A HÚMEDA, DE COLOR MARRÓN OSCURO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA, GRAVAS ANGULOSAS A SUBANGULOSAS. POTENCIA DE 10,0 A 15,0 m.

UNIDAD GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA IV
(BASAMENTO ROCOSO)

(CALIZA):
SE ENCUENTRA COMPUESTA EN MAYOR PROPORCIÓN POR AFLORAMIENTOS DE CALIZAS MICRÍTICAS DE RESISTENCIA MEDIA A DURA (R3,0 A R4), LIGERAMENTE ALTERADA A MODERADAMENTE ALTERADA, MUY FRACTURADA A MODERADAMENTE FRACTURADA (RQD DE 20,0% A 87%), LIGERAMENTE HÚMEDA, JUNTAS RELLENAS CON ARCILLA Y VENILLAS DE CALCITA, CON CALIDAD GEOMECÁNICA MALA A REGULAR SEGÚN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL RMR (26 – 52) BÁSICO. PERTENECE A LA FORMACIÓN JUMASHA.

(MARGA):
SE ENCUENTRA COMPUESTA EN MAYOR PROPORCIÓN POR AFLORAMIENTOS DE MARGAS DE RESISTENCIA DÉBIL A MEDIA (R2,5), MODERADAMENTE ALTERADA A MUY ALTERADA, MUY FRACTURADA (RQD DE 12% A 21%), LIGERAMENTE HÚMEDA, JUNTAS RELLENAS CON ÓXIDOS Y ARCILLAS, CON CALIDAD GEOMECÁNICA MALA SEGÚN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL RMR (27 – 39) BÁSICO. PERTENECE A LA FORMACIÓN CELENDÍN.

(LIMOLITA):
SE ENCUENTRA COMPUESTA EN MAYOR PROPORCIÓN POR AFLORAMIENTOS DETRÍTICOS, DE RESISTENCIA DÉBIL A MEDIA (R2,0 A R3,0), MODERADAMENTE ALTERADA A MUY ALTERADA, EXTREMADAMENTE FRACTURADA A TRITURADA (RQD 0%), LIGERAMENTE HÚMEDA, JUNTAS RELLENAS CON ARCILLA Y VENILLAS DE CUARZO, CON CALIDAD GEOMECÁNICA MALA SEGÚN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL RMR (26 – 31) BÁSICO. PERTENECE A LA FORMACIÓN CASAPALCA.

NOTAS:

1. LA BASE TOPOGRÁFICA FUE PROPORCIONADA POR AOM EN DICIEMBRE DE 2015.
2. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS PRESENTADAS EN EL INFORME 1301.10.02-5-100-01E-001.
3. NOMENCLATURAS:
   RMR = *ROCK MASS RATING*
   RQD = *ROCK QUALITY DESIGNATION*
3. LAS ESCALAS SE MOSTRARÁN COMO REALES EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A1.

LAS ESCALAS GRÁFICAS PODRÁN SER ALTERADAS EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A1.

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIS. REV.	NÚMERO DE PLANO	PLANO DE REFERENCIA
A	04/01/16	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	M.D.	1301.10.07-5-100-21-P-100	MAPEO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO
B	31/03/16	EMITIDO PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE	M.D.		
D	08/04/16	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	M.D.		
-	-	-			
-	-	-			
-	-	-			
-	-	-			

ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

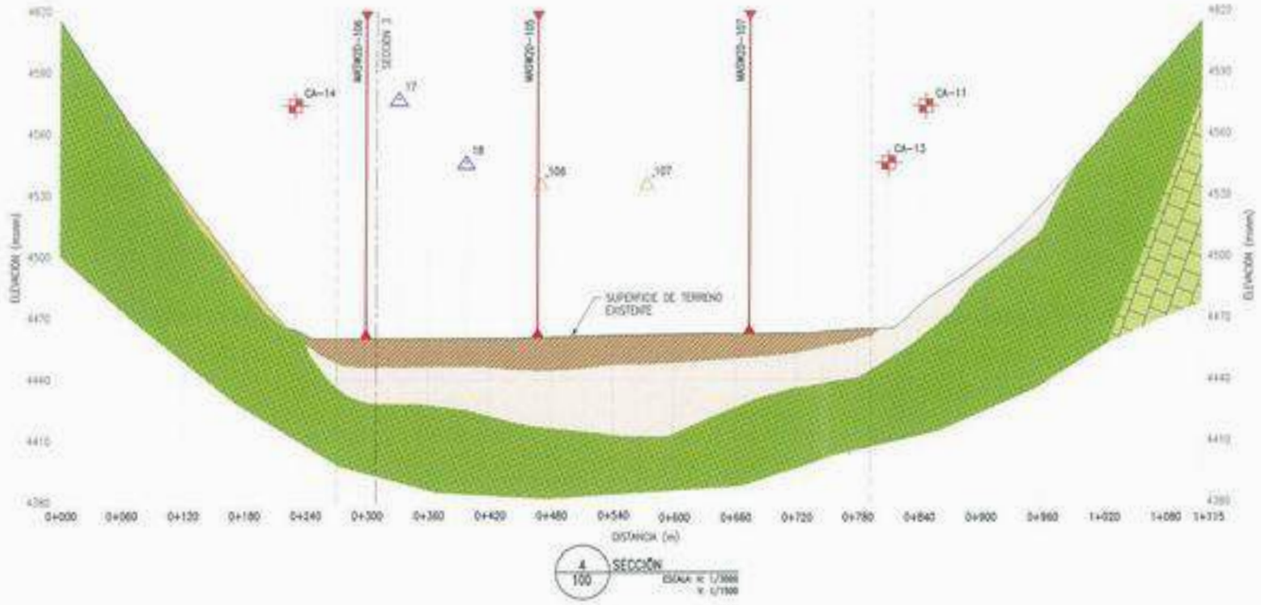
CONFIDENCIAL:
ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ÉL, SON PROPIEDAD DE ANDDES Y DE USO EXCLUSIVO DEL CLIENTE MENCIONADO EN EL MISMO(S). SU USO Y REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN PREVIA, ESTÁN PROHIBIDOS.

DISEÑADO POR: M. DÁVILA	FECHA: 08/04/16	N° PROYECTO: 1301.10.07	
DIBUJADO POR: F. GAMIO	FECHA: 08/04/16	DISCIPLINA: GEOTECNIA	
REVISADO POR: M. DÁVILA	FECHA: 08/04/16	ESCALA: INDICADA	
APROBADO POR: L. SALAS	FECHA: 08/04/16	REVISIÓN: EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	
GERENTE DE PROYECTO: J. ALVAREZ	FECHA: 08/04/16		
CLIENTE: AOM	FECHA: -		

Anddes
www.anddes.com

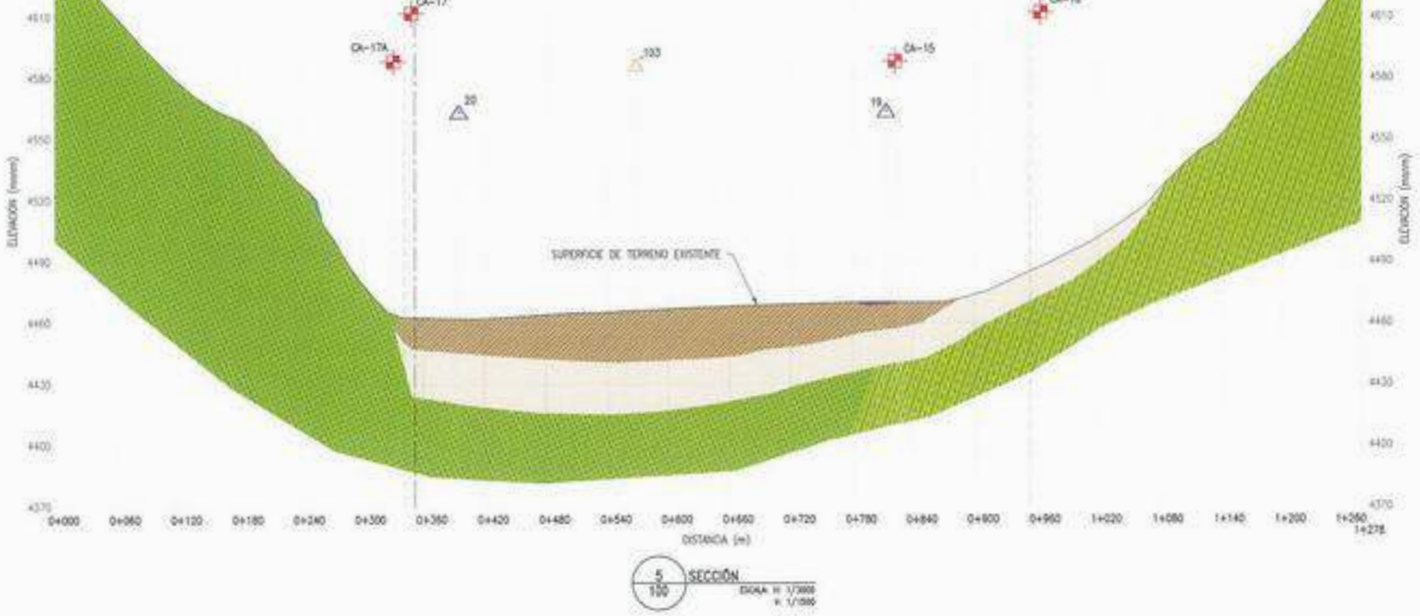
NOMBRE DEL PROYECTO:
INGENIERÍA DE DETALLE DEL DEPÓSITO DE RELAVES
PLANOS GEOTÉCNICOS
SECCIONES GEOLÓGICAS – GEOTÉCNICAS – LÁMINA 2 DE 3

NÚMERO DE PLANO: 1301.10.07-5-100-21-P-111 REV. 0



4 / 100 SECCIÓN

ESCALA: H: 1/2000 V: 1/1000



5 / 100 SECCIÓN

ESCALA: H: 1/2000 V: 1/1000

LEYENDA

- SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE
- CONTACTO LITOLÓGICO
- LÍNEA DE PROSUNCIÓN
- LÍNEA SECCIÓN (CORTE)
- LÍNEA DE QUIEBRE
- CA-AR14-01: CALICATAS, CÓDIGO: CA-AR14-01 (ANDDES, MARZO 2014)
- DPL-AR14-101: DPL, CÓDIGO: DPL-AR14-101 (ANDDES, MARZO 2014)
- MAM-AR16-101: ENSAYO MAM, CÓDIGO: MAM-AR16-101 (ANDDES, MARZO 2016)
- MASW2D-AR16-101: ENSAYO MASW2D, CÓDIGO: MASW2D-AR16-101 (ANDDES, 2016)
- FLUJO DE DETRITOS
- CALICHE (CONGREDIONES)

UNIDADES GEOLÓGICAS – GEOTÉCNICAS:

UNIDAD GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA II
(SUELO LACUSTRINO)

TERRAZA LACUSTRINA, MAYORMENTE CON PRESENCIA DE SUELOS FINOS (OL, ML, CL, CH), CON VALORES "N" DEL SPT VARIABLES DE 1 A 13 GOLPES.

(OL):

LIMO ORGÁNICO CON GRAVA Y ARENA, PLASTICIDAD MEDIA, FIRME, LIGERAMENTE HÚMEDO A HÚMEDO, COLOR PARDO CLARO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA.

UNIDAD GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA III
(DEPÓSITO MORRÉNICO)

SUELO CONFORMADO POR GRAVA ARCILLOSA Y ARCILLA GRAVOSA, DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA, DENSA, LIGERAMENTE HÚMEDA A HÚMEDA, DE COLOR MARRÓN OSCURO, ESTRUCTURA HOMOGÉNEA, GRAVAS ANGULOSAS A SUBANGULOSAS, POTENCIA DE 10,0 A 15,0 m.

UNIDAD GEOLÓGICA – GEOTÉCNICA IV
(BASAMENTO ROCOSO)

(CALIZA):

SE ENCUENTRA COMPUESTA EN MAYOR PROPORCIÓN POR AFLORAMIENTOS DE CALIZAS MICRÍTICAS DE RESISTENCIA MEDIA A DURA (R3,0 A R4), LIGERAMENTE ALTERADA A MODERADAMENTE ALTERADA, MUY FRACTURADA A MODERADAMENTE FRACTURADA (RQD DE 20,0% A 67%), LIGERAMENTE HÚMEDA, JUNTAS RELLENAS CON ARCILLA Y VENILLAS DE CALCITA, CON CALIDAD GEOMECÁNICA MALA A REGULAR SEGÚN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL RMR (26 – 32) BÁSICO. PERTENECE A LA FORMACIÓN JUMASHA.

(MARGA):

SE ENCUENTRA COMPUESTA EN MAYOR PROPORCIÓN POR AFLORAMIENTOS DE MARGAS DE RESISTENCIA DÉBIL A MEDIA (R2,5), MODERADAMENTE ALTERADA A MUY ALTERADA, MUY FRACTURADA (RQD DE 12% A 21%), LIGERAMENTE HÚMEDA, JUNTAS RELLENAS CON ÓXIDOS Y ARCILLAS, CON CALIDAD GEOMECÁNICA MALA SEGÚN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL RMR (27 – 39) BÁSICO. PERTENECE A LA FORMACIÓN CELENDÍN.

(LIMOLITA):

SE ENCUENTRA COMPUESTA EN MAYOR PROPORCIÓN POR AFLORAMIENTOS DETRÍTICOS, DE RESISTENCIA DÉBIL A MEDIA (R2,0 A R3,0), MODERADAMENTE ALTERADA A MUY ALTERADA, EXTREMADAMENTE FRACTURADA A TRITURADA (RQD 0%), LIGERAMENTE HÚMEDA, JUNTAS RELLENAS CON ARCILLA Y VENILLAS DE CUARZO, CON CALIDAD GEOMECÁNICA MALA SEGÚN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL RMR (26 – 31) BÁSICO. PERTENECE A LA FORMACIÓN CASAPALCA.

NOTAS:

1. LA BASE TOPOGRÁFICA FUE PROPORCIONADA POR AOM EN DICIEMBRE DE 2015.
2. INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS PRESENTADAS EN EL INFORME 1301.10.02-3-100-IIE-001.
3. NOMENCLATURAS:
   RMR = *ROCK MASS RATING*
   RQD = *ROCK QUALITY DESIGNATION*
4. LAS ESCALAS SE MOSTRARÁN COMO REALES EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A1.

LAS ESCALAS GRÁFICAS PODRÁN SER USADAS EN PLANOS IMPRESOS EN FORMATO A1.

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIS. REV.	NÚMERO DE PLANO	PLANO DE REFERENCIA
A	04/01/16	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA	M.A.	1301.10.07-5-100-21-P-100	MAPEO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO
B	31/03/16	EMITIDO PARA APROBACIÓN DEL CLIENTE	M.A.		
0	08/04/16	EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	M.A.		
-	-	-	-		
-	-	-	-		
-	-	-	-		
-	-	-	-		

ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

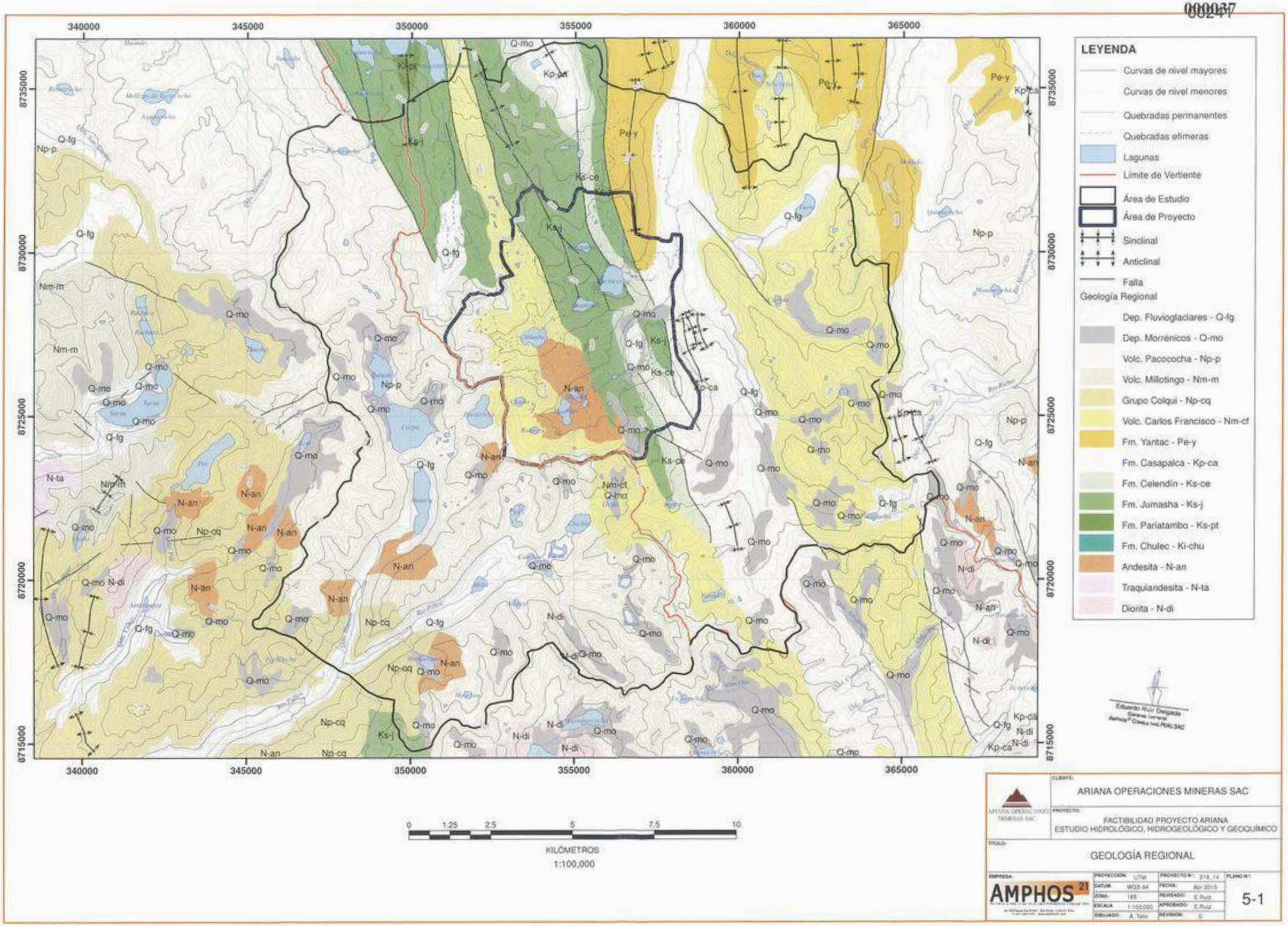
CONFIDENCIAL
ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DE ANDDES Y DE USO EXCLUSIVO DEL CLIENTE MENCIONADO EN EL MEMBRETE. SU USO Y REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN PREVIA, ESTÁN PROHIBIDOS

DISEÑADO POR: M. DAVILA	FECHA: 08/04/16	Nº PROYECTO: 1301.10.07	
DIBUJADO POR: F. GAMBO	FECHA: 08/04/16	DISCIPLINA: GEOTECNIA	
REVISADO POR: M. DAVILA	FECHA: 08/04/16	ESCALA: INDICADA	
APROBADO POR: L. SALAS	FECHA: 08/04/16	REVISIÓN: EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	
GERENTE DE PROYECTO: J. ALVAREZ	FECHA: 08/04/16		
CLIENTE: AOM	FECHA: -		

Anddes
www.anddes.com

NOMBRE DEL PROYECTO:
INGENIERÍA DE DETALLE DEL DEPÓSITO DE RELAVES
PLANOS GEOTÉCNICOS
SECCIONES GEOLÓGICAS – GEOTÉCNICAS – LÁMINA 3 DE 3

NÚMERO DE PLANO: 1301.10.07-5-100-21-P-112 REV. 0


LEYENDA
Curvas de nivel mayores
Curvas de nivel menores
Quebradas permanentes
Quebradas efímeras
Lagunas
Límite de Vertiente
Área de Estudio
Área de Proyecto
Sinclinal
Anticlinal
Falla
Geología Regional
Dep. Fluvioglaciares - Q-fg
Dep. Morrénicos - Q-mo
Volc. Pacococha - Np-p
Volc. Millotingo - Nm-m
Grupo Colqui - Np-cq
Volc. Carlos Francisco - Nm-cf
Fm. Yantac - Pe-y
Fm. Casapalca - Kp-ca
Fm. Celendín - Ks-ce
Fm. Jumasha - Ks-j
Fm. Pariatambo - Ks-pt
Fm. Chulec - Ki-chu
Andesita - N-an
Traquiandesita - N-ta
Diorita - N-di
340000
345000
350000
355000
360000
365000
8735000
8730000
8725000
8720000
8715000
0
1.25
2.5
5
7.5
10
KILÓMETROS
1:100,000
Eduardo Ruiz Delgado
Gerente General
Amphos 21 Consulting Peru SAC
CLIENTE:
ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC
PROYECTO:
FACTIBILIDAD PROYECTO ARIANA
ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUÍMICO
TÍTULO:
GEOLOGÍA REGIONAL
EMPRESA:
AMPHOS 21
PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS 84
ZONA: 18S
ESCALA: 1:100,000
DIBUJADO: A. Tello
PROYECTO N°: 219_14
FECHA: Abr 2015
REVISADO: E.Ruiz
APROBADO: E.Ruiz
REVISIÓN: 0
PLANO N°:
5-1

348000 350000 352000 354000 356000 358000 360000 362000

8734000 8732000 8730000 8728000 8726000 8724000

C° Shallapuiro
C° Rachagogo
C° Leulasha
C° Copasite
Pampa Leulasha
C° Chugo
C° Cuchuay
C° Lucpuchigo
C° Escapirate
C° Cancahuyo
Loma Pastorcheay
Pampa Pulaca
C° Ventanilla
C° Fierro Cruz
Pampa Cuncash
C° Cuncash
Pampa Cashapampa
C° Condorpuñuna
Pampa Acuchjo
Pampa Uco
Cerro Vizcas
Cerro Jurapata
Cerro Atal
Navado La Chanka

Ks-j
Q-g
Q-co
KsPg-c
Pgl-y
Pgs-cf
T-a
Ks-ce

1 1' 2 2' 3 3'

0 0.5 1 2 3 4
KILÓMETROS
1:50,000

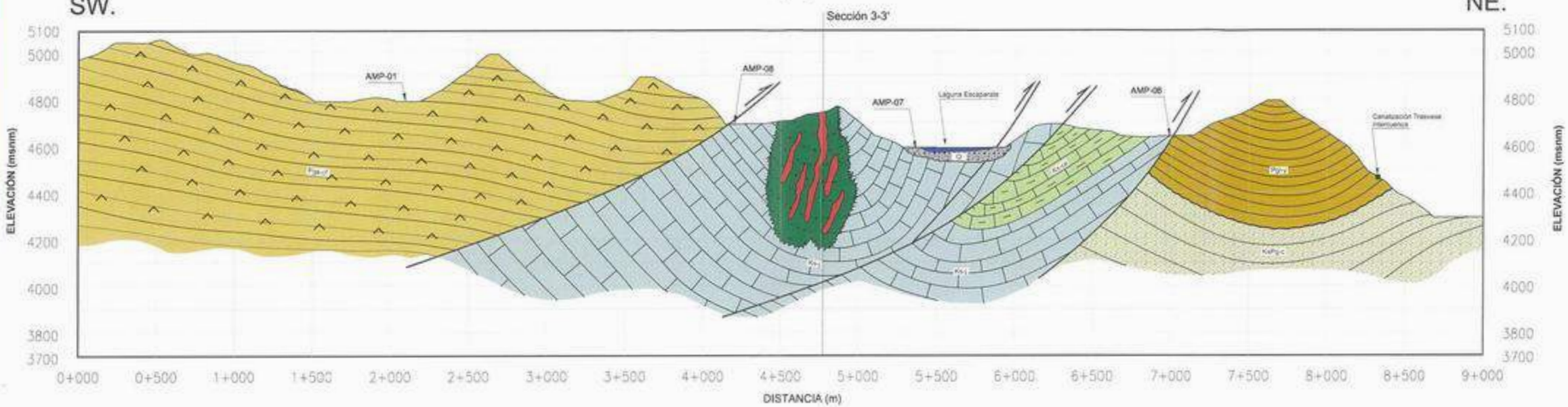
Eduardo Ruiz Delgado
Gerente General
AMPHOS 21 CONSULTING PERÚ SAC

CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC
PROYECTO: FACTIBILIDAD PROYECTO ARIANA
ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUÍMICO
TÍTULO: GEOLOGÍA LOCAL
EMPRESA: AMPHOS 21
PROYECCIÓN: UTM | PROYECTO N°: 218_14 | PLANO N°: 5-2
DATUM: WGS 84 | FECHA: Abr 2015
ZONA: 18S | REVISADO: E.Ruiz
ESCALA: 1:50,000 | APROBADO: E.Ruiz
DIBUJADO: A. Tello | REVISIÓN: 0

00243

1-1'

SW. NE.



LEYENDA:

- DEPÓSITO CUATERNARIO
- SKARN
- INTRUSIVO
- VOLCÁNICO CARLOS FRANCISCO + VOLCÁNICO PACOCOCHA
- FORMACIÓN YANTAC - VOLCÁNICO SEDIMENTARIO
- FORMACIÓN CASAPALCA - ARENISCAS, LUTITAS, LIMOLITAS Y CONGLOMERADOS
- FORMACIÓN CELENDÍN - MARGAS GRISES A PARDO AMARILLENTAS
- FORMACIÓN JUMASHA - CALIZA KARSTIFICADA
- FALLA GEOLÓGICA

Eduardo Ruiz Delgado
Gerente General
AMPHOS 21 CONSULTING PERÚ SAC

ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

PROYECTO: FACTIBILIDAD PROYECTO ARIANA
HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUÍMICO

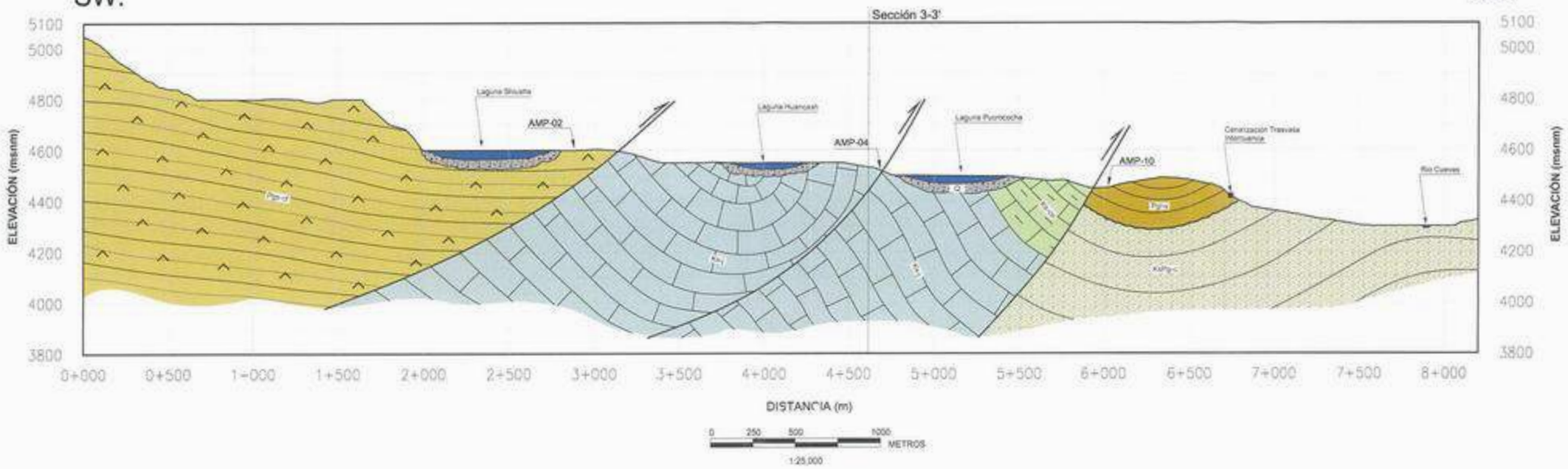
TÍTULO: SECCIÓN GEOLÓGICA 1-1'

EMPRESA: AMPHOS 21

PROYECCIÓN: —	PROYECTO Nº: 219_14	PLANO Nº: 5-3
DATUM: —	FECHA: Abr 2015	
ZONA: —	REVISADO: M. Mendoza	
ESCALA: —	APROBADO: E. Ruiz	
DIBUJADO: A. Tello	REVISIÓN: 0	

00244

SW. 2-2' NE.



LEYENDA:

- DEPÓSITO CUATERNARIO
- SKARN
- INTRUSIVO
- VOLCÁNICO CARLOS FRANCISCO + VOLCÁNICO PACOCOCHA
- FORMACIÓN YANTAC - VOLCÁNICO SEDIMENTARIO
- FORMACIÓN CASAPALCA - ARENISCAS, LUTITAS, LIMOLITAS Y CONGLOMERADOS
- FORMACIÓN CELENDÍN - MARGAS GRISES A PARDO AMARILLENTAS
- FORMACIÓN JUMASHA - CALIZA KARSTIFICADA
- FALLA GEOLÓGICA

Eduardo Ruiz Delgado
Gerente General
AMPHOS 21 Consulting Perú SAC

ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

PROYECTO: FACTIBILIDAD PROYECTO ARIANA
HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUÍMICO

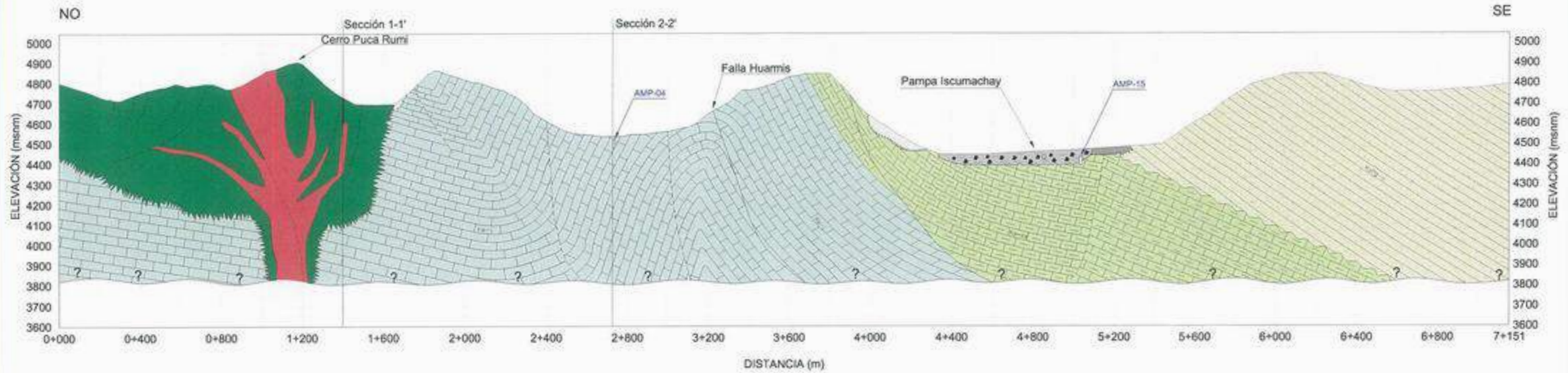
TÍTULO: SECCIÓN GEOLÓGICA 2-2'

EMPRESA: AMPHOS 21

PROYECCIÓN: ---	PROYECTO Nº: 219_14	PLANO Nº: 5-4
DATUM: ---	FECHA: Abr 2015	
ZONA: ---	REVISADO: M. Mendoza	
ESCALA: ---	APROBADO: E. Ruiz	
DIBUJADO: A. Tello	REVISIÓN: 0	

00245

SECCIÓN GEOLÓGICA 3-3'
NOROESTE A SURESTE



LEYENDA

- Cuaternario Coluvial (Q-co)
- Cuaternario Glaciar (Q-g)
- Cuaternario Fluvioglaciar (Q-fg)
- Skarn
- Intrusivo
- Formación Casapalca (KsPg-c)
- Formación Celendín (Ks-ce)
- Formación Jumasha (Ks-j)
- Falla inferida
- Falla
- AMP-04
- Sondaje

EV: 1/20000

EH: 1/20000

Eduardo Ruiz Delgado
Gerente General
AMPHOS 21 CONSULTING PERÚ SAC

ARIANA OPERACIONES MINERAS S.A.C

CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS S.A.C

PROYECTO: FACTIBILIDAD PROYECTO ARIANA
HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUÍMICO

TÍTULO: SECCIÓN GEOLÓGICA 3-3'

EMPRESA: AMPHOS 21

PROYECCIÓN	—	PROYECTO Nº	219_14
DATUM	—	FECHA	Abr 2015
ZONA	—	REVISADO	A. Tello
ESCALA	—	APROBADO	E. Ruiz
DIBUJADO	S. Loayza	REVISIÓN	0

PLANO Nº: 5-5

352000 354000 356000 358000 360000

8732000 8730000 8728000 8726000

EGM-07 EGM-08 EGM-05 EGM-06 EGM-09 EGM-10 EGM-01 EGM-02 EGM-11 EGM-04 EGM-03

Falla Talina Falla Cura Falla Transformante Sangal Falla Transformante Huamanzu

Escapirate Pumacocha Huancuyo Silvacocha Pucacocha

LEYENDA

- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Quebradas permanentes
- Quebradas efimeras
- Lagunas
- Tunel Transandino
- Canales de derivacion subterránea
- Canales de derivacion superficial
- Estaciones geomecánicas
- Fallas
- Cabalgamientos
- Eje de anticlinal
- Eje de sinclinal

0 0.275 0.55 1.1 1.65 2.2

KILÓMETROS
1:30,000

Eduardo Ruiz Delgado
Gerente General
AMPHOS 21 CONSULTING PERÚ SAC

CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

PROYECTO: FACTIBILIDAD PROYECTO ARIANA
ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUIMICO

TÍTULO: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL
Y ESTACIONES GEOMECÁNICAS

EMPRESA: AMPHOS 21

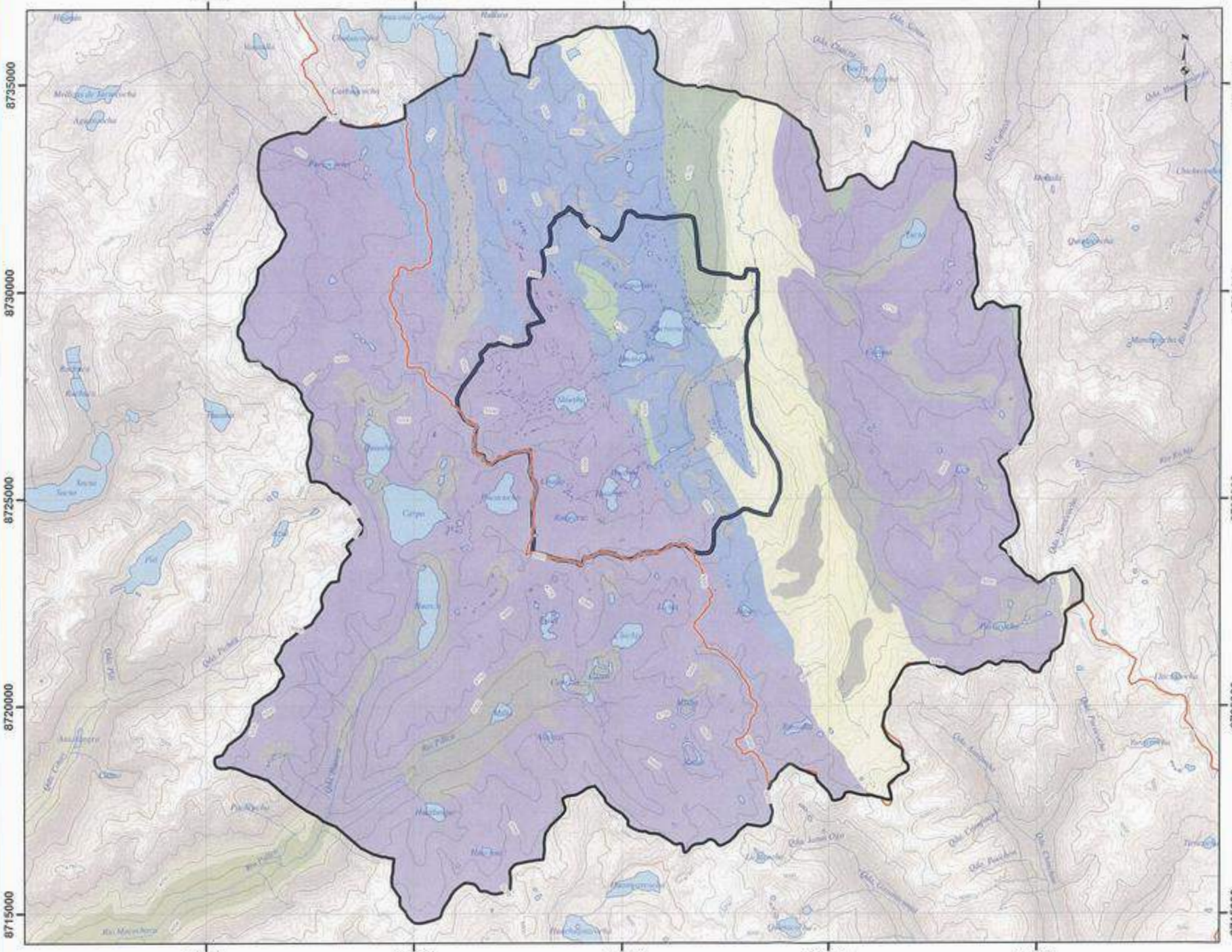
PROYECCIÓN	UTM	PROYECTO Nº	219_14
DATUM	WGS 84	FECHA	Abr 2015
ZONA	18S	REVISADO	E.Ruiz
ESCALA	1:30,000	APROBADO	E.Ruiz
DIBUJADO	A. Tello	VERSIÓN	0

PLANO Nº: 5-6

000043
00247

345000 350000 355000 360000 365000

8735000 8730000 8725000 8720000 8715000



LEYENDA

- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Quebradas permanentes
- Quebradas efímeras
- Límite de Vertiente
- Lagunas
- Área de Estudio
- Área de Proyecto

Unidades Hidrogeológicas

- UH Sedimentaria de Permeabilidad media-baja
- UH Sedimentaria de Permeabilidad baja
- UH Volcánica clástica-Piroclástica
- UH Volcánica-Lávica
- UH Cuaternaria
- UH Skarn

0 1 2 4 6 8

KILÓMETROS

1:100,000

Eduardo Ruiz Delgado
Gerente General
AMPHOS 21 Consulting Perú SAC

CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

PROYECTO: FACTIBILIDAD PROYECTO ARIANA
ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUÍMICO

TÍTULO: UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

EMPRESA: AMPHOS 21	PROYECCIÓN: UTM	PROYECTO N°: 219_14	PLANO N°: 6-1
	DATUM: WGS 84	FECHA: Abr 2015	
	ZONA: 18S	REVISADO: E.Ruiz	
	ESCALA: 1:100,000	APROBADO: E.Ruiz	
	DIBUJADO: A. Tello	REVISIÓN: 0	

LEYENDA

Rasgos kársticos

Tipo

- Dolina
- Kluftkarren
- Manantial kárstico
- Meanderkarren
- Ponor
- Rillenkarren
- Rinnenkarren
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Quebradas permanentes
- Quebradas efímeras
- Lagunas
- Túnel Transandino
- Derivación Superficial
- Derivación Subterránea
- Vías de Acceso
- Fallas
- Eje de anticlinal
- Eje de sinclinal
- Cabalgamiento

0 0.225 0.45 0.9 1.35 1.8

KILOMETROS

1:25,000

Eduardo Ruiz Delgado
Gerente General
AMPHOS 21 CONSULTING PERÚ SAC

CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

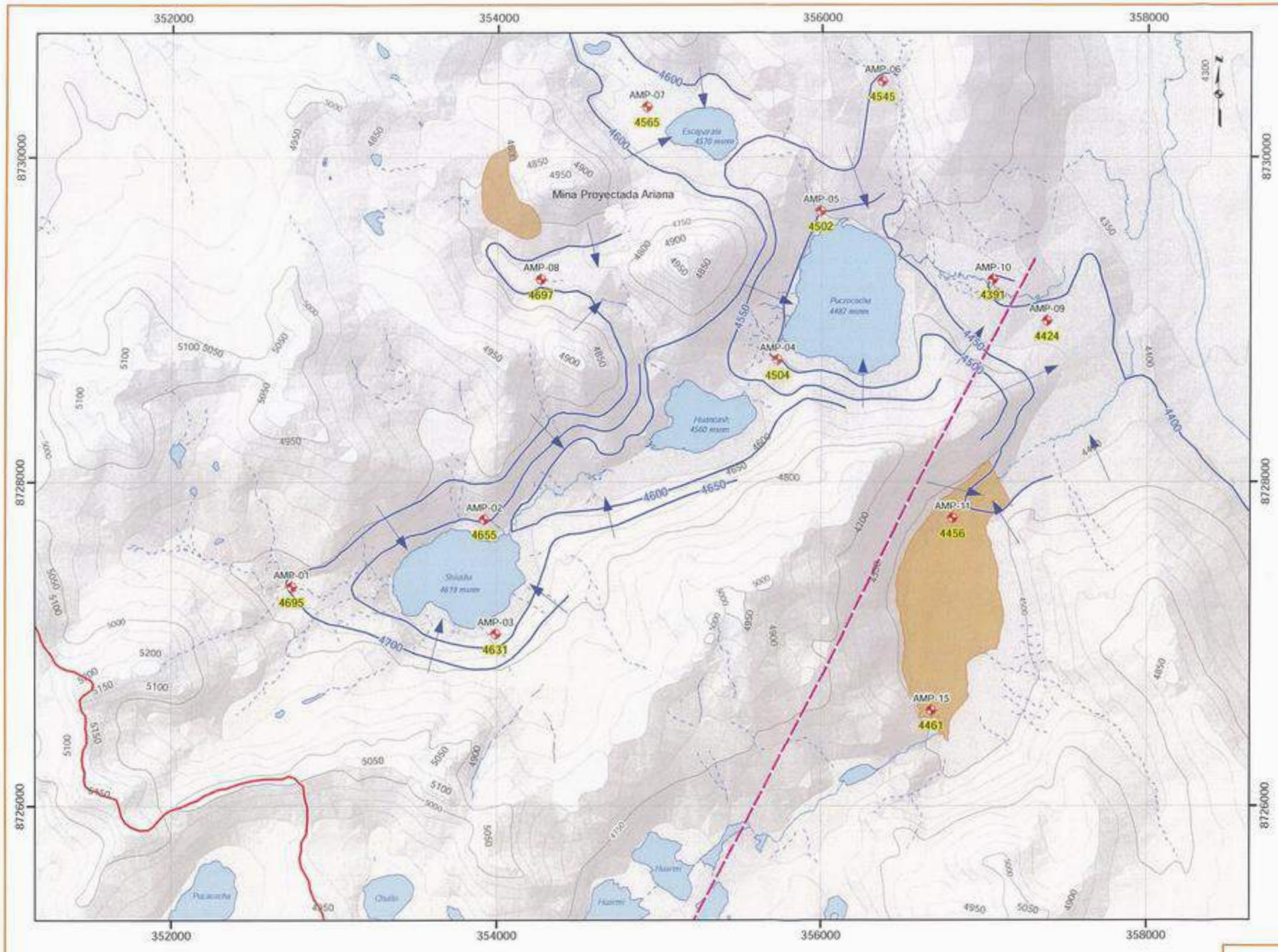
PROYECTO: FACTIBILIDAD PROYECTO ARIANA
ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUÍMICO

ESTUDIO: MAPA DE RASGOS KÁRSTICOS

EMPRESA: AMPHOS 21

PROYECCIÓN	UTM	PROYECTO Nº	219_14
DATUM	WGS 84	FECHA	Abr 2015
ZONA	18S	REVISADO	E.Ruiz
ESCALA	1:25,000	APROBADO	E.Ruiz
DIBUJADO	A. Tello	REVISIÓN	0

PLANO Nº: 6-2



Eduardo Ruiz Delgado
Gerente General
AMPHOS 21 CONSULTING PERÚ SAC

CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

PROYECTO: FACTIBILIDAD PROYECTO ARIANA
ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUÍMICO

TÍTULO: MAPA PIEZOMÉTRICO CONCEPTUAL
(MAYO 2014)

EMPRESA: AMPHOS 21

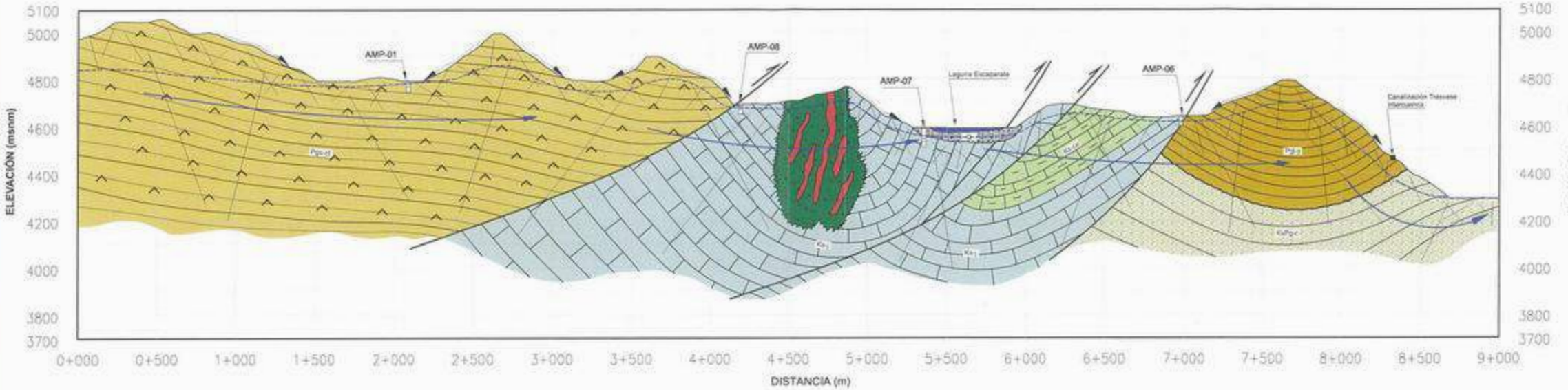
PROYECCIÓN:	UTM	PROYECTO N°:	218_14
DATUM:	WGS 84	FECHA:	Abr 2015
ZONA:	18S	REVISADO:	E.Ruiz
ESCALA:	1:25,000	APROBADO:	E.Ruiz
DIBUJADO:	A. Tello	REVISIÓN:	0

PLANO N°: 6-3

00250

1-1'

SW. NE.



LEYENDA:

- DEPÓSITO CUATERNARIO
- SKARN
- INTRUSIVO
- VOLCÁNICO CARLOS FRANCISCO + VOLCÁNICO PACOCOCHA
- FORMACIÓN YANTAC - VOLCÁNICO SEDIMENTARIO
- FORMACIÓN CASAPALCA - ARENISCAS, LUTITAS, LIMOLITAS Y CONGLOMERADOS
- FORMACIÓN CELENDÍN - MARGAS GRISES A PARDO AMARILLENTAS
- FORMACIÓN JUMASHA - CALIZA KARSTIFICADA
- FALLA GEOLÓGICA
- Escorrentía
- Nivel Freático (Mayo 2014)
- Líneas de Flujo
- AMP-01 Piezómetro
- Tramo de Filtro

Eduardo Ruiz Delgado
Gerente General
AMPHOS 21 CONSULTING PERÚ SAC

ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

PROYECTO: FACTIBILIDAD PROYECTO ARIANA
HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUÍMICO

TÍTULO: SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA 1-1'

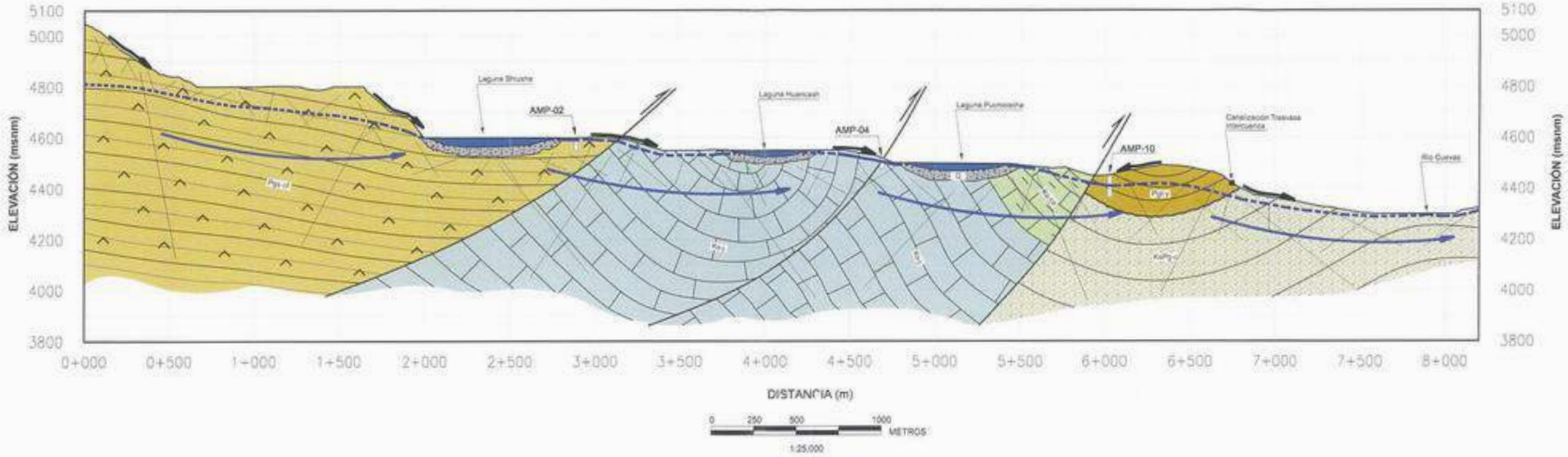
EMPRESA: AMPHOS 21

PROYECCIÓN: —	PROYECTO Nº: 219_14	PLANO Nº: 6-4
DATUM: —	FECHA: Abr 2015	
ZONA: —	REVISADO: M. Mendoza	
ESCALA: —	APROBADO: E. Ruiz	
DIBUJADO: A. Tello	REVISIÓN: 0	

00251

2-2'

SW. NE.



LEYENDA:

- DEPÓSITO CUATERNARIO
- SKARN
- INTRUSIVO
- VOLCÁNICO CARLOS FRANCISCO + VOLCÁNICO PACOCOCHA
- FORMACIÓN YANTAC - VOLCÁNICO SEDIMENTARIO
- FORMACIÓN CASAPALCA - ARENISCAS, LUTITAS, LIMOLITAS Y CONGLOMERADOS
- FORMACIÓN CELENDÍN - MARGAS GRISES A PARDO AMARILLENTAS
- FORMACIÓN JUMASHA - CALIZA KARSTIFICADA
- FALLA GEOLÓGICA
- Escorrentía
- Nivel Freático (Mayo 2014)
- Líneas de Flujo
- AMP-01
- Tramo de Filtro
- Piezómetro

Eduardo Ruiz Delgado
Gerente General
AMPHOS 21 Consulting Perú SAC

ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

PROYECTO: FACTIBILIDAD PROYECTO ARIANA
HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUÍMICO

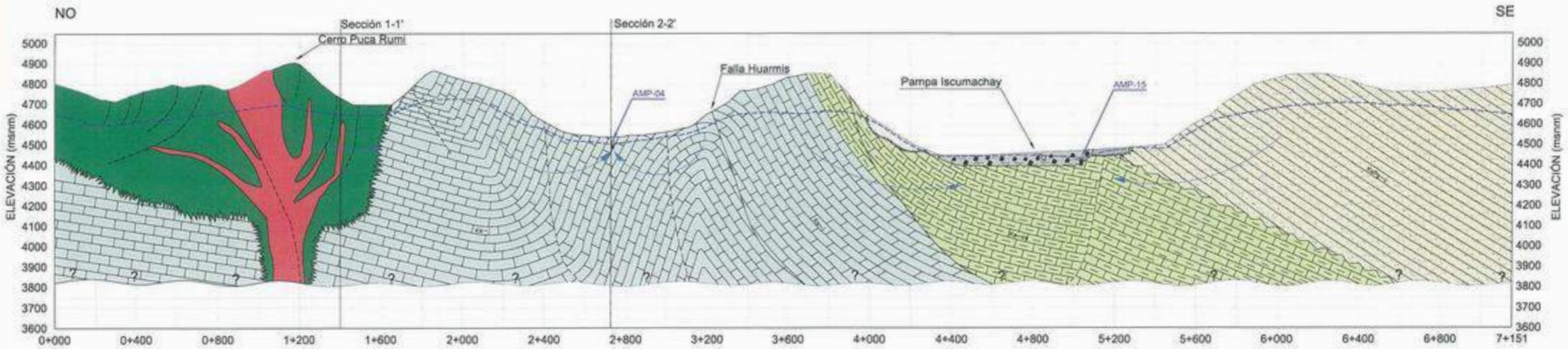
TÍTULO: SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA 2-2'

EMPRESA: AMPHOS 21

PROYECCIÓN: —		PROYECTO Nº: 219_14	PLANO Nº: 6-5
DATUM: —		FECHA: Abr 2015	
ZONA: —		REVISADO: M. Mendoza	
ESCALA: —		APROBADO: E. Ruiz	
DIBUJADO: A. Tello		REVISIÓN: 0	

00252

SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA 3-3'
NOROESTE A SURESTE



LEYENDA

- Cuaternario Coluvial (Q-co)
- Cuaternario Glaciar (Q-g)
- Cuaternario Fluvioglaciar (Q-fg)
- Skarn
- Intrusivo
- Formación Casapalca (KsPg-c)
- Formación Celendín (Ks-ce)
- Formación Jumasha (Ks-j)
- Falla inferida
- Falla
- Línea de Flujo
- Nivel de agua
- Discordancia
- AMP-04
- Tramo de Filtro
- Piezómetro

EV: 1/20000

EH: 1/20000

Eduardo Ruiz Delgado
Gerente General
AMPHOS 21 CONSULTING PERÚ SAC

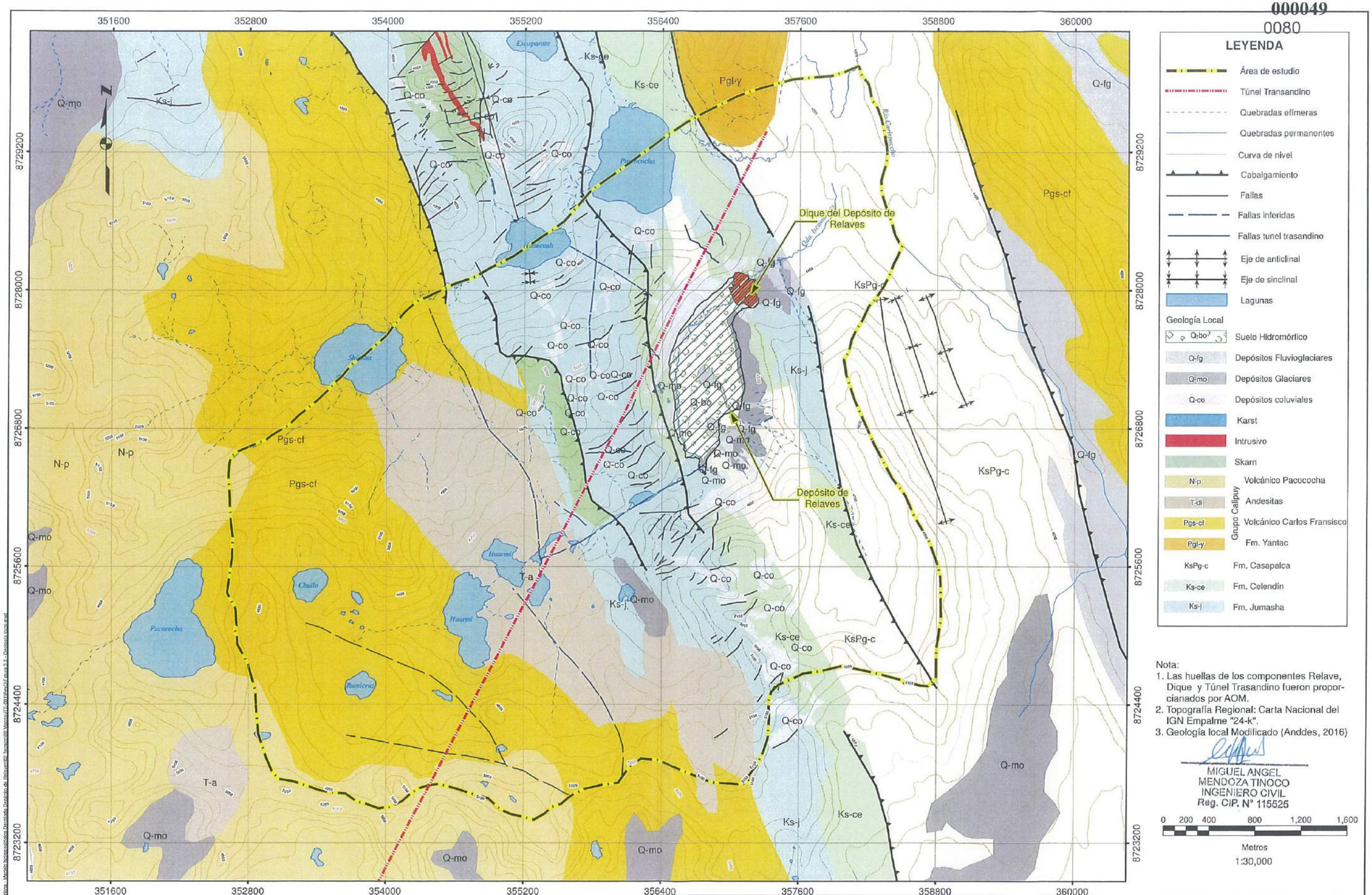
CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS S.A.C

PROYECTO: FACTIBILIDAD PROYECTO ARIANA HIDROLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOQUÍMICO

TÍTULO: SECCIÓN HIDROGEOLÓGICA 3-3'

EMPRESA: AMPHOS 21

PROYECCIÓN: —	PROYECTO N°: 219_14	PLANO N°: 6-6
DATUM: —	FECHA: Jun 2014	
ZONA: —	REVISADO: A. Tello	
ESCALA: —	APROBADO: E. Ruiz	
DIBUJADO: S. Loayza	REVISIÓN: B	



Nota:
1. Las huellas de los componentes Relave, Dique y Túnel Trasandino fueron proporcianados por AOM.
2. Topografía Regional: Carta Nacional del IGN Empalme "24-k".
3. Geología local Modificado (Anddes, 2016)

MIGUEL ANGEL MENDOZA TINOCO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 115525

AMPHOS 21
SCIENTIFIC AND STRATEGIC ENVIRONMENTAL CONSULTING
Jr. Pietro Torrigiano 396, San Borja, Lima 41 - Perú · T: +51 1 592 1275 · www.amphos21.com

CONFIDENCIAL:
ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ÉL SON PROPIEDAD DE AMPHOS21 Y DE USO EXCLUSIVO DEL CLIENTE MENCIONADO EN EL MEMBRETE, SU USO Y REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN PREVIA ESTÁN PROHIBIDOS.

REVISADO:	A.Yancapallo
APROBADO:	M. Mendoza
DIBUJADO:	Amphos 21
FECHA:	Marzo 2018
ESCALA:	Indicada
PROYECCIÓN:	UTM
DATUM:	WGS 84
ZONA:	18S

CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

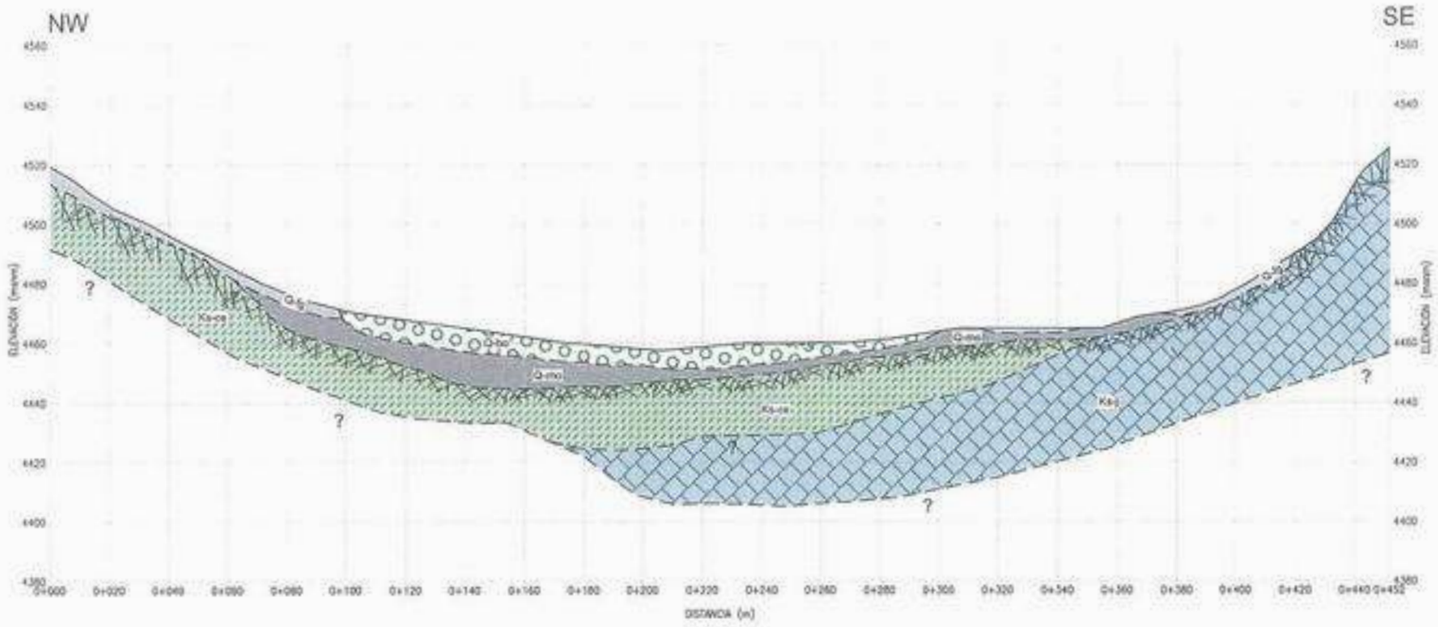
PROYECTO: ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA EL DEPÓSITO DE RELAVES ARIANA

TÍTULO: GEOLOGÍA LOCAL

FIGURA N°: 3.2

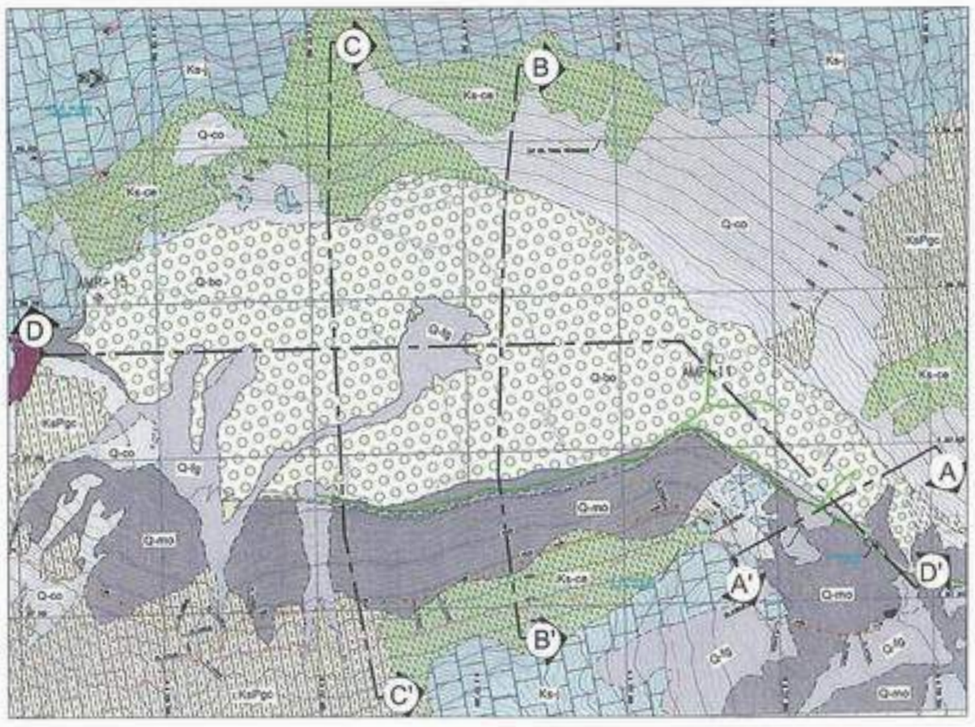
PROYECTO N°: 430_18

REVISIÓN: D



SECCIÓN GEOLÓGICA A-A'

ESCALA: V: 1/1,000
H: 1/2,000



PLANTA

ESCALA: S/E

LEYENDA

- CONTACTO DE UNIDADES GEOLÓGICAS
- TOPOGRAFÍA

GEOLOGÍA

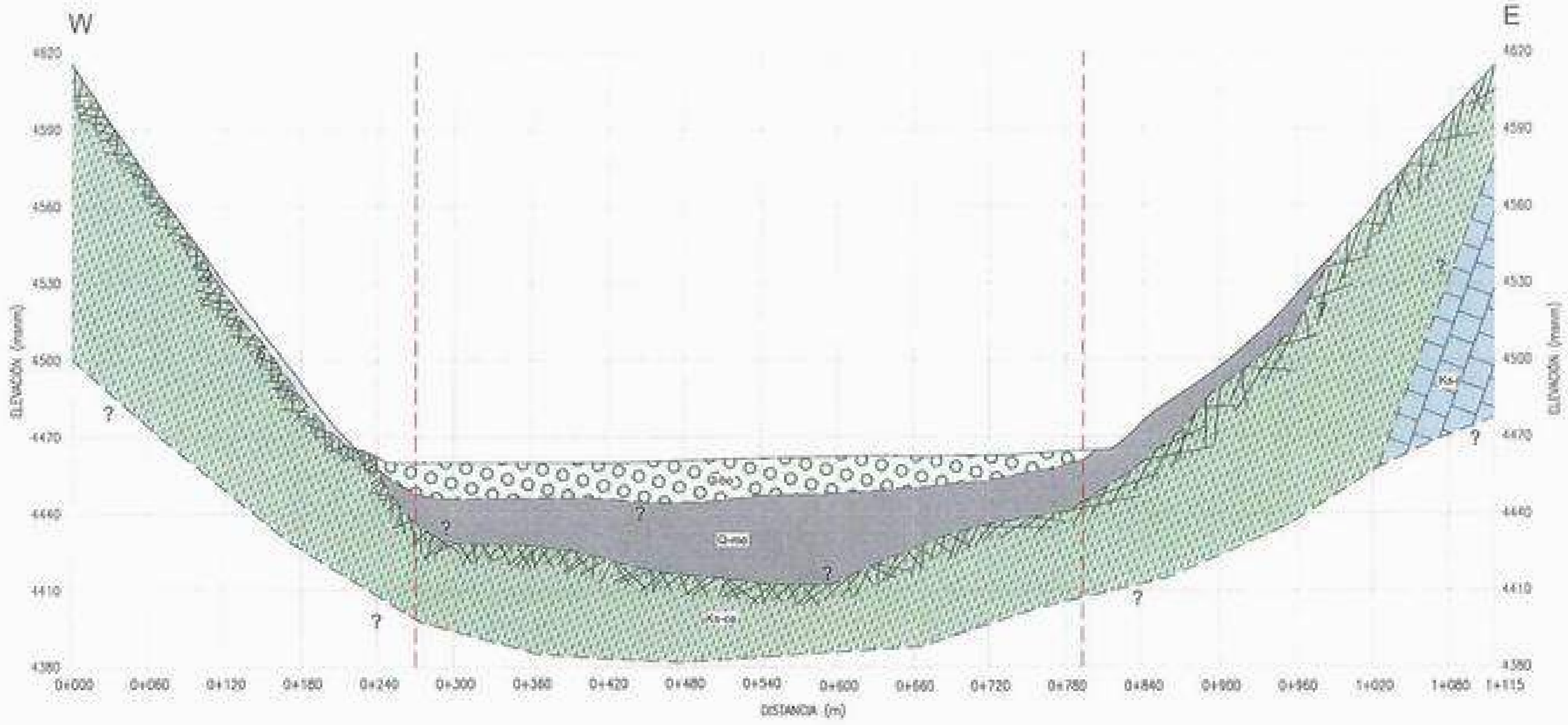
- Q-bo — SUELO HIDROMÓRFICO
- Q-fg — DEPÓSITOS FLUVIOGLACIARES
- Q-mo — DEPÓSITOS GLACIARES
- Ks-ce — FORMACIÓN CELENDÍN (Ks-Ce): CON DELGADAS CAPAS DE CALIZA GRIS INTERCALADAS. CONSISTE EN MARCAS GRISES A PARDO ANAVELLENTAS
- Ks-j — FORMACIÓN JUMASHA (Ks-J): CONSISTE EN CALIZAS MASIVAS DE COLOR GRIS A GRIS PARDUSCO (CALIZA BITUMINOSA)

Fuente: Ingeniería de detalle del depósito de Relaves Ariana, Anddes (enero 2018)

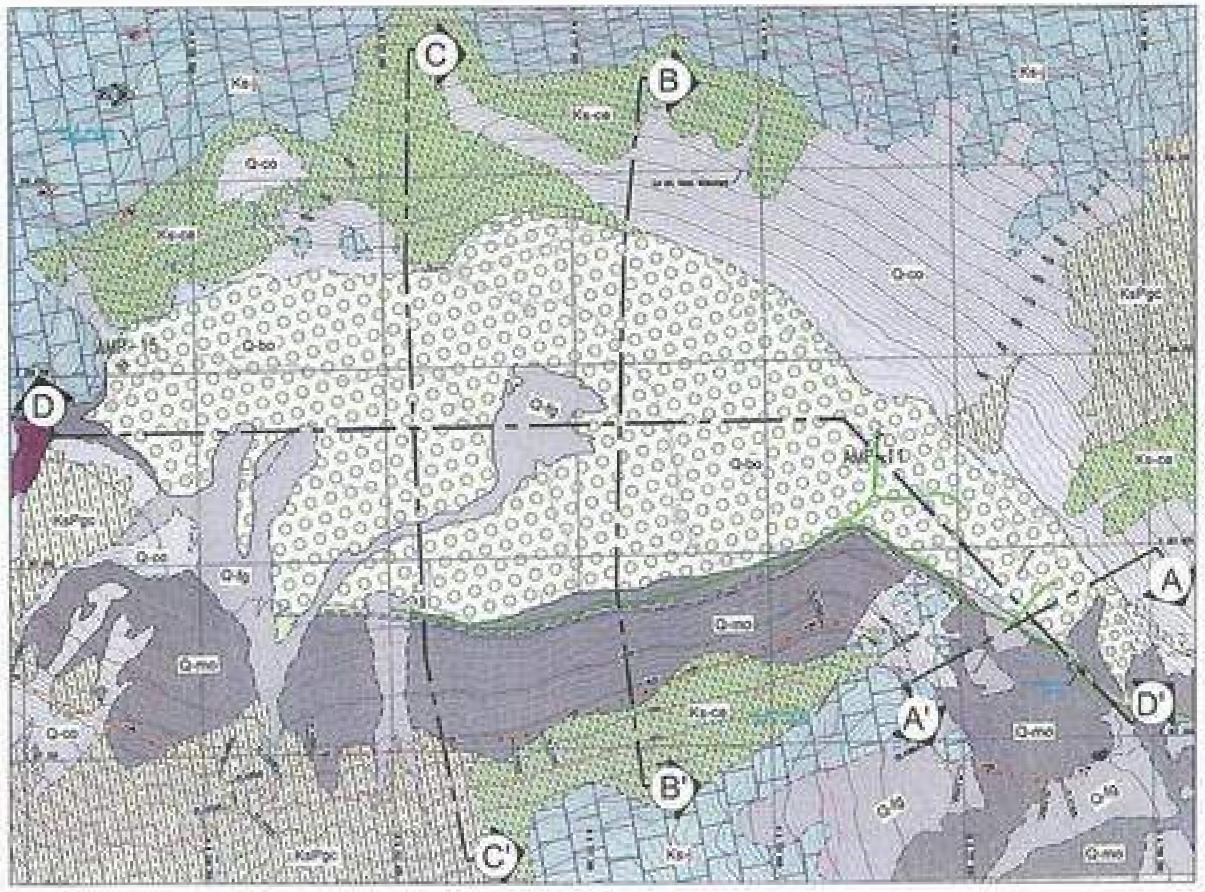
MIGUEL ANGEL
MENDOZA TINOCO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 115525

EMPRESA: AMPHOS 21 — Scientific and Strategic Environmental Consulting — Jr. Pablo Tarrigiano 206, San Borja, Lima 41 - Perú - T: +51 1 582 1215 - www.amphos21.com	REVISADO: A. Yancapallo	CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC	FIGURA N°: 3.3
	APROBADO: E. Ruiz		
	DIBUJADO: Amphos21	PROYECTO: ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICO PARA EL DEPÓSITO DEPÓSITO DE RELAVES ARIANA	
	FECHA: Marzo 2018		
	ESCALA: INDICADA		
	PROYECCIÓN: UTM	TÍTULO: SECCIÓN GEOLÓGICA A-A'	PROYECTO N°: 430_18
	DATUM: WGS 84		REVISIÓN: D
	ZONA: 18S		

CONFIDENCIAL: ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DE AMPHOS21 Y DE USO EXCLUSIVO DEL CLIENTE MENCIONADO EN EL FIGURETE, SU USO Y REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN PREVIA, ESTÁN PROHIBIDOS.



SECCIÓN GEOLÓGICA B-B'



PLANTA

ESCALA: S/E

LEYENDA

—	TOPOGRAFÍA
- - -	CONTACTO DE UNIDADES GEOLÓGICAS
- - -	LÍNEA DE QUIEBRE

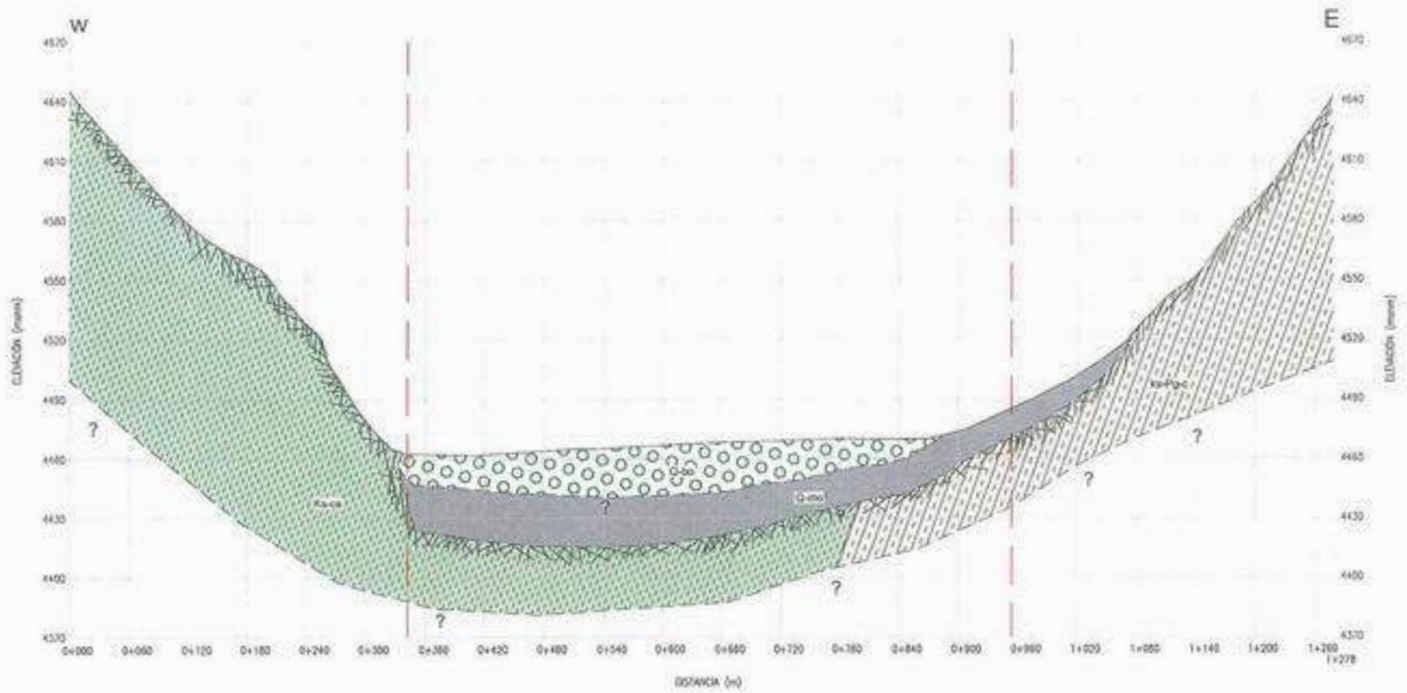
GEOLOGÍA

Q-bo	SUELO HIDROMÓRFICO
Q-mo	DEPÓSITOS GLACIARES
Q-co	DEPÓSITOS COLUVIALES
Ks-ce	FORMACIÓN CELENDÍN (Ks-Ce) CON DELGADAS CAPAS DE CALIZA GRIS INTERCALADAS, CONSISTE EN MARGAS GRISES A PARDO AMARILLENTAS
Ks-j	FORMACIÓN JUMASHA (Ks-J) CONSISTE EN CALIZAS MASIVAS DE COLOR GRIS A GRIS PARDUSCO (CALIZA BITUMINOSA)

Fuente: Ingeniería de detalle del depósito de Relaves Ariana, Anddes (enero 2018)

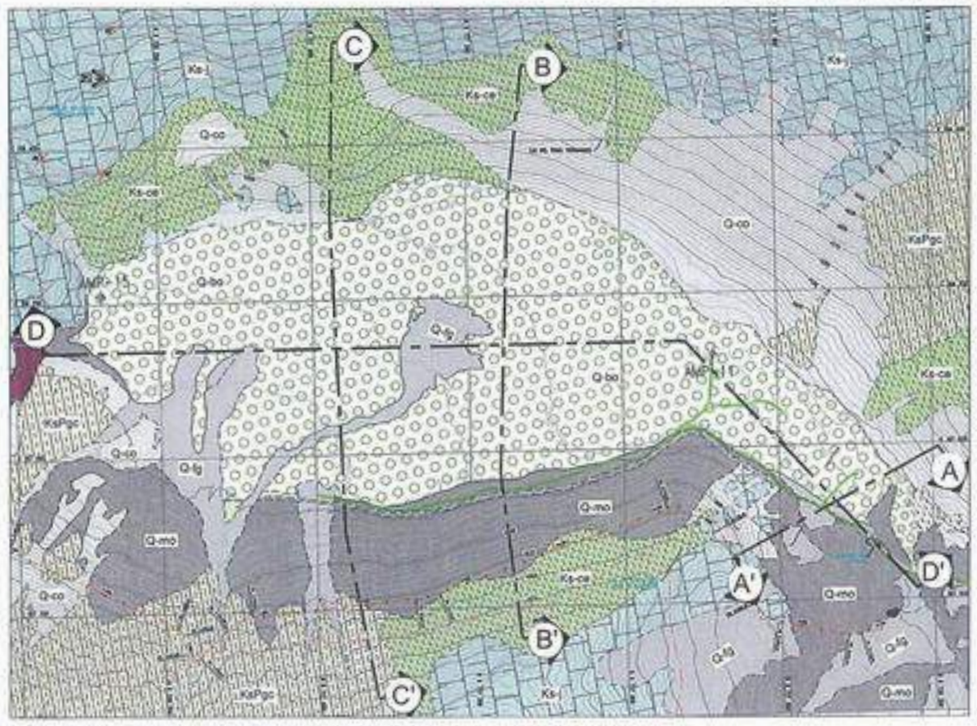
MIGUEL ANGEL MENDOZA TINOCO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 115525

EMPRESA: AMPHOS 21 — Scientific and strategic environmental consulting	REVISADO: A. Yancapallo	CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC	FIGURA N°: 3.4
	APROBADO: E. Ruiz		
	DIBUJADO: Amphos21		
	FECHA: Marzo 2018		
	ESCALA: INDICADA	PROYECTO: ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICO PARA EL DEPÓSITO DEPÓSITO DE RELAVES ARIANA	
	PROYECCIÓN: UTM		
	DATUM: WGS 84	TÍTULO: SECCIÓN GEOLÓGICA B-B'	PROYECTO N°: 430_18
	ZONA: 18S		REVISIÓN: D



SECCIÓN GEOLÓGICA C-C'

ESCALA: V:1:0.000
H:1:6.000



PLANTA

ESCALA: S/E

LEYENDA

- TOPOGRAFÍA
- CONTACTO DE UNIDADES GEOLÓGICAS
- LÍNEA DE QUIEBRE

GEOLOGÍA

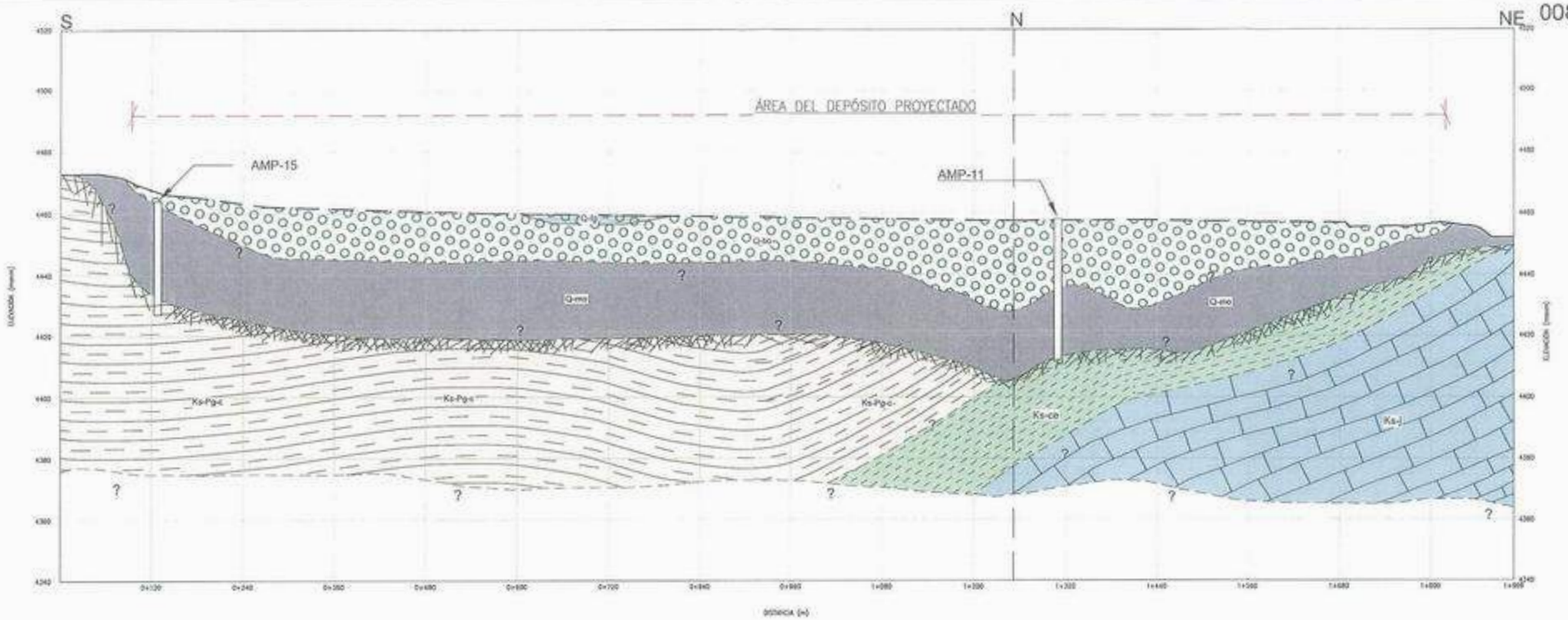
- Q-co — SUELO HIDROMÓRFICO
- Q-mo — DEPÓSITOS GLACIARES
- Ks-Pg-c — FORMACIÓN CASAPALCA (Ks-Pg-c): FORMADO POR ESTRATOS DE LUTITAS, LIMOLITAS, ARENISCAS Y CONGLOMERADOS
- Ks-ce — FORMACIÓN CELENDÍN (Ks-Ce): CON DELGADAS CAPAS DE CALIZA GRIS INTERCALADAS, CONSISTE EN MARCAS GRISES A PARDO AMARILLENTAS

Fuente: Ingeniería de detalle del depósito de Relaves Ariana, Anddes (enero 2018)

MIGUEL ANGEL
MENDOZA TINOCO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 116525

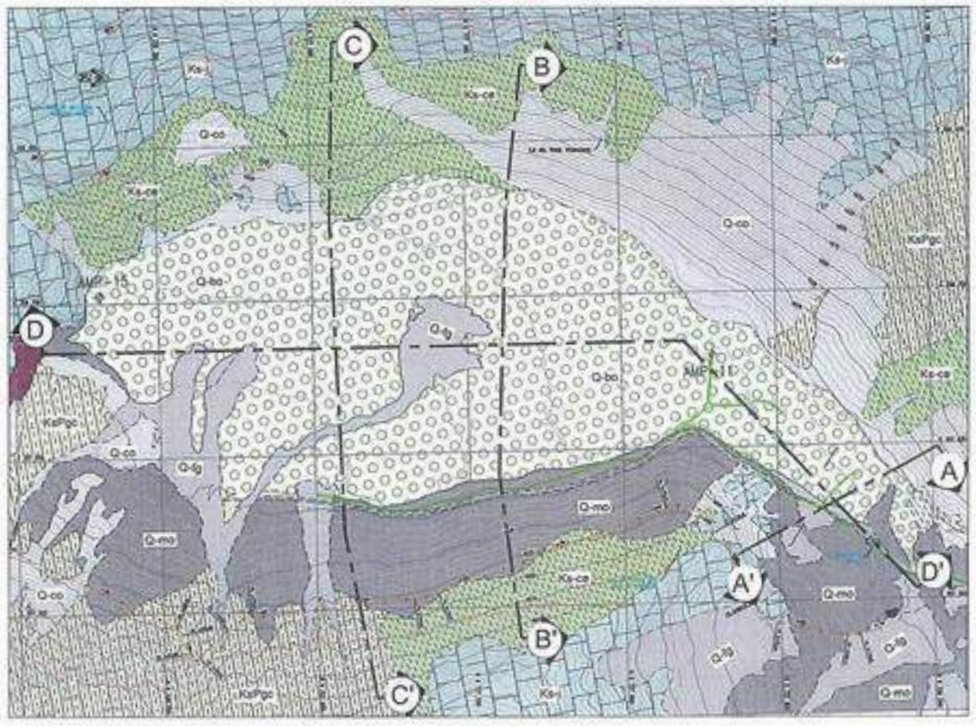
EMPRESA: AMPHOS 21 — Scientific and Strategic Environmental Consulting — Jr. Pierre Tomigiano 306, San Borja, Lima 41 - Perú · T: +51 1 500 1275 · www.amphos21.com	REVISADO: A. Yancapalo	CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC	FIGURA N°: 3.5
	APROBADO: E. Ruiz		
	DIBUJADO: Amphos21	PROYECTO: ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICO PARA EL DEPÓSITO DEPÓSITO DE RELAVES ARIANA	
	FECHA: Marzo 2018		
	ESCALA: INDICADA		
	PROYECCIÓN: UTM	TÍTULO: SECCIÓN GEOLÓGICA C-C'	PROYECTO N°: 430_18
	DATUM: WGS 84		REVISIÓN: D
	ZONA: 18S		

CONFIDENCIAL: ESTE PLANO Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ÉL, SON PROPIEDAD DE AMPHOS21 Y DE USO EXCLUSIVO DEL CLIENTE VENCIÓNDOLO EN EL FORMATO. SU USO Y REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN PREVIA, ESTÁN PROHIBIDOS.



SECCIÓN GEOLÓGICA D-D'

ESCALA V:S/1,500
H:S/6,000



PLANTA

ESCALA: S/E

LEYENDA	
— — —	SUPERFICIE TOPOGRÁFICO
- - - -	CONTACTO DE UNIDADES GEOLÓGICAS
— —	LÍNEA DE QUIEBRE

AMP-11

PIEZÓMETRO

GEOLOGÍA	
Q-bo	SUELO HIDROMÓRFICO
Q-fg	DEPÓSITOS FLUVIOGLACIARES
Q-mo	DEPÓSITOS GLACIARES
Ks- Pg-c	FORMACIÓN CHIMÚ/CELENDÍN (Ks-Pg-c): FORMADO POR ESTRATOS DE LUTITAS, LIMOLITAS, ARENISCAS Y CONGLOMERADOS.
Ks-ce	FORMACIÓN CELENDÍN (Ks-ce): CON DELGADAS CAPAS DE CALIZA GRIS INTERCALADAS, CONSISTE EN MARGAS GRISES A PARDO AMARILLENTAS
Ks-j	FORMACIÓN JUMASHA (Ks-j): CONSISTE EN CALIZAS MARINAS DE COLOR GRIS A GRIS PARDUSCO Y CALIZA BITUMINOSAS

MIGUEL ANGEL
MENDOZA TINOCO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 116525

Fuente: Ingeniería de detalle del depósito de Relaves Ariana, Andes (enero 2018)

ELABORADO:	A. Yancapallo
APROBADO:	E. Rolz
DIBUJADO:	Amphos21
FECHA:	Marzo 2018
ESCALA:	INDICADA
PROYECCIÓN:	UTM
DATUM:	WGS 84
ZONA:	18S

AMPHOS 21
CONSULTING

CLIENTE: ARIANA OPERACIONES MINERAS SAC

PROYECTO: ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICO PARA EL DEPÓSITO DEPÓSITO DE RELAVES ARIANA

TÍTULO: SECCIÓN GEOLÓGICA D-D'

FIGURA Nº: 3.6

PROYECTO Nº: 430_18

REVISIÓN: D

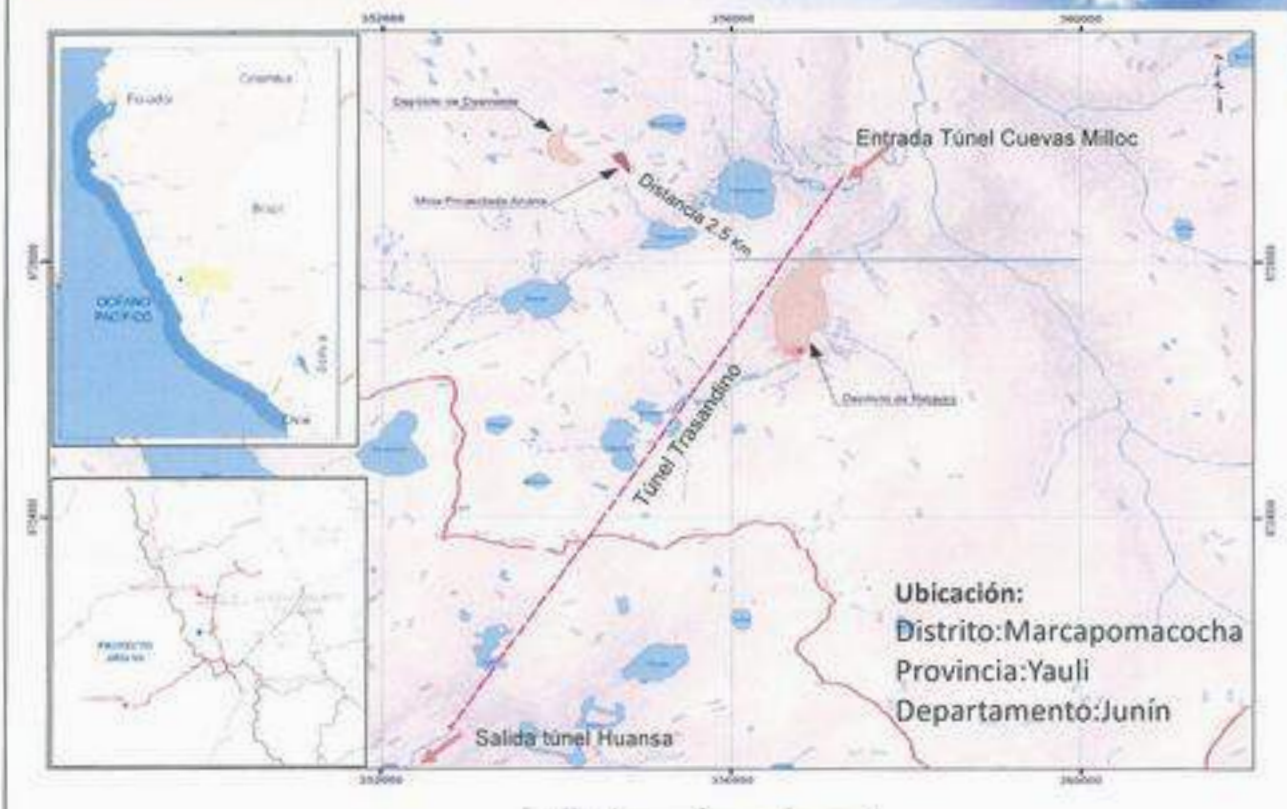
Walsh

ARIANA OPERACIONES MINERAS S.A.C.

Revisión del estudio hidrogeológico de línea base del EIA y el depósito de relaves proyecto minero Ariana

Mayo 2019

Mapa ubicación del Proyecto Ariana



Estudio hidrológico e hidrogeológicos revisados

Objetivo.-

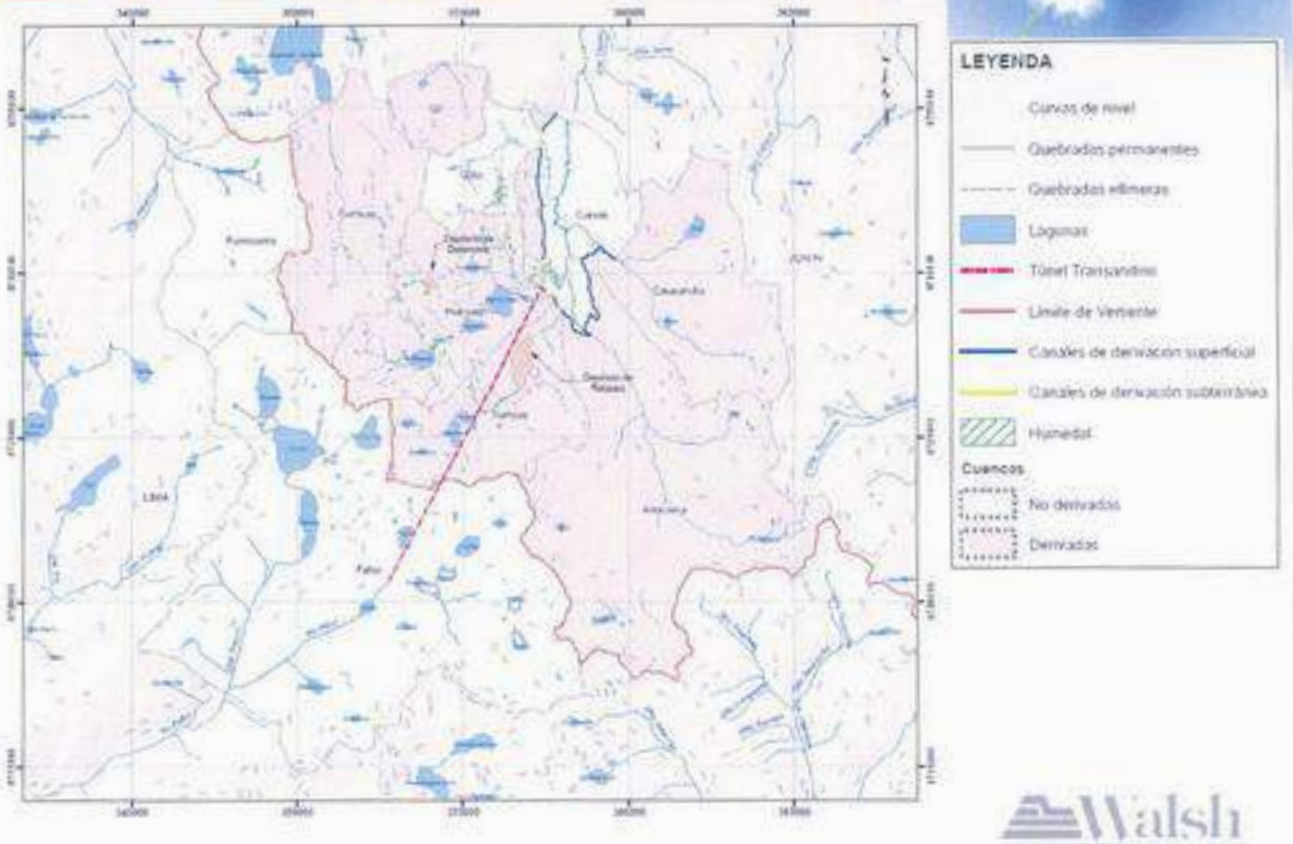
Servicio de revisión del estudio hidrogeológico de línea base para la Evaluación de Impacto Ambiental, así como el estudio hidrogeológico del depósito de relaves, formulado para el proyecto Minero Ariana, y su influencia en el Túnel Trasandino.

Información de referencia

- Estudio hidrológico, hidrogeológico y geoquímico para el EIA abril 2015, Amphos 21 Consulting Perú S.A.C.
- Proyecto de construcción del deposito de relaves Anddes, abril 2016.
- Actualización hidrogeológica para el depósito de relaves Ariana marzo 2018, Amphos 21 Consulting Perú S.A.C.
- Estudio geológico túnel trasandino, y carta de Ariana a ENEL a Ministerio de Energía y Minas. 11-05-2018.

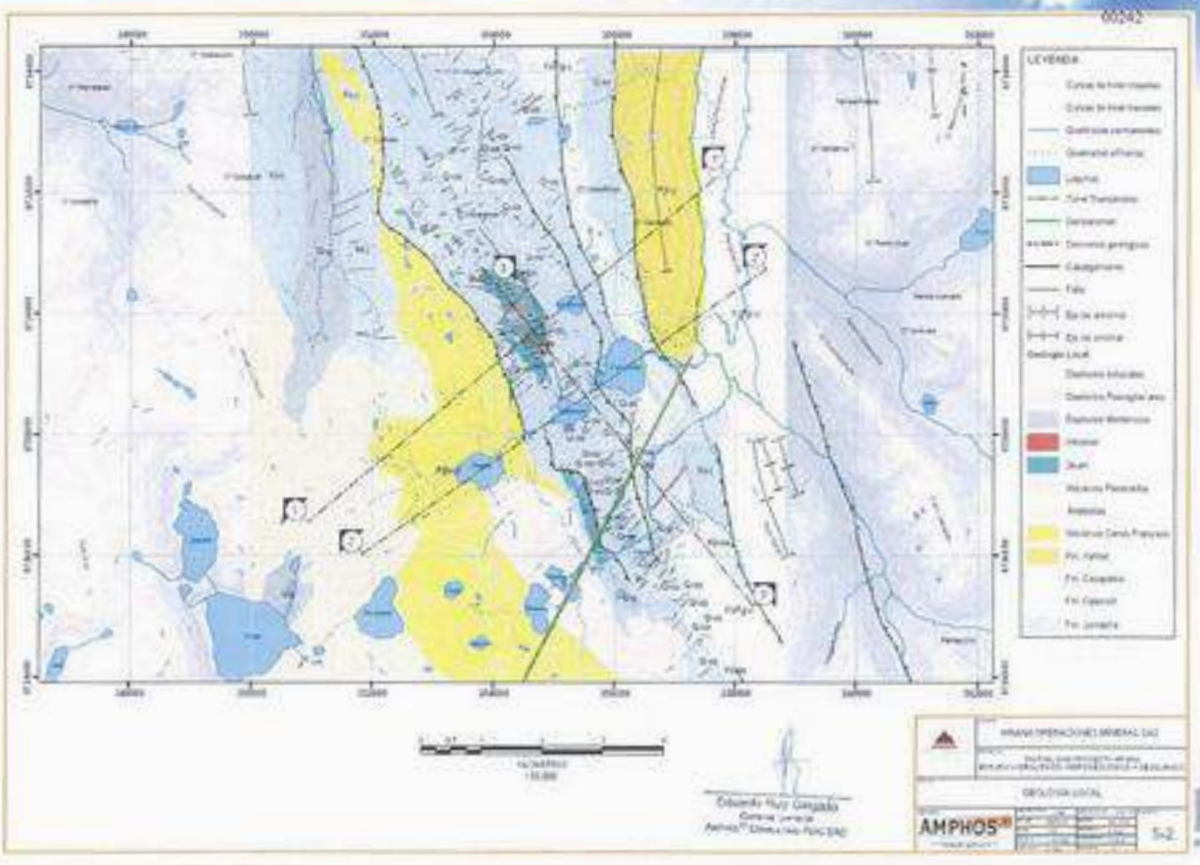
Walsh

Mapa hidrográfico Local, Amphos 21 abril 2015

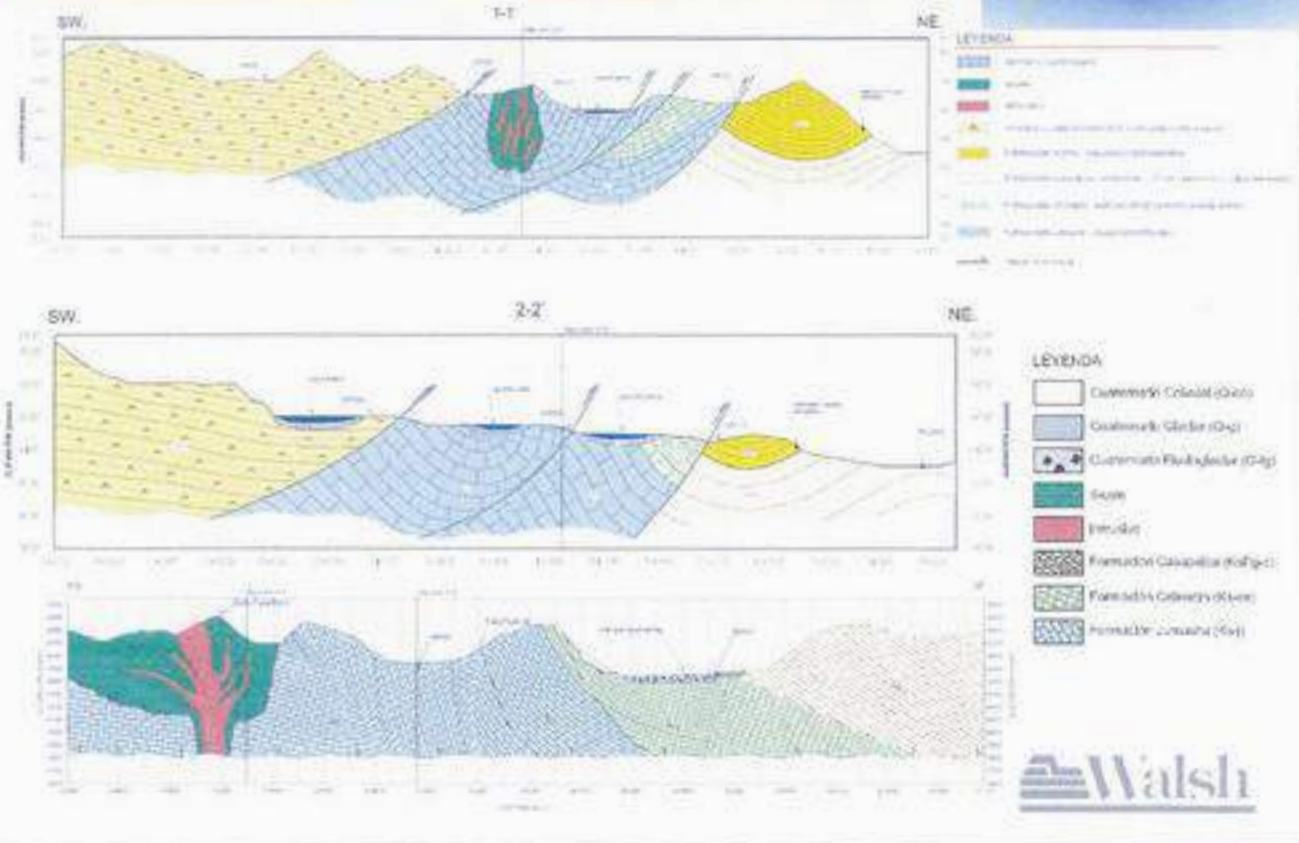


Walsh

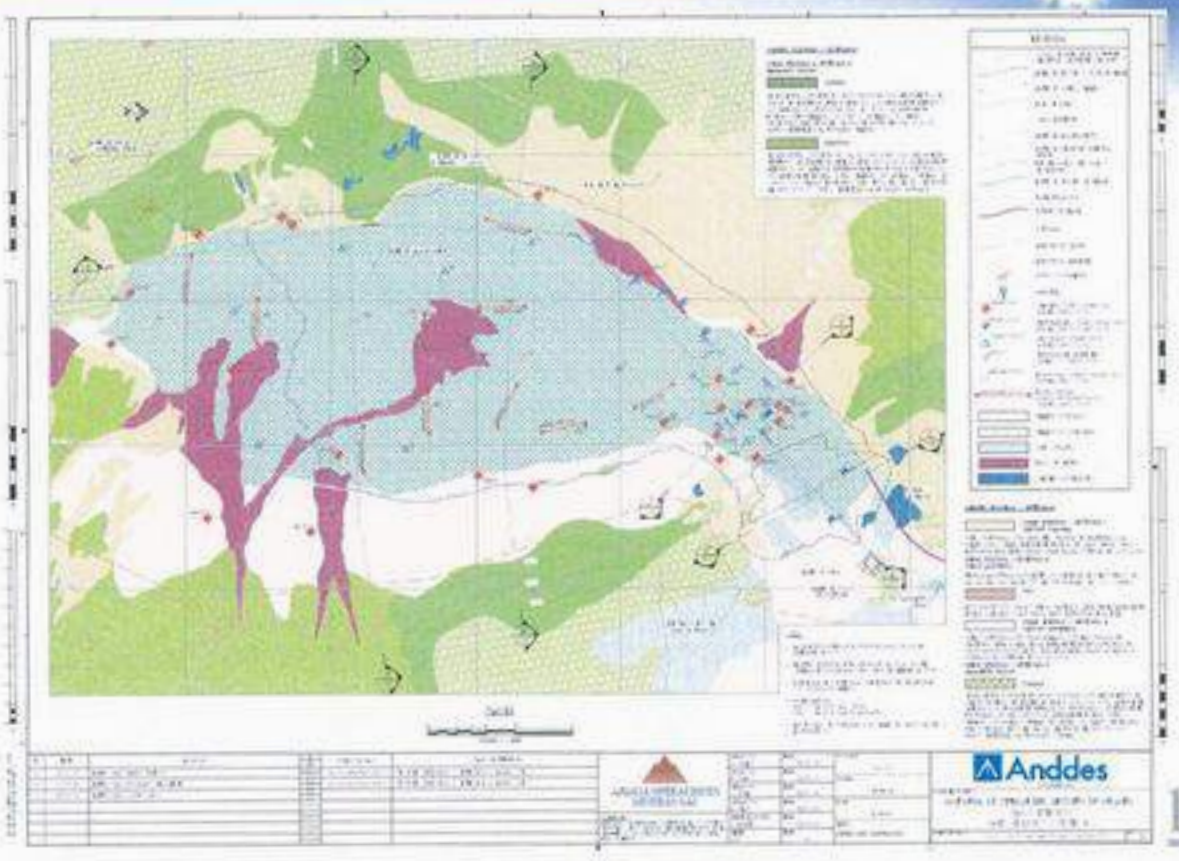
Geológico Local LB Hidrogeológica, Amphos21abril 2015



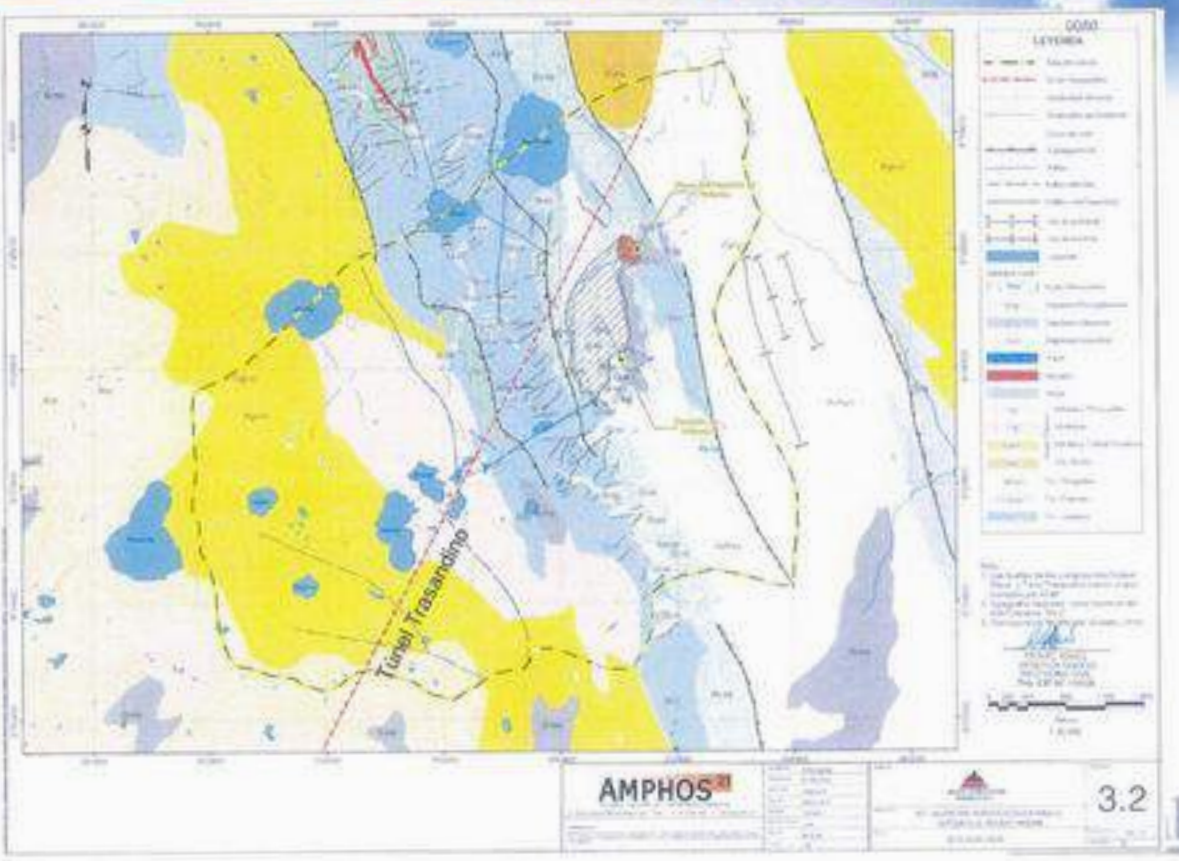
Secciones geológicas 1-1´, 2-2´y 3-3´, Amphos 2015



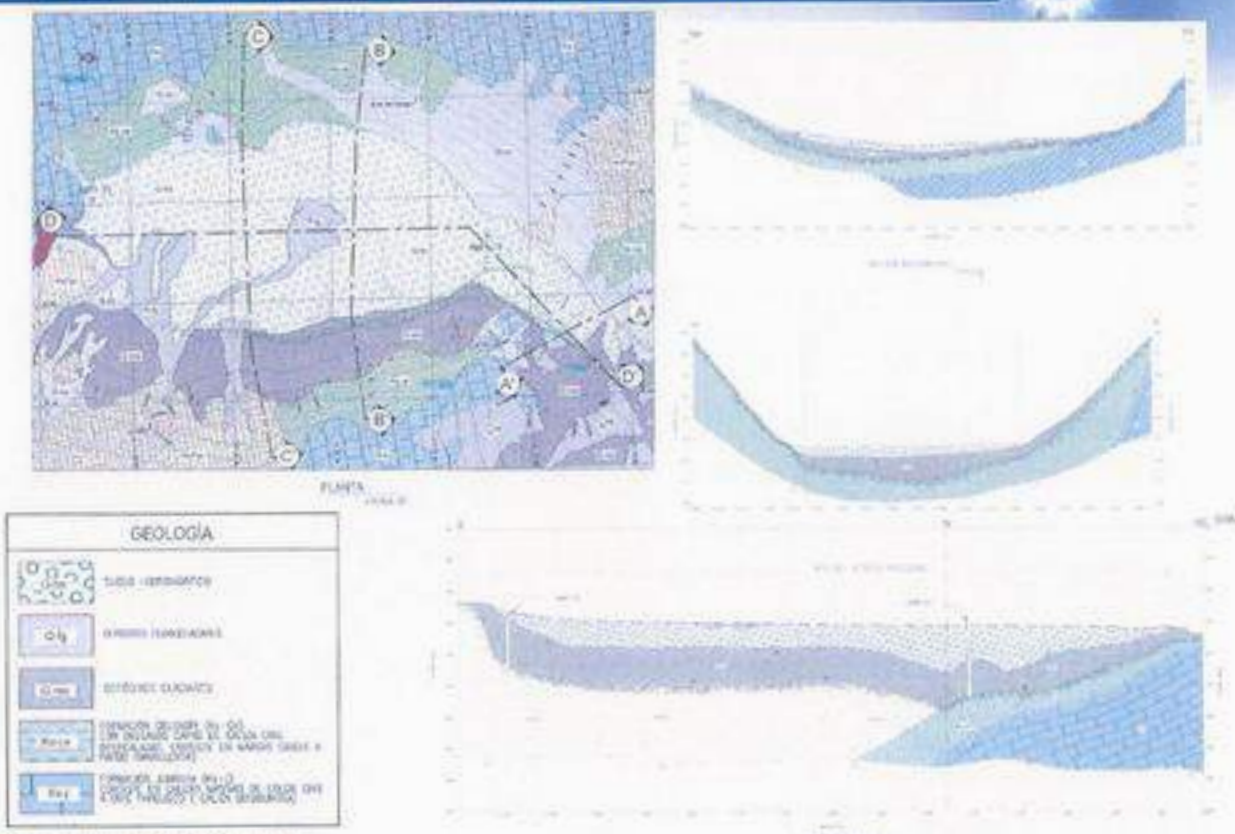
Geológico Local DR Ariana, Anddes, Abril 2016



Geológico Local DR Ariana Amphos21 abril 2015



Secciones geológicas DR Ariana



Fuente: Ingeniería de detalle del depósito de Pelaura Ariana, Anatolia (enero 2018)

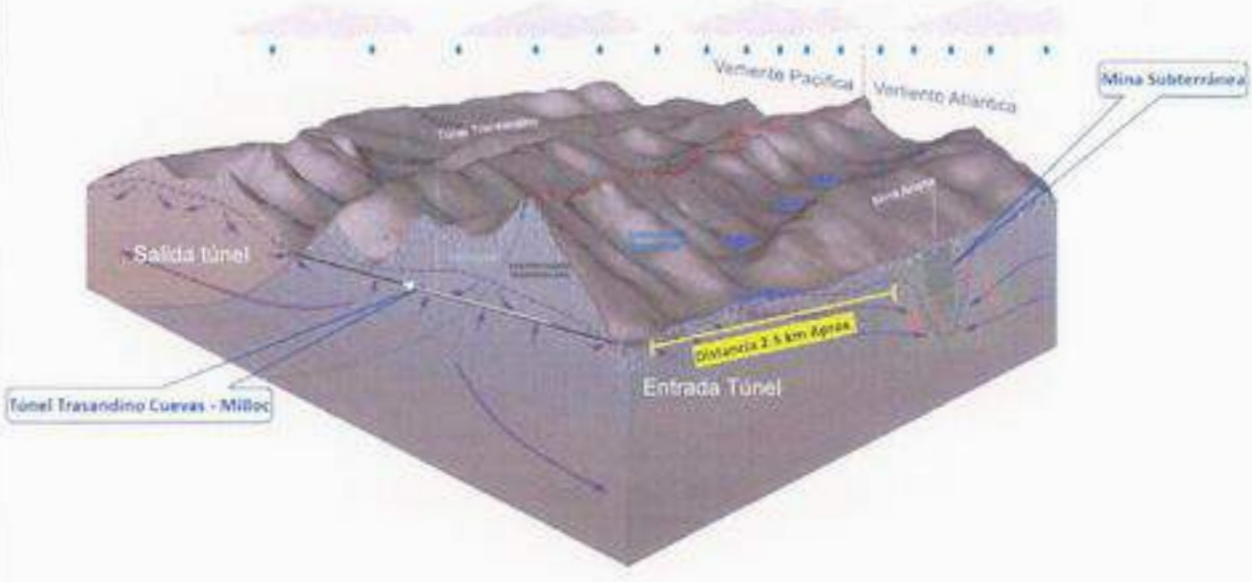
Mapa de rasgos kársticos Ariana

Walsh

Perforaciones diamantinas realizadas en la zona del Proyecto a nivel de factibilidad. (Amphos 2015)

Walsh

Modelo hidrogeológico conceptual



Walsh

Resumen de parámetros hidráulicos de campo

Piezómetro	Intervalo Prueba (m)		Prof. Prom (m)	Intervalo Prueba (m)	Tipo de Prueba	Conductividad Hidráulica		Litología	N°
	Tope	Fondo				K (m/día)	K (cm/s)		
AMP-01	13	45.4	29.2	32.4	Slug "Recuperación"	0.01	7.8E-06	Falta registro	1
AMP-01	13	45.4	29.2	32.4	Prueba de Bombeo	0.004	4.9E-06	Falta registro	2
AMP-02	9.7	22.6	16.15	12.9	E. Recuperación	0.36	4.2E-04	Falta registro	3
AMP-02	9.7	22.6	16.15	12.9	Slug "Descenso"	0.72	8.4E-04	Falta registro	4
AMP-02	9.7	22.6	16.15	12.9	Slug "Recuperación"	1.17	1.4E-03	Falta registro	5
AMP-02	9.7	22.6	16.15	12.9	Prueba de Bombeo	0.54	6.2E-04	Falta registro	6
AMP-04	14.8	40.2	27.5	25.4	E. Recuperación	0.002	2.1E-06	Calizas	7
AMP-04	14.8	40.2	27.5	25.4	Slug "Descenso"	0.01	9.0E-06	Calizas	8
AMP-04	14.8	40.2	27.5	25.4	Slug "Recuperación"	0.00	4.2E-06	Calizas	9
AMP-05	33	40	36.5	7	Lugeon	0.04	4.2E-05	Falta registro	10
AMP-05	22	40	31	18	Slug "Descenso"	0.93	1.1E-03	Falta registro	11
AMP-05	22	40	31	18	Slug "Recuperación"	1.71	2.0E-03	Falta registro	12
AMP-06	14.8	40	27.4	25.2	E. Recuperación	0.28	3.2E-04	Falta registro	13
AMP-06	25.5	40	32.75	14.5	Slug "Descenso"	0.09	1.1E-04	Falta registro	14
AMP-06	25.5	40	32.75	14.5	Slug "Recuperación"	0.18	2.1E-04	Falta registro	15
AMP-07	67.4	80	73.7	12.6	Lugeon	0.01	1.2E-05	Falta registro	16
AMP-07	41.6	59.2	50.4	17.6	E. Recuperación	2.04	2.4E-03	Falta registro	17
AMP-07	41.6	59.2	50.4	17.6	Slug "Recuperación"	0.59	6.8E-04	Falta registro	18
AMP-08	35.2	40.1	37.65	4.9	Lugeon	0.02	1.9E-05	Falta registro	19
AMP-08	5.15	19.65	12.4	14.5	Slug "Descenso"	2.76	3.2E-03	Falta registro	20
AMP-09	30.5	48.8	39.65	18.3	Lugeon	0.02	2.2E-05	Limolitas	21
AMP-09	61.5	70.1	65.8	8.6	Lugeon	0.02	1.7E-05	Limolitas	22
AMP-09	45	59	52	14	Slug "Descenso"	0.13	1.5E-04	areniscas	23
AMP-09	45	59	52	14	Slug "Recuperación"	0.20	2.4E-04	areniscas	24
AMP-09	45	59	52	14	Prueba de Bombeo	0.05	5.3E-05	areniscas	25
AMP-10	34.5	60.9	47.7	26.4	Lugeon	0.02	2.5E-05	Limolitas	26
AMP-10	60.6	85.1	72.85	24.5	Lugeon	0.01	9.8E-06	Limolitas	27
AMP-10	50.55	85.1	72.85	34.55	Slug "Descenso"	0.04	4.8E-05	Limolitas	28
AMP-11	31.6	45.8	38.7	14.2	Slug "Recuperación"	0.01	5.8E-06	Limolitas	29
AMP-13	5.2	16.7	10.95	11.5	E. Recuperación	0.29	3.3E-04	areniscas	30
AMP-13	5.2	16.7	10.95	11.5	Prueba de Bombeo	0.42	4.8E-04	areniscas	31
AMP-14	4.87	21.8	13.34	16.93	E. Recuperación	0.37	4.2E-04	areniscas	32
AMP-14	4.87	21.8	13.34	16.93	Prueba de Bombeo	0.55	6.4E-04	areniscas	33
AMP-13 Obs.	5.2	21.8	13.5	16.6	Prueba de Bombeo	0.63	7.3E-04	areniscas	34
AMP-14 Obs.	4.87	16.7	10.79	11.83	Prueba de Bombeo	0.73	8.5E-04	areniscas	35
AMP-12	--	--	--	--	--	--	--	Calizas	36
AMP-14	--	--	--	--	--	--	--	Poco calizas	37

Walsh

Unidades hidrogeológicas y permeabilidades (m/d)

Capa	UH Sedimentario Permeabilidad media-baja	UH Sedimentario Permeabilidad baja	UH Volcánica clástica-piroclástica	UH Volcánica-lávica	UH Skarn	UH Cuaternario
1	1.2	0.04	0.28	0.12	0.4	3.2
2	0.3	0.02	0.14	0.06	0.1	1.6-0.32*
3	0.1	0.01	0.07	0.03	0.1	-
4	0.09	0.01	0.07	0.03	0.05	-
5	0.09	0.005	0.035	0.015	0.05	-
6	0.035	0.005	0.035	0.015	0.025	-
7	0.035	0.0025	0.0175	0.0075	0.025	-
8	0.035	0.0025	0.0175	0.0075	0.025	-
9	0.01875	0.000625	0.004375	0.001875	0.00625	-
10	0.01875	0.000625	-	0.001875	0.00625	-
11	0.0046875	0.00015625	-	0.00046875	0.0015625	-
12	0.0046875	0.00015625	-	0.00046875	0.0015625	-
13	0.0046875	0.00015625	-	0.00046875	0.0015625	-
14	0.0046875	0.00015625	-	0.00046875	0.0015625	-
15	0.0046875	0.00015625	-	0.00046875	0.0015625	-
16	0.0046875	0.00015625	-	0.00046875	0.0015625	-
17	0.0046875	0.00015625	-	0.00046875	0.0015625	-

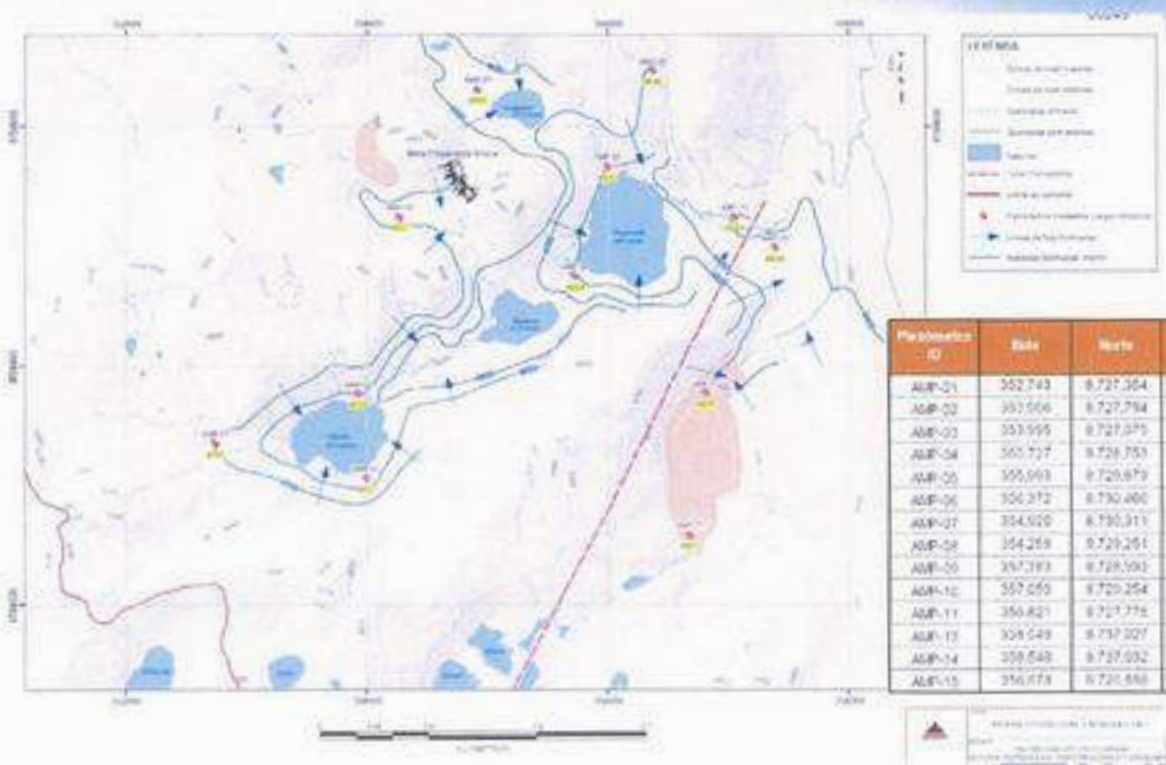
Walsh

Unidades hidrogeológicas seleccionadas Amphos 21

Unidad Hidrogeológica	Descripción Litológica	Unidades Geológicas	Descripción Hidrogeológica
UH Sedimentaria de Permeabilidad media-baja	Calizas, por lo general karstificadas hacia sus niveles más superficiales, y margas	**Formación Jumasha y Celendín**	Conductividad hidráulica de media a baja en función del grado de fracturación, relleno de fractruras y grado de karstificación
UH Sedimentaria de Permeabilidad baja	Lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados	Formación Casapalca	Conductividad hidráulica baja con valores variables en función de la proporción de sedimento fino.
UH Skarn	Roca metamórfica de contacto	Skarn	Conductividad hidráulica baja, con valores ocasionalmente más altos en función de la fracturación
UH Volcánica- clástica	Secuencia vulcano-sedimentaria constituida por rocas clásticas y piroclásticas	Formación Yantac	Conductividad hidráulica media a baja
UH Lávica	Derrames lávicos andesíticos a riodacíticos	Volcánico Carlos Francisco, Colqui, Millotingo y Pacococha	Conductividad hidráulica baja a muy baja.
UH Cuaternario	Depósitos detríticos, no consolidados	Cuaternario	Conductividad hidráulica alta

Walsh

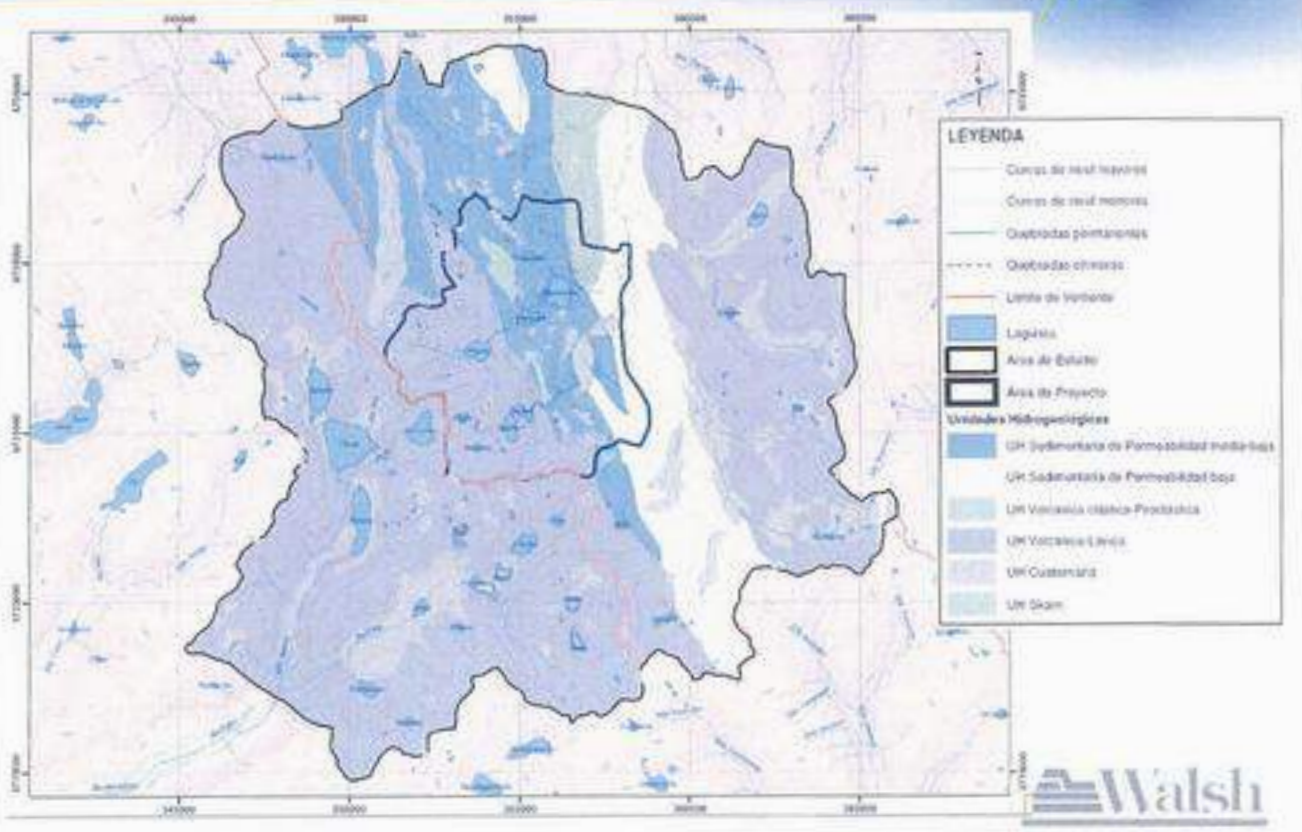
Ubicación y piezometría interpretada Amphos 2015



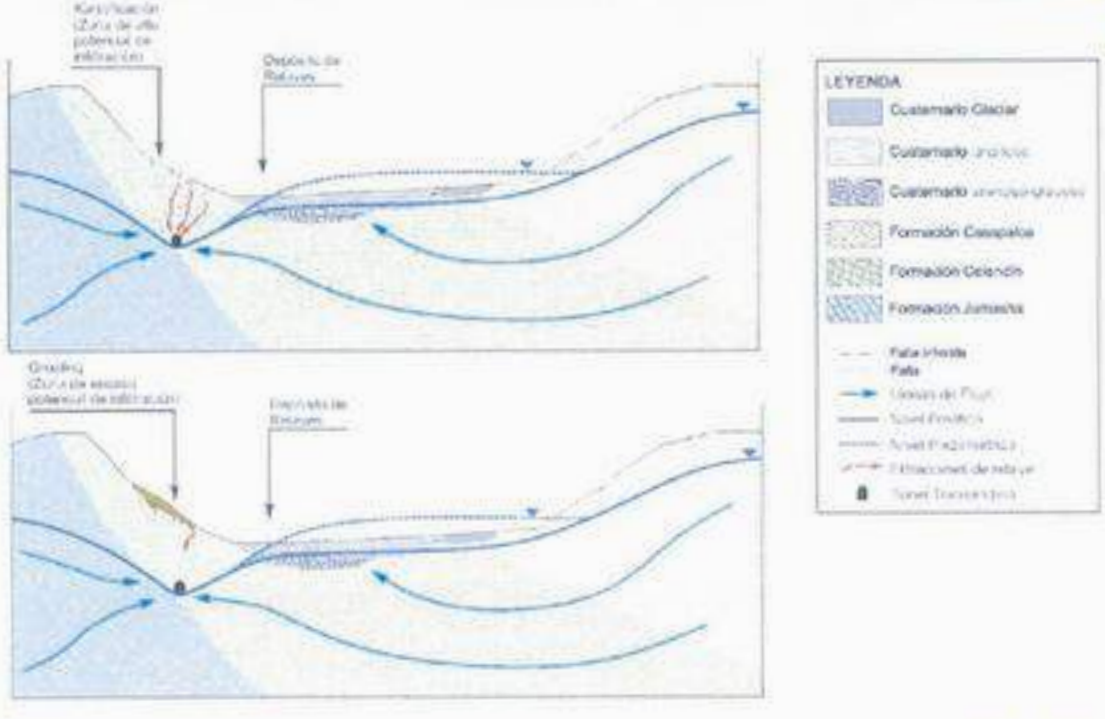
Piezómetro ID	Este	Norte	Cota (msnm)
AMP-01	352.743	8.727.354	4.095
AMP-02	353.006	8.727.794	4.650
AMP-03	353.995	8.727.075	4.048
AMP-04	353.727	8.728.753	4.524
AMP-05	355.993	8.729.679	4.510
AMP-06	356.372	8.730.460	4.567
AMP-07	354.920	8.730.311	4.588
AMP-08	354.259	8.729.251	4.710
AMP-09	357.393	8.728.593	4.326
AMP-10	357.059	8.729.254	4.435
AMP-11	356.821	8.727.775	4.458
AMP-13	358.049	8.737.027	4.252
AMP-14	358.548	8.737.032	4.252
AMP-15	356.678	8.720.888	4.464

Walsh

Mapa de Unidades hidrogeológicas, Amphos 2015



Esquema Interacción relavera – subsuelo, Amphos 2015

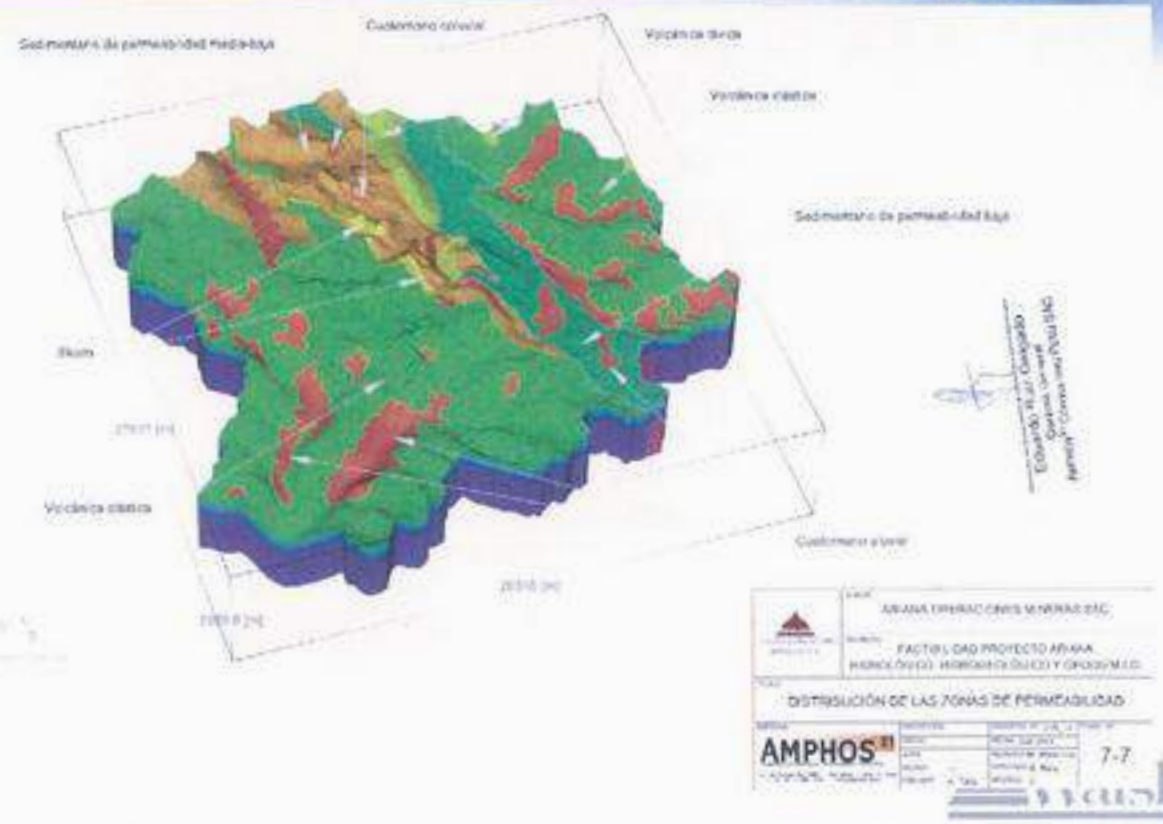


Niveles estáticos y características de los piezometros

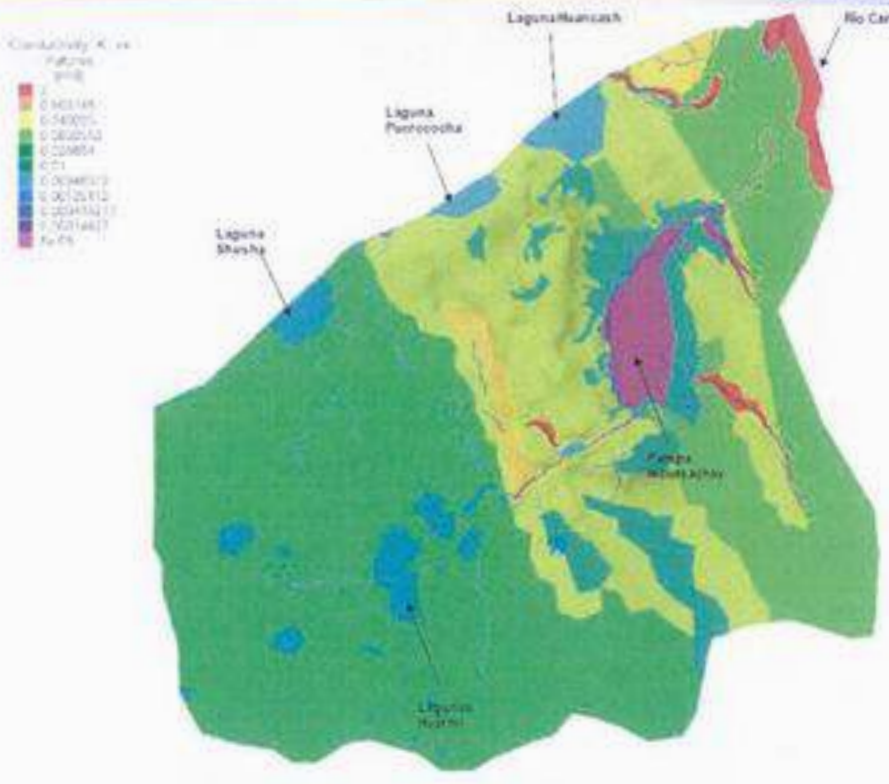
Nombre del Piezómetro	Coordenadas (WGS84)		Cota	Cota Intervalo Filtro (msnm)		Carga Hidráulica obs (msnm)	Nivel Estático (mca)
	Norte (m)	Este (m)	(m.s.n.m.)	Superior	Inferior		
AMP-01	8727354	352742	4695.25	4682.25	4649.85	4695.43	-0.18
AMP-02	8727794	353905	4655.41	4685.55	4673.25	4655.12	0.29
AMP-03	8727075	353994	4648.03	4673.75	4649.65	4631.70	16.33
AMP-04	8728752	355727	4523.61	4680.45	4655.05	4504.44	19.17
AMP-05	8729673	355992	4509.52	4673.25	4655.25	4502.84	6.68
AMP-06	8730466	356372	4567.10	4669.75	4655.25	4545.84	21.26
AMP-07	8730311	354919	4597.92	4653.65	4636.25	4565.31	32.61
AMP-08	8729250	354269	4710.18	4690.10	4675.60	4697.78	12.4
AMP-09	8728993	357382	4425.99	4647.25	4615.25	4424.72	1.27
AMP-10	8729253	357058	4435.00	4644.70	4610.15	4391.08	43.92
AMP-11	8727774	356820	4457.78	4663.65	4649.45	4456.18	1.6
AMP-15	8726588	356677	4463.68	4689.05	4657.25	4461.46	2.22

Walsh

Figura 7-7 Distribución zonas de permeabilidad

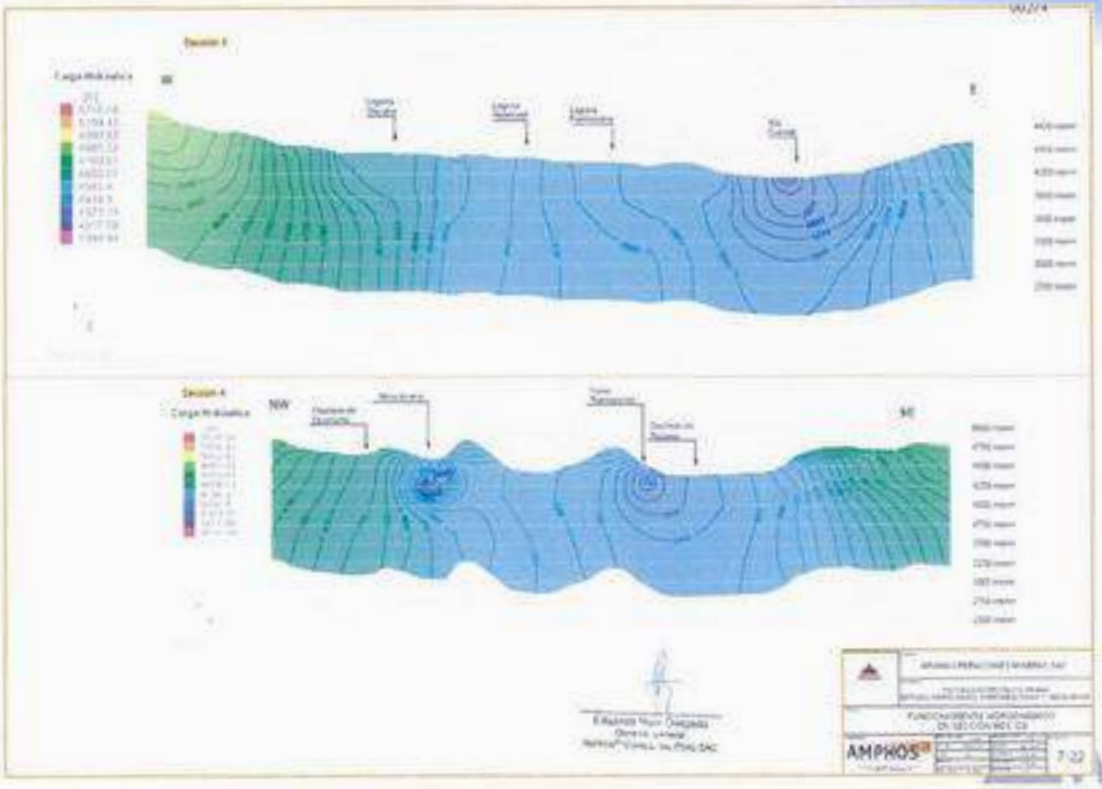


Ubicación y piezometría interpretada Amphos 2015



Walsh

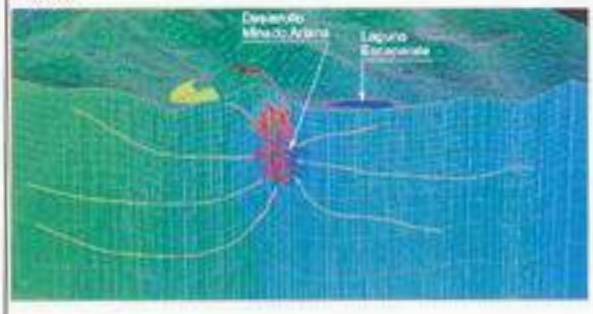
Secciones hidrogeológicas simuladas



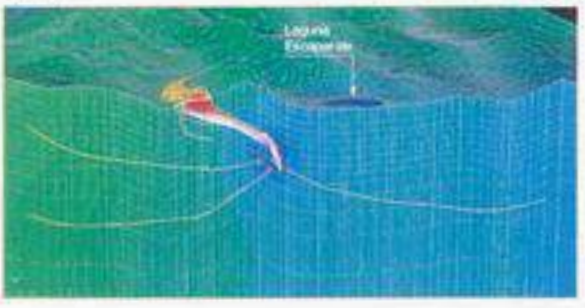
Walsh

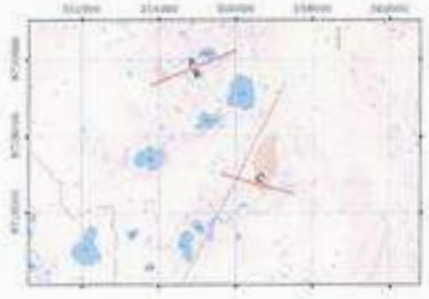
Trayectoria partículas y áreas influencia componentes

Sección A

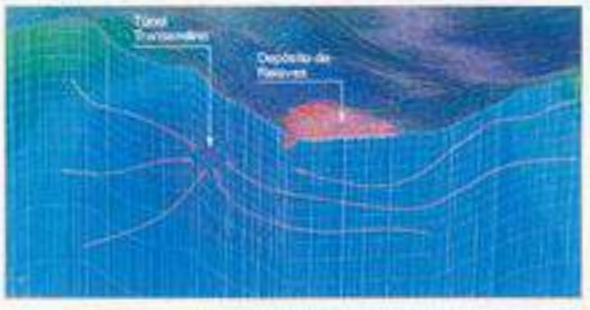


Sección B



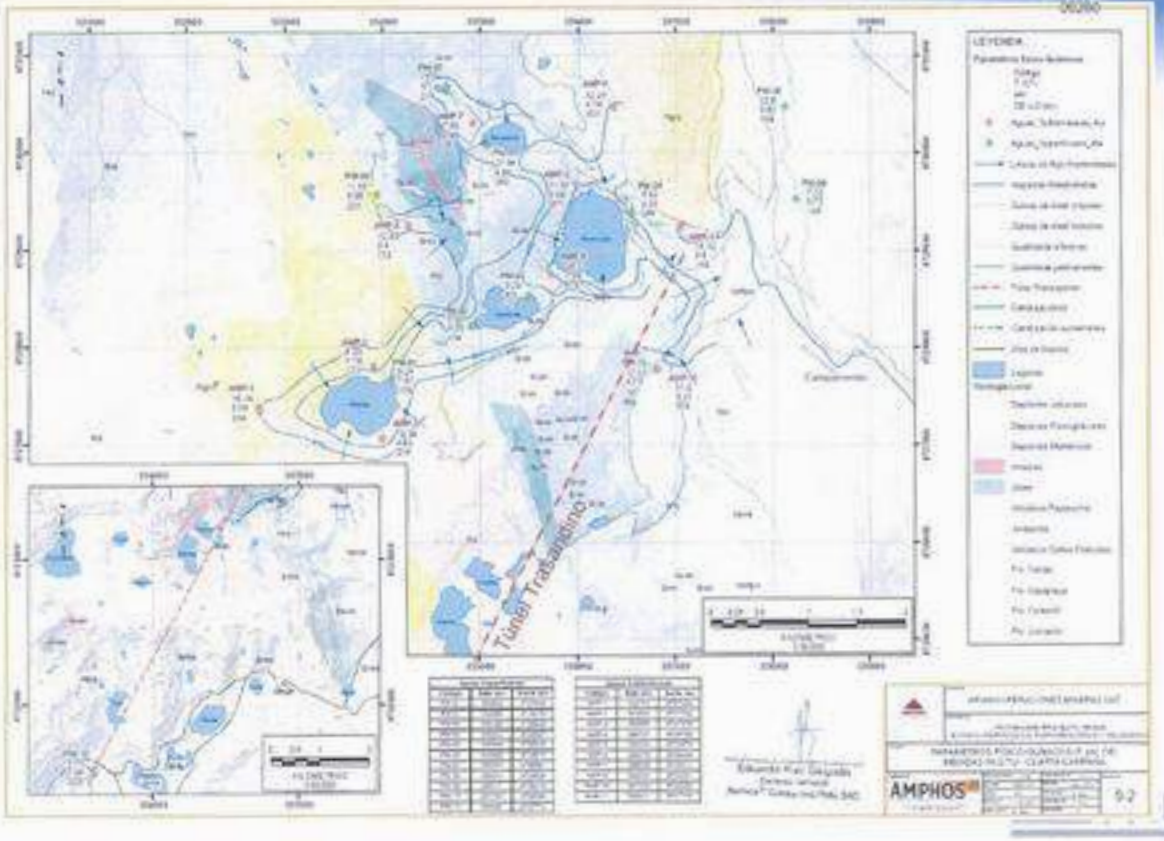


Sección C



Walsh

Parámetros físicoquímicos In Situ 4ta Campaña



Walsh

Conclusiones generales

- La zona del proyecto tiene un sistema de discontinuidades principales y fracturas desde los componentes del proyecto hacia el túnel transandino. Esta condición representa un riesgo de infiltración al depósito de relaves. Este riesgo ha sido atendido mediante la impermeabilización parcial de la zona kárstica y luego a través del permiso de construcción, la impermeabilización total del vaso.
- Existe discrepancia en los valores de permeabilidad asumidos para el modelo hidrogeológico para las formaciones Jumasha, Celendín, el depósito fluvio glaciar, y en especial para las arcillas plásticas, que según los ensayos son muy compresibles. En algunos casos el valor asumido es 100,000 veces mejor que el registrado en campo. Por lo tanto, el modelo hidrogeológico puede estar llevando a resultados no concordantes a la realidad de campo.

Valores de Permeabilidad Asumidos en los Diferentes Estudios (Cm/S)

MATERIAL	VALOR MAS CONSERVADOR DE ENSAYO	Amphos (2015)	Amphos (2018)	Anddes (2018)
Materiales Cuaternarios	1.2 E-02 - 2.41E-03	2.41E-03	1.64E-04	1.0 E-07
Andesitas fracturadas	1.38E-03	1.38E-03	-	-
Formacion Jumasha (Calizas fracturadas - Evidencias de Karsticidad)	3.26E-03	3.26E-03	2.16E-06	1.0E-06
Formacion Celendin (Limolitas - Evidencias de Karsticidad)	1.56E-03	1.56E-03	8.0 E-05 - 2.0 E-7	-
Formacion Casapalca (Limolitas y Lutitas - fracturadas a muy fracturadas)	1.49E-04	1.49E-04	1.49E-04	-
Fluvio Glacial	7.42E-04	7.42E-04	8.0E-06	1.0 E-07
Arcillas de alta plasticidad	4.08E-04	-	5.0E-07	1.0E-09

Conclusiones generales

- El análisis de filtraciones utiliza permeabilidades para arcillas de 1,0**E-09** cm/s, lo cual es discordante con los ensayos que reportan valores para este mismo depósito, de hasta 4,08**E-04** cm/s.
- Los parámetros utilizados en el modelo conceptual (Estudio Hidrológico, Hidrogeológico y Geoquímico, Amphos 2015) se ajusta mejor a los valores obtenidos durante los ensayos y representan mejor el fenómeno de karstificación. En este modelo se indica que, de no existir impermeabilización, podría haber una migración lateral de relave hacia el túnel trasandino **de 13 l/s, y de 2.5 l/s** desde su espejo de agua, producto de la karstificación. Según AOM, el depósito no alcanzaría la zona de karstificación, pero de forma preventiva el EIA incorporó la impermeabilización de dicho sector y fue extendido a todo el depósito.
- La zona mineralizada será excavada hasta el nivel 4230 mnsm, en 8 niveles proyectados, y para las actividades de explotación se ha previsto deprimir la napa freática mediante el uso de bombas. AOM debe prepararse para la probabilidad de mayores caudales a los obtenidos con el modelo numérico, debido a la karsticidad o la probabilidad de interceptar cavidades durante su explotación.
- Las rocas calcáreas de la Fm., Jumasha es uno de los acuíferos más permeables de la región y actualmente drena hacia el Túnel Trasandino, por la ubicación de la mina subterránea, se estima que drenará parte de estas aguas. El depósito de relaves se encuentra rodeado por esta unidad, tanto basal y lateralmente. El requerimiento de la impermeabilización total del depósito de relaves debe eliminar el riesgo de que la filtración, vaya hacia el túnel transandino.

Conclusiones generales

- El túnel posee revestimiento parcial de su techo y en sus paredes. Se estima alrededor del 50% de su longitud, y su piso es de concreto entre Km 5+043 y Km 6+780. **Entre el Km 2+045 a 4+070 atraviesan calizas permeables y alteradas a mármol, se registra hasta tres puntos de ingresos de agua subterránea al Túnel Trasandino, procedente del acuífero calcáreo Fm. Jumasha.**
- **Por la condición de túnel descrita en el párrafo anterior, la formación Jumasha actualmente aporta importante caudal subterráneo. Las labores mineras podrían tener afectación al caudal del túnel la cual debería ser evaluada.**
- Los modelos numéricos del estudio hidrogeológico deben considerar a detalle la geología y naturaleza de kársticidad identificados en el proyecto, y debe ser analizado considerando las condiciones más desfavorables, incluyendo la rotura de la impermeabilización del vaso, recomendado por el Ministerio de Energía y Minas.

Walsh

Recomendaciones

- Se recomienda realizar un nuevo modelo hidrogeológico, que considere análisis de recarga, la sensibilidad y mejorar el conocimiento del fenómeno de Karsticidad de la zona de proyecto. Esto servirá para analizar el riesgo en caso de rotura de la impermeabilización, requerido como parte de la licencia de construcción y puede servir para mejorar la predicción de volúmenes de agua que serán captados durante las labores de explotación.
- La impermeabilización del depósito de relaves, elimina el riesgo de filtraciones desde éste hacia el túnel. Se recomienda complementarlo con un sistema de piezómetros que monitoreo para la calidad del agua, alrededor de los componentes.
- El EIA ya plantea la instalación de la planta de tratamiento de agua residual industrial, para asegurar el cumplimiento de los LMP y ECAs. Debido a la posibilidad de captar mas agua que la prevista por fallas y oquedades, se debe asegurar que la planta tenga suficiente capacidad de tratamiento.
- Si bien los materiales presentes en el fondo de valle corresponden a paquetes de arcillas con potencias de hasta 30 m de espesor, aparentemente éstas no serían del todo impermeables debido al alto contenido de material orgánica y raíces y son altamente compresibles con resistencias a la penetración en muchos casos nulas que no limitarían una potencial infiltración. Según las perforaciones realizadas, la roca base se encuentra fracturada a muy fracturada con presencia de rasgos kársticos que facilitarían la potencial infiltración no solamente en el sector izquierdo del depósito de relaves. Por lo tanto, se recomienda la impermeabilización total del depósito de relaves de manera tal que se elimine este riesgo, y estudios que sustente la garantización de la misma.

Walsh

MUCHAS GRACIAS

Walsh