

**UM La Zanja:  
Estudio Geoquímico para Soporte a la Cuarta  
Modificatoria del EIA**

*Preparado para:*

Minera La Zanja SRL



**Preparado por:  
Amphos 21 Consulting Perú S.A.C**

Jr. Pietro Torrigiano 396  
San Borja, Lima 41, Perú  
51-1-592 1275

**Proyecto: 261\_15  
Revisión: 1  
Septiembre 2015**

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

## 1.0 INTRODUCCIÓN

Amphos 21 Consulting Perú SAC (Amphos 21) fue requerido por Minera La Zanja S.R.L. (MLZ) para realizar la evaluación geoquímica de los principales componentes implicados en la cuarta modificatoria del Estudio de Impacto Ambiental (4ta MEIA) a ser propuesta por MLZ ante las autoridades (MEM). La evaluación incluyó la ampliación del tajo Pampa Verde y su correspondiente depósito de material estéril (denominación utilizada para el desmonte de mina), así como la inclusión de una nueva labor subterránea denominada Alejandra.

### 1.1 Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo consistió en evaluar a través de modelos hidrogeoquímicos, el comportamiento de los materiales a ser extraídos y/o expuestos, provenientes de las minas Pampa Verde y Alejandra, Tomando en consideración los diseños propuestos por MLZ para la 4ta MEIA. Para ello se han planteado una serie de tareas que incluyen la revisión de la data geoquímica generada en estudios antecedentes, así como de los modelos de bloques y las bases de datos de taladros, su procesamiento e integración total de cara al modelamiento geoquímico de la calidad de aguas.

Como resultado de este estudio se presenta las estimaciones de las calidades de los futuros drenajes de los componentes de mina involucrados.

### 1.2 Metodología del Trabajo

La evaluación se planteó en función de la disponibilidad de información geoquímica del yacimiento e información específica de los estudios geoquímicos antecedentes, información que fue proporcionada por MLZ a Amphos 21 para el desarrollo de este estudio. Por tanto los resultados de ensayos a los que se hacen referencia en este documento

Como primer paso, se revisaron los estudios geoquímicos antecedentes en base a las campañas de muestreo desarrolladas por anteriores consultoras en referencia a la caracterización geoquímica de los materiales, teniendo en cuenta también los modelamientos hidrogeoquímicos previamente realizados. El objetivo ha sido orientar este estudio de cara a la actualización del modelamiento geoquímico, generando una correcta caracterización geoquímica de los materiales presentes.

Cabe precisar que aun cuando el tajo SPS no es objeto de este estudio, se ha revisado e integrado la información geoquímica disponible debido a que la labor subterránea Alejandra corresponde al mismo yacimiento de SPS.

En segundo lugar se revisaron las bases de datos de taladros de exploración del tajo Pampa Verde y de la labor subterránea Alejandra, complementándose para el tajo Pampa Verde con los datos proporcionados por su modelo de bloques. Con ello se establecieron los tipos de materiales y sus

proporciones, según los principales descriptores geológicos y químicos, para lo cual se ha utilizado el concepto de Unidad Geoambiental de estudio (UGA), la cual representa a los materiales (roca de mina) que pueden presentar características y comportamiento geoquímico similar en cuanto a su litología, mineralogía, alteración, e incluso por su contenido de azufre, y que tienen como destino cierto componente del emplazamiento minero (tales como depósitos de material estéril).

Una vez completada la revisión e integración de la data, se planteó el modelo conceptual de los procesos geoquímicos que se producirían en los distintos componentes evaluados, para pasar al planteamiento numérico y predicción de las calidades de los futuros efluentes.

Se desarrollaron modelos geoquímicos para predecir la calidad tanto de las aguas de drenaje en la futura galería de la Mina Alejandra, así como de calidad de los futuros efluentes del DME PV según la propuesta de modificación definida para la 4ta MEIA (descrita por MLZ), teniendo en consideración la información disponible sobre el diseño de estos componentes a la fecha de emisión de este reporte.

En primer lugar se identificaron los principales procesos que se desarrollarán por interacción del agua de infiltración con los distintos tipos de rocas identificadas y que determinarán la composición final de las aguas. El objetivo principal de este estudio predictivo fue determinar un rango de variación esperable para los parámetros más importantes en relación con la calidad del agua que drenará a partir de estos componentes.

### **1.3 Declaración de Responsabilidad**

Amphos 21 tiene como punto de partida para el desarrollo de los trabajos que se reportan, la información antecedente, generada para MLZ por compañías terceras, sobre lo cual Amphos 21 se exime de toda responsabilidad sobre su adecuada adquisición. Dicha información ha sido integrada para los cálculos que en las siguientes secciones se presentan y ha sido debidamente referenciada.

La interpretación de dicha información es total responsabilidad de Amphos 21 quien argumenta su uso en el marco del presente estudio, en base al rigor técnico de su equipo de trabajo. Sin embargo, se debe mencionar que para una mayor certidumbre de los cálculos desarrollados para la mina Alejandra (en especial referido a las concentraciones de metales) sería preciso disponer de un estudio de caracterización geoquímica que pudiera incluir resultados de celdas húmedas representativas de este.

## 2.0 UBICACIÓN Y CONTEXTO AMBIENTAL

Las instalaciones de la Unidad Minera La Zanja se ubican en el caserío La Zanja (también denominado La Redonda), en el distrito de Pulán, Provincia de Santa Cruz de Succhabamba, en la región suroeste del departamento de Cajamarca. La actual área de operación de la mina comprende las zonas altas de este distrito, a una altitud que varía entre los 2,800 y 3,811 msnm. Para una mejor visualización se ha elaborado el Plano 2.1.

### 2.1 Clima

Las condiciones meteorológicas de la zona del proyecto han sido evaluadas en Amphos 21 (2015a). Las evaluaciones comprendieron la revisión de los registros de precipitación en 10 estaciones climatológicas localizadas en el entorno del área de estudio a nivel regional y 02 estaciones a nivel local que son operadas por MLZ.

Las evaluaciones realizadas indican que la precipitación promedio anual para la zona de operaciones es de 1270 mm. Asimismo se realizaron análisis probabilísticos para determinar escenarios de año húmedo y seco para periodos de retorno de 100 años siendo estos 1670 y 793 mm respectivamente y que con respecto a la condición promedio representan +30% y -48% respectivamente. El régimen pluviométrico de la zona de estudio es típico de los andes peruanos, es decir la precipitación es estacional, con valores más altos entre octubre y abril (88% de la precipitación anual), periodo que se considera como temporada húmeda, y con valores más bajos entre Junio y Agosto (7% de la precipitación anual) periodo que se considera como temporada seca. Los meses de Mayo y Septiembre se consideran meses de transición.

### 2.2 Hidrología

La caracterización y análisis hidrológico para la zona de operaciones ha sido evaluada en Amphos 21 (2015a). Los componentes materia de análisis para la presente 4ta MEIA se encuentra ubicada principalmente en la cabecera de la microcuenca El Cedro, sin embargo, la expansión del DME Pampa Verde logra interaccionar levemente con la microcuenca de Los Ugares.

Como parte de los análisis se realizó el modelamiento hidrológico de las áreas de drenaje que interactúan con los componentes mineros existentes y que forman parte de la 4ta MEIA. El modelamiento hidrológico contemplo la morfometría de las áreas de drenaje, el uso y tipo del suelo. Los materiales de los componentes (DME y Tajos) fueron considerados dentro de las simulaciones a partir de características de cobertura y tipo de suelo. De este modo se determinó que la infiltración a través del DME Pampa Verde representa el 43% de la precipitación ( $1.5 \times 10^{-3}$  m/día) y que la variabilidad climática asociada se encontraría en un rango de +/- 30%.

## 2.3 Hidrogeología

La caracterización hidrogeológica del área de operaciones ha sido analizada en Amphos 21 (2015a). Dicha caracterización incluyó un programa de investigaciones de campo que permitió definir unidades hidrogeológicas y parámetros hidráulicos asociados en base a pruebas llevadas a cabo durante las investigaciones de campo. Asimismo se estableció el funcionamiento hidrodinámico del sistema de flujo subterráneo la que indica que la recarga de aguas se produce en zonas elevadas y el flujo subterráneo transcurre principalmente a través de las formaciones Llama y Porculla de una manera más o menos continua, generalizándose en descargas a los diferentes materiales cuaternarios. Dichos materiales cuaternarios tienen comportamientos acuíferos más constatables y actuarían como zonas de descarga de aguas en la zona.

Dentro de los componentes que interaccionan con el sistema de flujo subterráneo se cita a las labores subterráneas de Alejandra y el tajo Pampa Verde. Dicha interacción fue evaluada mediante modelamiento numérico de flujo subterráneo empleando el código FEFLOW. Los resultados de las simulaciones indicaron que las labores subterráneas de Alejandra alcanzaría máximos del orden de 35 l/s sobre todo en los meses 12 y 17 aproximadamente a raíz de la intersección de las labores con fracturas de entidad aunque estos flujos no son sostenibles y se atenúan rápidamente hasta aproximadamente 3 l/s. Por otra parte, el tajo de Pampa Verde mostrará caudales que no superarán los 2 l/s a lo largo de todas las fases consideradas.

## 2.4 Geología

### 2.4.1 Geología Regional

La litología comprende principalmente rocas de origen sedimentario y volcano-sedimentarias correspondientes al Terciario Inferior. La secuencia sedimentaria comprende a las formaciones geológicas integrantes del Grupo Gollarisquizga, de origen sílico-clásticas del Cretáceo Inferior; seguido de una secuencia pelítica carbonatada conformada por las formaciones Inca, Chúlec, Pariatambo, Puyllucana y Chota del Cretáceo Superior. En toda la región se desarrolla actividad de arco volcánico durante el Cenozoico, por lo que en la actualidad afloran los tufos de la Formación Llama y Porculla que corresponden al Grupo Calipuy. Sobre las rocas del Grupo Calipuy yace en discordancia la secuencia piroclástica del Volcánico Huambos. Finalmente, la edad Cuaternaria está representada por depósitos de origen fluvio-glacial, coluvial y aluvial.

La tectónica regional tiene un dominio combinado de esfuerzos tensionales y compresivos, manifestados en un sistema principal de fallas profundas y pliegues kilométricos que presentan un alineamiento de los planos de deslizamiento de las fallas similar al de la cadena de los Andes.

## 2.4.2 Geología Local

La geología local fue elaborada sobre la base de la cartografía geológica y estructural realizada durante los trabajos de campo; así como a partir de la información proporcionada por el Área de Geología de la MLZ. El Mapa Geológico que ilustra la disposición de las diferentes unidades litológicas se muestra en el Plano 2.2. A continuación se describen las unidades litológicas, depósitos no consolidados y materiales Antrópicos.

### Formación Llama

La litología que compone esta unidad consta de tobas dacíticas a riolíticas con intercalaciones de andesitas. Las tobas albergan los depósitos en de San Pedro Sur y Pampa Verde, y afloran ampliamente en el área de estudio. Esta secuencia volcánica yace discordante sobre las rocas cretácicas.

Cabe precisar que esta formación se encuentra relacionada con la mineralización primaria, destacando la presencia de pirita diseminada, la cual puede representar entre 1 y 3%.

### Formación Porculla

Litológicamente se compone de una secuencia de tufos y lavas andesíticas con intercalaciones de horizontes dacíticos-andesíticos. Contemporánea a esta fase volcánica, se emplazan cuerpos subvolcánicos asociados al desarrollo de un evento volcánico-magmático. Esta formación yace hacia la Formación Llama hacia el sur y este del depósito San Pedro Sur.

Al igual que en el caso de la Formación Llama, se encuentra relacionada con etapas de la mineralización en el yacimiento, presentándose característicamente pirita diseminada.

### Domos Intramineral

Se presentan intrusiones intraminerales de domos y stock subvolcánicos que afectan la secuencia de tufos. Son de composición riolítica, con texturas de flujo en los bordes y autobrechas en los contactos.

### Domos Tardíos

Se han formado después de la mineralización del depósito San. Pedro Sur. Afloran en los cerros Bacuyoc y Vizcachas, al sur y sureste de San Pedro Sur. Otro afloramiento se presenta al noroeste del área de estudio.

### Depósitos Aluviales (Q-a)

Están constituidos por bloques y gravas subredondeadas a redondeadas en una matriz arenosa y limosa. Estos depósitos están sujetos a procesos erosivos en las riveras fluviales. En el área de

estudio, estos depósitos se disponen a lo largo la quebrada El Cedro, Bancuyoc, La mina, Bramadero, San Lorenzo y río Pisit.

#### Depósitos Coluviales (Q-co)

Estos depósitos están asociados a masas de roca inestables y relacionadas a los afloramientos rocosos que se presentan en laderas escarpadas, con un grado de fracturación importante. Por la naturaleza de la roca (tobas principalmente) que se expone en la superficie se han generado coluviales de material fino (arcillas y limos) mostrándose como una unidad de baja permeabilidad.

#### Materiales Antrópicos

En la zona de estudio los materiales antrópicos están representados por:

- Material estéril: A estos materiales se asocia todos los materiales de desmonte de mina que no es considerado como mineral. Los principales depósitos de desmotes son Pampa Verde y San Pedro
- Pad de Lixiviación: Acorde al documento de Anddes, 2013 (Revisión, Procesamiento y Evaluación de Instrumentación Geotécnica) el material que se dispone corresponde a una clasificación SUCS de GP-GC, dicha granulometría presenta un 62% de gravas, 28% de arena y 10% de finos.

## 3.0 COMPONENTES DE ESTUDIO PARA LA CUARTA MEIA

A continuación se describe brevemente los componentes incluidos por MLZ para la 4ta MEIA y que han sido considerados dentro de la evaluación geoquímica por su relación con la extracción y almacenamiento de material mineralizado con presencia de sulfuros.

### 3.1 Depósito mineral

La Zanja está asociada genéticamente con uno de numerosos centros volcánicos del Mioceno que existen en el norte del Perú. La mineralización del oro está encasillada en una zona de alteración epitermal predominante con un alto grado de sulfuración, caracterizada por la presencia de cuarzo-alunita y caolinita con derrame masivo de sílice. Litológicamente, el área del depósito está dominada por dos tipos de rocas principales: tobas riolíticas a dacíticas y lavas andesíticas intercaladas con secuencias de tobas. Por otro lado, la oxidación post-mineralización del depósito La Zanja ha dado lugar al desarrollo de zonas discretas de minerales de sulfuro y óxidos, que se diferencian por las abundancias contrastantes de sulfuros primarios.

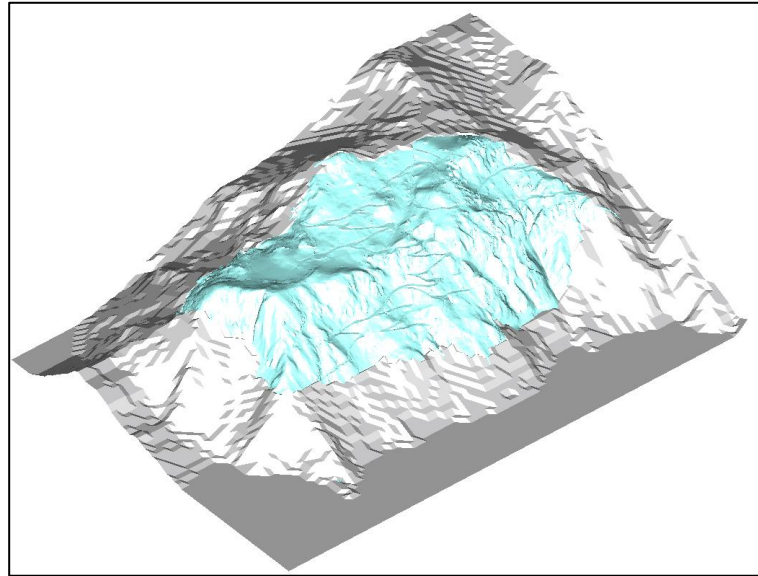
#### 3.1.1 Pampa Verde (PV)

Pampa Verde corresponde a una mina de oro y plata, cuya explotación se viene desarrollando a tajo abierto, su plan de minado considera como periodo de operación tres años que van desde el 2015 al 2017, con una proporción de mineral a material estéril de 3 a 2. La ley de oro ha sido calculada en 0.668 g/t y la ley de plata en 4.301 g/t. El yacimiento presenta zonas de óxidos y sulfuros, con predominancia de los sulfuros. La explotación de Pampa Verde implica la extracción de un total aproximado de 23 Mt de material entre material estéril y mineral.

El diseño de Pampa Verde considera las siguientes características geométricas: altura de bancos de 6 metros, 45° de ángulo interrampa, bermas de 6.5 m, a doble banco, 10% pendiente de rampas, y ancho de rampas de 13.5 m.

La ubicación del tajo puede visualizarse en el Plano 2.2. A continuación se presenta una vista 3D de Pampa Verde.





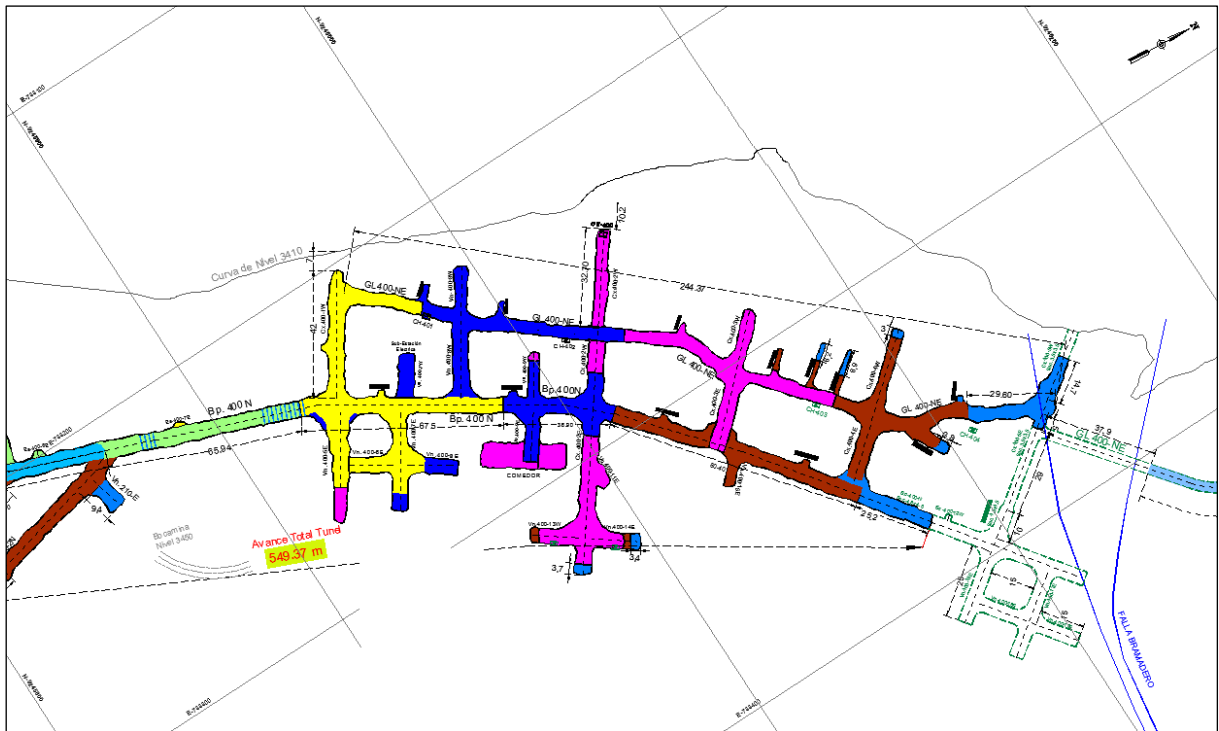
**Figura 3.1 Vista 3D de la mina Pampa Verde.**

### **3.1.2 Alejandra**

Alejandra corresponde a una mina de oro y plata, cuya explotación se prevé desarrollar a través de labores subterráneas, su plan de minado propone un periodo de operación de cuatro años (2015 al 2018), con una proporción de mineral a material estéril de 4 a 1. El tonelaje total estimado de los recursos medidos, indicados e inferidos es de 1.8 Mt con una ley promedio de oro de 15.55 g/t y de plata de 240.74 g/t. Se estima el ritmo de producción de mina en 1,000 TMD.

De acuerdo con el ancho de las estructuras mineralizadas, se ha considerado efectuar la variante de tres métodos de explotación corte y relleno ascendente mecanizado, tajeo por subniveles y el método de bancos con relleno. La mina contará con un sistema de drenaje para descarga de los efluentes a superficie, mediante el bombeo desde pozas ubicadas a diferentes niveles (pozas con sedimentadores).

El material estéril inicialmente será utilizado para rellenar los tajos en producción y el sobrante se acumulara en las cámaras de carguío para transportarlo hasta los DME (Depósito material estéril) en operación. Luego el material estéril será utilizado para relleno de las propias galerías.



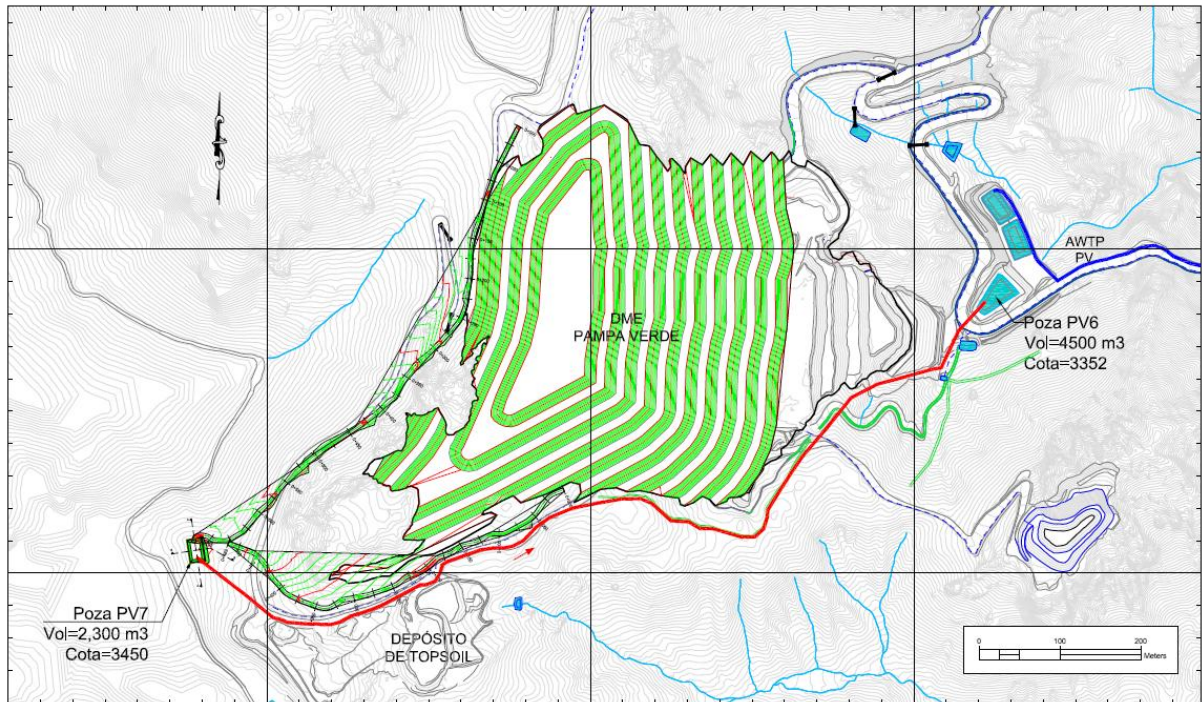
**Figura 3.2** Vista en planta de galerías subterráneas de la mina Alejandra

## 3.2 Estructuras de almacenamiento de material estéril

### 3.2.1 Depósito de Material Estéril Pampa Verde

La Etapa 2 del Depósito de Material Estéril del tajo Pampa Verde (DME PV), correspondiente a la ampliación propuesta por MLZ para esta 4ta MEIA, estará ubicado al sur-oeste de la Etapa 1 del mismo depósito y comprende un área total aproximada de 90,000 m<sup>2</sup>.

Según lo indicado, el perímetro de la ampliación incluirá canales de derivación que permitan el correcto manejo de agua superficial. La capa superior de la ampliación alcanzará el nivel 3540 msnm y tendrá una capacidad aproximada de 2,053 Mm<sup>3</sup> de material estéril. Adicionalmente, la base del depósito contará con un sistema de subdrenaje para captar el flujo de las aguas subterráneas, las cuales serán transportadas a una poza de control (aguas abajo del depósito). Otro sistema de drenaje será instalado a nivel de la fundación para captar las aguas de contacto con el material a ser depositado. Mediante ambos sistemas de colección se podrá monitorear la estabilidad química del depósito.



**Figura 3.3** Vista en planta del DME PV

## 4.0 REVISIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA DATA GEOQUÍMICA ANTECEDENTE

### 4.1 Estudios Geoquímicos Antecedentes

La documentación alcanzada por Amphos 21 incluyó los siguientes documentos con información geoquímica relevante:

- Schlumberger Water Services (2013), Evaluación del Potencial de Drenaje Ácido de Roca para el Tajo San Pedro Sur, Agosto de 2013.
- Water Management Consultants (2007), Estudios Hidrológicos, hidrogeológicos y geoquímicos en Complemento al EIA, Julio de 2007.
- Knight Piésold Consulting (2005), San Pedro Sur and Cerro Pampa Verde Waste Rock and Pit Wall Rock Characterization Study.

De los documentos revisados se puede dar cuenta de hasta cuatro campañas de muestreo y caracterización geoquímica, realizado a partir del muestreo de diversos tramos de los taladros de exploración, tanto para el tajo Pampa Verde, como para el Tajo San Pedro Sur. En su mayor parte, estas investigaciones fueron recopiladas y presentadas en el Capítulo 3 del estudio de Evaluación del Potencial de Drenaje Ácido de Roca para el Tajo San Pedro Sur (SWS, 2013). Los reportes de la data geoquímica proporcionada por MLZ pueden ser consultados en el Anexo A.

Cabe destacar que, por lo reciente de su planteamiento, no existe ningún estudio geoquímico previo sobre la explotación subterránea Alejandra, cuya caracterización y modelamiento geoquímicos sí son objeto de este documento, y estarán referenciados a la información del Tajo San Pedro Sur, con el que está relacionado. A continuación se describe brevemente estas campañas:

- El primer grupo de datos se registran en reportes realizados por la PUPC (Pontificia Universidad Católica del Perú) el año 2004, incluyó un total de 36 muestras de taladros del tajo Pampa Verde, y 20 muestras del tajo San Pedro Sur, que fueron evaluadas a través del ensayo ABA (balance ácido-base) y pH en pasta.
- El segundo grupo de datos, corresponde a una campaña realizada por KP (Knight Piesold) en el año 2005, incluyó un total de 27 muestras de taladros del tajo San Pedro Sur, que fueron evaluadas a través del ensayo ABA y pH en pasta. Adicionalmente se llevaron a cabo ensayos cinéticos de celdas húmedas sobre 2 de las muestras.
- El tercer grupo de datos, corresponde a la campaña realizada por WMC (Water Management Consultants) en el año 2007, incluyó 10 muestras de taladros del tajo Pampa Verde y 13 muestras del tajo San Pedro Sur. Dichas muestras fueron evaluadas mediante ensayos WRA (análisis de roca total), ensayos ABA y pH en pasta, así como ensayos SPLP (lixiviación por precipitación sintética). Adicionalmente se llevaron a cabo ensayos cinéticos en celdas húmedas sobre una muestra de compósito generada con materiales de las muestras de San Pedro Sur.
- El cuarto grupo de datos, corresponde a la campaña realizada por SWS (Schlumberger Water Services) en el año 2013, incluyó 23 muestras de taladros del tajo San Pedro Sur, que fueron evaluadas a través de ensayos WRA, XRF (Fluorescencia de rayos X), ABA y pH en pasta, y ensayos SPLP. Además se analizó la mineralogía de las muestras mediante XRD (Difracción de rayos X), y se realizaron ensayos cinéticos de celdas húmedas sobre cuatro muestras de compósito.

Los materiales en cada tajo se evaluaron en dichos estudios según la alteración mineral presente y según la zona mineral a la que pertenecen las muestras. Los resultados obtenidos de la caracterización geoquímica se pueden resumir como:

- Del grupo de 36 muestras analizadas por la PUPC en la primera campaña, el 80% de las muestras registró valores de azufre total por debajo del límite de detección (0.5%). Sin embargo, casi la totalidad de las muestras presenta potenciales de neutralización negativos, por lo que el 100% fueron determinadas como potenciales generadoras de drenaje ácido, mediante el ensayo ABA. En ese sentido, el pH en pasta reporta valores ligeramente ácidos, entre 4.5 y 6.5.
- Del grupo de 27 muestras analizadas por KP en la segunda campaña:
  - Respecto al ABA, el 90% fueron determinadas como potenciales generadoras de drenaje ácido, dado que en general registraron altos contenidos de sulfuros (1.1-8%) y nulo potencial de neutralización. El pH en pasta resultó en el rango ácido (2.7-4.7).
  - En cuanto a las dos celdas de humedad, el pH de los lixiviados evoluciona hacia el rango ácido, a lo largo de las 20 semanas muestreadas.
- Del grupo de 23 muestras analizadas por WMC en la tercera campaña:
  - Respecto al ensayo ABA, el 90% fueron determinadas como potenciales generadoras de drenaje ácido, dado que en general registraron altos contenidos de sulfuros (0.7-7.7%) y bajo o nulo potencial de neutralización. El pH en pasta resultó en el rango ácido a ligeramente ácido (3.4-5.7).
  - En cuanto al ensayo SPLP reportó extractos con bajas conductividades y bajos contenidos de metales, en general a nivel de trazas.
  - Respecto a la celda de humedad, el pH de los lixiviados, al igual que para las muestras de KP, evoluciona hacia el rango ácido, pero alcanza valores aún menores.
- Del grupo de 23 muestras analizadas por SWS en la cuarta campaña:
  - Respecto al ensayo ABA, el 95% fueron determinadas como potenciales generadoras de drenaje ácido aunque algunas muestras presentaban muy poco azufre como sulfuro, debido a que los potenciales de neutralización reportados eran nulos o negativos. El pH en pasta resultó en el rango ligeramente ácido (4-5.4).
  - En cuanto al ensayo SPLP reportó bajos contenidos de metales, al igual que sulfatos.
  - El análisis XRD semicuantitativo de las mismas muestras reportó: cuarzo (48-90%), caolinita (1-29%), alunita (1-20%) y piritita (0.8-4.8%).
  - Por último, para las 4 celdas de humedad desarrolladas, el pH de los lixiviados, al igual que para las muestras de KP, evoluciona ligeramente hacia el rango ácido. Destaca un fuerte descenso en la concentración del cobre en las primeras semanas.

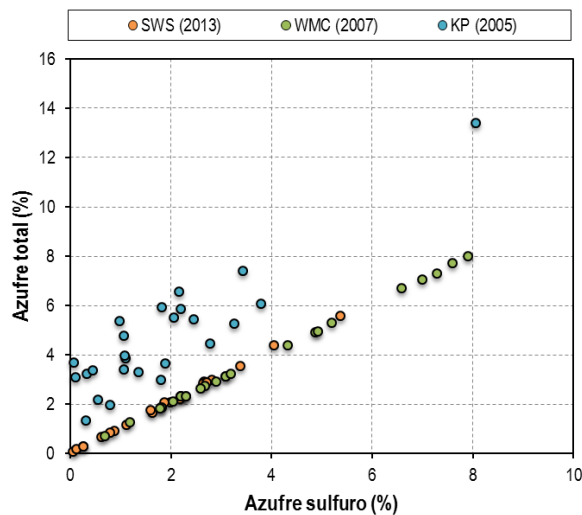
Además SWS y WMC realizaron modelamientos hidrogeoquímicos para estimar la calidad de los efluentes que se esperaría de estos componentes mineros de estudio. A continuación se resume los resultados presentados y se comenta las implicancias de estos resultados en esta etapa del Estudio Geoquímico para la Cuarta Modificatoria del EIA.

## 4.2 Interpretación de la Data Geoquímica Antecedente

Los resultados de ensayos de los estudios anteriores, evaluados de forma integral, indican que tanto por el contenido de sulfuros como por el potencial de neutralización (prácticamente nulo), la gran

mayoría de las muestras seleccionadas son potencialmente generadoras de acidez. Uno de los problemas radica en que la mayor parte de los potenciales de neutralización reportados son negativos, lo que indica que, no contienen minerales capaces de neutralizar la acidez (carbonatos) y además la generación de acidez ya se hubo manifestado en las muestras seleccionadas. La data compilada puede consultarse en el Anexo B.1.

Por otro lado, a modo de control de calidad sobre los datos evaluados, se ha realizado una comparación entre el azufre total y el azufre como sulfuro para las distintas campañas, tal y como se muestra en la Figura 4.1. En ese sentido, es importante destacar que no se muestran graficados los resultados de la campaña de 2004 de la PUPC, debido a inconsistencias detectadas en los resultados de la especiación del azufre.



**Figura 4.1 Comparativa de resultados entre azufre total y azufre como sulfuro en función de las distintas campañas evaluadas.**

Los resultados de esta comparativa muestran un excelente ajuste de los datos para las campañas de muestreo y caracterización geoquímica realizadas por WMC y SWS, con todos los valores a lo largo de una recta. Por otro lado, los resultados de la campaña elaborada por KP presentan una cierta dispersión, aunque se tienen una tendencia general con una pendiente igual a la del resto de datos evaluados en dicha gráfica.

#### 4.2.1 Ensayos Estáticos

A continuación se muestran los resultados de la data analizada, para cada uno de los tajos.