

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL PROYECTO CERRO NEGRO  
OESTE - CAJAMARCA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO GEÓLOGO**

**AUTOR:**

**Bach. Ispilco Chuquimango Ricardo**

**ASESOR:**

**Dr. Quispe Mamani Crispín Zenón**

*Cajamarca - Perú*

*- 2023 -*



## CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca certifica:

La originalidad de la tesis denominada **CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL PROYECTO CERRO NEGRO OESTE - CAJAMARCA**, realizada por el Bachiller en Ingeniería Geológica **Ricardo Ispilco Chuquimango**, de acuerdo al resultado del análisis reportado por su asesor Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani con el software antiplagio Urkund que indica **4% (cuatro por ciento)** de índice de similitud, asignándole el código D172793879.

Se expide el presente certificado para los fines pertinentes.

Cajamarca, 14 de agosto del 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

  
Dra. Yvonne Katherine Fernández  
DIRECTORA

Cc.  
Archivo  
c9723ri

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por hacer realidad esta investigación, por permitirme realizar este informe científico, que me permitirá obtener el Título de Ingeniero Geólogo; igualmente agradezco a mis padres, por su apoyo incondicional, a mi Alma Máter, Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería - Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, por los conocimientos recibidos y experiencia que obtuve durante mi formación, además por la oportunidad de alcanzar una meta más; a los docentes que me apoyaron en mi formación pre-profesional.

Hago un reconocimiento de sinceridad y gratitud al Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani, Asesor de Tesis y docente de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica - UNC.

Finalmente, a todas aquellas personas, que, de una u otra manera, contribuyeron para hacer realidad esta investigación.

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente tesis profesional a Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy. A mis padres José Santos y María Angelina quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A mis hermanos Dony, Saúl, Wilman, Elvia y Dalila por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas. Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi esposa Mally y mis hijos Nicole, Shonel, Rony y Bryana, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, por ser mi motivación en cada momento, siempre los llevo en mi corazón.

## ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTOS .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE .....	iv
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
CAPÍTULO I:.....	13
INTRODUCCIÓN .....	13
CAPÍTULO II: .....	15
MARCO TEÓRICO .....	15
2.1    ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	15
Internacional.....	15
Nacional .....	15
2.2    BASES TEÓRICAS .....	15
Marco Conceptual .....	16
2.3    DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	16
Yacimiento .....	16
Tajo.....	16
Alteración .....	16
Alteración Argílica.....	17
Alteración Silíceas .....	17
Hidrogeología.....	17
El agua en el terreno.....	17
Acuífero.....	17
Acuífero libre .....	18
Acuífero confinado.....	18

Acuífugo.....	18
Acuitardo.....	18
Acuicludo .....	19
Porosidad.....	19
Grado de saturación.....	19
Permeabilidad.....	20
Ensayo Lugeon.....	20
Ensayo Lefranc.....	21
Gradiente hidráulico.....	21
Transmisividad.....	22
Conductividad Hidráulica .....	22
Coeficiente de almacenamiento .....	22
Ley de Darcy .....	22
Nivel piezométrico .....	23
Superficies piezométricas.....	23
Hidroquímica.....	23
Fisicoquímica .....	23
CAPÍTULO III: .....	24
MATERIALES Y MÉTODOS .....	24
3.1    UBICACIÓN.....	24
3.2    ACCESIBILIDAD .....	24
3.3    CLIMA .....	24
3.4    FAUNA.....	26
3.5    VEGETACIÓN.....	26
3.6    TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	26
Tipos de investigación.....	26
Diseño de la investigación.....	27
3.7    PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	28
Trabajo de campo .....	28
Cartografiado geológico y toma de datos.....	28
Logueo geológico e hidrogeológico .....	28
Muestreo y descripción .....	28
Aguas Superficiales.....	28

Aguas subterráneas.....	29
Análisis de muestras.....	29
Trabajo de gabinete.....	29
Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	30
3.8    GEOMORFOLOGÍA.....	30
Fisiografía.....	31
Hidrología.....	32
Relieve.....	32
3.9    GEOLOGÍA HISTÓRICA.....	33
3.10   GEOLOGÍA REGIONAL.....	34
Estratigrafía.....	36
Basamento Cretáceo.....	36
Volcánicos Llama.....	36
Volcánicos Porculla.....	37
Complejo Volcánico Yanacocha.....	37
Volcánicos Regalado.....	37
Volcánicos Huambos.....	37
Alteración.....	40
Estructuras Geológicas.....	40
3.11   HIDROLOGÍA.....	41
Drenaje Superficial.....	41
Datos de caudales de agua superficial.....	42
3.12   HIDROGEOLOGÍA.....	44
Información disponible.....	44
Unidades Hidrogeológicas.....	47
Conductividad Hidráulica.....	49
Niveles y direcciones de flujo de aguas subterráneas.....	51
Recarga y descarga de agua subterránea.....	52
Recarga de agua subterránea.....	52
Descarga de agua subterránea.....	53
Balance de agua.....	56
3.13   HIDROQUÍMICA.....	57
Información Disponible.....	57
Aguas superficiales.....	57

Aguas Subterráneas .....	58
3.14 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO PREDICTIVO DEL PROYECTO CERRO NEGRO OESTE....	59
Desarrollo del modelo .....	59
Período de simulación .....	60
Recarga estacional.....	61
3.15 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES SIMULADAS DEL PROYECTO CERRO NEGRO OESTE.....	61
3.16 SIMULACIÓN DEL DRENAJE DE LOS TAJOS .....	63
3.17 SIMULACIÓN DE LOS IMPACTOS POTENCIALES ASOCIADOS A LAS INSTALACIONES DE CERRO NEGRO OESTE .....	64
Impactos simulados sobre el flujo base.....	64
Comparación del flujo base simulado .....	65
Balance de agua.....	67
3.18 IMPACTOS SIMULADOS SOBRE LOS NIVELES AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	71
3.19 INCERTIDUMBRE DEL MODELO .....	71
3.20 IMPACTOS POTENCIALES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA.....	72
3.21 PLAN DE MONITOREO .....	72
CAPÍTULO IV:.....	75
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	75
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	75
Análisis de resultados de aguas superficiales.....	75
Análisis de resultados de aguas subterráneas .....	76
4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	79
4.3 PERSPECTIVAS FUTURAS .....	80
CAPÍTULO V:.....	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
5.1 CONCLUSIONES .....	81
5.2 RECOMENDACIONES .....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83
LINKOGRAFÍA.....	84
ANEXOS.....	85

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Detalles de las subcuencas interceptadas por el desarrollo del tajo Cerro Negro Oeste y sus instalaciones	42
Tabla 2. Estimaciones históricas de caudales en las cercanías del yacimiento Cerro Negro Oeste	43
Tabla 3. Resumen de perforaciones para el Proyecto Cerro Negro Oeste	46
Tabla 4. Resumen de los resultados de las pruebas de permeabilidad para unidades de roca similares en el área de Cerro Quilish – Cerro Negro	49
Tabla 5. Resumen de los valores de conductividad hidráulica para las unidades hidrogeológicas de Yanacocha	50
Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos propuestos	59
Tabla 7. Precipitación promedio trimestral para el área de operación de MYSRL	61
Tabla 8. Instalaciones simuladas en el modelo predictivo del EIAM del Proyecto Cerro Negro	61
Tabla 9. Cronograma del desarrollo de las instalaciones simuladas del Proyecto Cerro Negro Oeste	62
Tabla 10. Variaciones del flujo base simulado para las simulaciones del modelo de Cerro Negro Oeste al final del proyecto, temporada seca de 2018	68
Tabla 11. Balance de agua subterránea para los componentes del proyecto	70

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Minera Yanacocha (2016).	25
Figura 2: Vizcacha ( <i>Lagidium viscacia</i> ), roedor que habita en la zona de Cerro Negro, Mina Yanacocha.	26
Figura 3: Vegetación a los alrededores de Proyecto Cerro Negro, Mina Yanacocha.	27
Figura 4: Topografía Tajo Cerro Negro, Mina Yanacocha.	32
Figura 5: Plano de ubicación del distrito de Yanacocha. Fuente: Alex Merino (2005).	38
Figura 6: Columna estratigráfica generalizada. Fuente: Alex Merino (2005).	39
Figura 7: Correlación del grupo Calipuy (Turner, 1997).	40
Figura 8: Balance Hídrico Subterráneo	57
Figura 9: Diagrama de Piper	77
Figura 10: Diagrama de Schoeller	78

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>Ag</b>	:	Plata
<b>Au</b>	:	Oro
<b>Bo</b>	:	Boro
<b>Ca</b>	:	Calcio
<b>CNE</b>	:	Cerro Negro Este
<b>CNW</b>	:	Cerro Negro Oeste
<b>ENCAA</b>	:	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua
<b>EIA</b>	:	Estudio de Impacto Ambiental
<b>EIAM</b>	:	Estudio de Impacto Ambiental
<b>Ma</b>	:	Millones de años
<b>Mg</b>	:	Magnesio
<b>MYSRL</b>	:	Minera Yanacocha Sociedad de Responsabilidad Limitada
<b>Mo</b>	:	Molibdeno
<b>Na</b>	:	Sodio
<b>Pb</b>	:	Plomo
<b>PETS</b>	:	Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro
<b>PH</b>	:	Potencial de Hidrogenión
<b>S</b>	:	Coefficiente de Almacenamiento
<b>SWS</b>	:	Schlumberger Water Services
<b>Sy</b>	:	Rendimiento Específico
<b>STD</b>	:	Sólidos Totales Disueltos
<b>UL</b>	:	Unidades Lugeon
<b>Zn</b>	:	Zinc
<b>BRGM</b>	:	Bureau de Recherches Géologiques et Minières

## RESUMEN

El control geológico sobre el agua subterránea en el área de Cerro Negro Oeste es consistente con el modelo conceptual hidrogeológico aplicado a otras áreas de la propiedad de MYSRL. En el área de Cerro Negro Oeste, las unidades con alteración silíceas (principalmente sílice masiva asociada al cuerpo mineralizado) se encuentran restringida lateral y verticalmente por las unidades con alteración argílica. De acuerdo al modelo hidrogeológico del área de operación de MYSRL (WMC, 2006), las unidades de mayor permeabilidad y presencia de caudales significativos potenciales de agua subterránea están asociados a las unidades con alteración silíceas, que conforman el yacimiento de Cerro Negro Oeste. Las unidades de menor permeabilidad y caudal de agua subterránea reducido están asociados a las unidades con alteración argílica y al basamento rocoso fresco presente en la zona circundante. Las unidades con alteración silíceas y argílica pueden tener una diferencia de 1 a 3 órdenes de magnitud en la conductividad hidráulica dado que la alteración argílica y el basamento rocoso fresco tienen una conductividad mucho menor. La relación espacial entre las unidades de alteración de conductividad hidráulica y topografía contrastantes controla tanto la distribución de la carga de agua subterránea como el caudal de agua subterránea. La calidad de las aguas superficiales y subterráneas se ha obtenido a partir de los resultados del programa de monitoreo ambiental de MYSRL tanto a manantiales y a piezómetros respectivamente. La presente investigación ayudará a interpretar mejor la hidrogeología del tajo Cerro Negro Oeste.

**Palabras clave:** Hidrogeología, Yacimiento, Alteración silíceas, Alteración argílica, Permeabilidad, Conductividad hidráulica, Hidroquímica, Piezómetro.

## ABSTRACT

Geological control over groundwater in the Cerro Negro Oeste area is consistent with the hydrogeological conceptual model applied to other areas of the MYSRL property.

In the area of Cerro Negro Oeste, the units with siliceous alteration (mainly massive silica associated to the mineralized body) are restricted lateral and vertically by the units with clay alteration. According to the hydrogeological model of the area of operation of MYSRL (WMC, 2006), the units with the greatest permeability and presence of significant potential groundwater flows are associated with the siliceous alteration units, which make up the Cerro Negro Oeste reservoir. The units with lower permeability and reduced groundwater flow are associated to the units with clay alteration and to the fresh rocky basement present in the surrounding area. The units with siliceous and clayey alterations can have a difference of 1 to 3 orders of magnitude in the hydraulic conductivity since the clay alteration and the fresh rocky basement have a much lower conductivity. The spatial relationship between the units of alteration of hydraulic conductivity and contrasting topography controls both the distribution of the groundwater load and the groundwater flow. The quality of surface and groundwater has been obtained from the results of the MYSRL environmental monitoring program, both at springs and at piezometers, respectively. The present research will help to better interpret the hydrogeology of the Cerro Negro Oeste pit.

**Key words:** Hydrogeological, Reservoir, Silicic alteration, Clay alteration, Permeability, Hydraulic conductivity, Hydrochemistry, Piezometer.

## **CAPÍTULO I:**

### **INTRODUCCIÓN**

En la presente investigación se pretende conocer la caracterización hidrogeológica y la simulación de los impactos potenciales, así como la composición fisicoquímica del agua de los manantiales, interpretar y determinar su clasificación hidroquímica, además de mapeos geológicos, cortes y secciones geológicas, agenciándonos de estudios ejecutados en la zona de estudio.

Como parte del plan de manejo operacional en el proyecto Cerro Negro, Minera Yanacocha S.R.L. (MYSRL), desarrolló un modelo numérico hidrogeológico que permita simular las condiciones hidrogeológicas de las operaciones existentes y propuestas en Yanacocha con el fin de evaluar los impactos potenciales asociados al desarrollo minero propuesto. Los resultados del modelo desarrollado en el 2005 y 2006 sirvieron de base para la elaboración del plan de mitigación desarrollado por MYSRL. Para garantizar que Yanacocha mantenga un flujo base suficiente en las cuencas hidrográficas circundantes durante la temporada seca, tanto durante las operaciones mineras como después del cierre de mina. El plan de mitigación también considera el aumento del flujo base durante la temporada seca en las áreas posibles. Como parte del desarrollo de los Estudio de Impacto Ambiental Modificados, Schlumberger Water Services - SWS ha sido encargada para evaluar la hidrogeología del área del proyecto que abarca 50 km<sup>2</sup> y modificar el modelo numérico existente con el fin de simular el impacto potencial de las instalaciones propuestas en la hidrogeología del área, dando énfasis a los impactos potenciales sobre el flujo base y los niveles de agua subterránea en las cuencas hidrográficas circundantes.

A través de la aplicación de conocimientos de hidrogeología, geología y fisicoquímica se estudiará el comportamiento de las aguas subterráneas del área en estudio, para posteriormente caracterizar, analizar e interpretar la hidrogeología de dicha área de estudio. Por ende, se formuló la siguiente pregunta: ¿Cuál es la caracterización hidrogeológica y el modelo hidrológico e hidrogeológico del Tajo Cerro Negro?

Para lo cual se tiene la siguiente hipótesis: El comportamiento del nivel freático y la hidroquímica de las aguas superficiales y subterráneas del Proyecto Cerro Negro, son variables, a medida que va realizándose la extracción del mineral.

La justificación del estudio es dar un aporte geológico sobre la hidrogeología del área del

Tajo Cerro Negro Oeste. Siendo el agua un recurso vital para la vida y es de suma importancia tener conocimiento de su comportamiento hidrogeológico y de los parámetros fisicoquímicos e intervenir ante posibles alteraciones del agua de estos manantiales debidos a la práctica de la minería, hecho que servirá como información a medioambientalistas, estudiantes y otros.

Este trabajo de investigación servirá de base para futuras investigaciones, en las que se necesiten comprender la hidrogeología de las zonas anteriormente mencionadas, ya que esta es de suma importancia para realizar un análisis e interpretación detallados. Esta tesis abarca temas sobre geología, fisicoquímica e hidrogeología. El tiempo en que se ha realizado esta investigación fue de seis meses aproximadamente. Se tiene como limitaciones la ausencia estudios preliminares. Teniendo como objetivo general el determinar el comportamiento hidrogeológico del Tajo Cerro Negro y como objetivos específicos el cartografiado geológico e hidrogeológico del área, análisis e interpretación de datos hidroquímicos, elaborar un modelo hidrológico e hidrogeológico y evaluar los impactos potenciales de las instalaciones de Cerro Negro Oeste.

Como descripción de los capítulos se tiene: En el Capítulo II. Marco Teórico, se encuentran los antecedentes teóricos, bases teóricas y la definición de términos básicos en la investigación como: acuífero libre y confinado, grado de saturación, permeabilidad, gradiente hidráulico, transmisividad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, superficies piezométricas, hidroquímica, etc. En el Capítulo III. Materiales y Métodos, se ubicaron las zonas de investigación y se describió el procedimiento de la investigación. En el Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados, se realizó el análisis de resultados y la contrastación de la hipótesis. El Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones están en función de los objetivos inicialmente propuestos, y finalmente las referencias bibliográficas

## **CAPÍTULO II:**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes teóricos de la investigación**

##### **Internacional**

- Lorax, (2013). El yacimiento de Cerro Negro está contenido en un lente de sílice presente entre las cotas 3500 msnm y 3800 msnm. La forma de sílice está ubicada aproximadamente 2 km al oeste de la ubicación proyectada para el tajo La Quinoa III, y está aislado del bloque de sílice principal de Yanacocha por 2 km de roca con alteración argílica y/o roca regional. No se encontró agua subterránea en el depósito por lo que el tajo fue minado sin requerir un programa de desagüe.

##### **Nacional**

- Mike Wilton, (2013). El modelo en estado transitorio simula condiciones variables en el tiempo para los niveles freáticos, tasas de recarga, y caudales de desagüe. El sistema de agua subterránea no se encuentra en equilibrio por lo que resulta importante la capacidad del acuífero para almacenar o liberar agua subterránea. Esta característica es controlada por su coeficiente de almacenamiento. Como las unidades hidrogeológicas asociadas a los cuerpos de sílice del área de operaciones de Minera Yanacocha son unidades no confinadas, la capacidad de almacenamiento es controlada por el rendimiento específico,  $S_y$ .
- Mike McClone, (2013). El punto QSCLL2 se ubica en el Río Rejo, en el lugar en que actualmente se encuentra la Instalación de Control de Sedimentos de Río Rejo y tiene un área de captación de 58 km<sup>2</sup>. Se midió flujos de 64 l/s y 63 l/s inmediatamente aguas abajo de la Estructura de Control de Sedimentos de Río Rejo (punto designado como RSA2) el 27 de agosto del 2004 y 23 de septiembre del 2005, respectivamente. A fines del 2003, el punto de monitoreo QSCLL2 fue inundado por el reservorio de la Estructura de Control de Sedimentos de Río Rejo y, por lo tanto, se estableció un nuevo punto de monitoreo designado como QSCLL3, aproximadamente 300 m aguas abajo de QSCLL2 (aguas abajo de la Estructura de Control de Sedimentos de Río Rejo). Los resultados muestran que el caudal base en QSCLL2 es aproximadamente de 50 a 80 l/s.

#### **2.2 Bases teóricas**

Para realizar esta investigación se han tenido en cuenta las siguientes bases teóricas:

### **Marco Conceptual**

- El tajo Cerro Negro Oeste se ubica al Oeste del complejo Cerro Negro y al Sur del Tajo Este, explotado anteriormente y cuyas operaciones concluyeron en marzo de 2005. El cronograma de desarrollo del proyecto inició a mediados de 2011 con la excavación de una rampa de acceso hasta la principal porción del tajo en la ladera oriental de Cerro Negro Oeste. La operación del proyecto culminó a finales de 2017.
- De acuerdo al plan minero propuesto, el total de material explotado es aproximadamente 50,567 kTon durante una vida útil propuesta para la mina de 68 meses. El tajo propuesto se diseñó en torno a bancos de diez metros. Posee dos depresiones minadas hasta una profundidad de 3,515 msnm y otra al sur hasta 3,545 msnm. La cota más alta por el lado Este del tajo es de 3,745 msnm y por el lado Sureste es 3,815 msnm casi al contacto con la vía de acceso al tajo. El tajo Oeste cubra una extensión total de 39.288 ha.
- Los trabajos de ampliación se encuentran incorporados dentro del periodo 2011 al 2017, para lo cual se realizó el minado del tajo Cerro Negro Oeste con su ampliación, la construcción del depósito de desmonte Cerro Negro y su ampliación, la construcción de la pila de lixiviación (también llamada Pila La Quinoa Etapa 8), posible extracción de cuatro canteras como material de préstamo, extracción de la cantera Francesca (colindante con el tajo Este), que permitieron obtener material de préstamo, ampliación del depósito de suelo superficial Noemí y uso del depósito Canta.

### **2.3 Definición de términos básicos**

#### **Yacimiento**

Lugar o terreno donde se ubican minerales de rendimiento económico o fósiles. Sinónimo: Depósito mineral, cuerpo mineralizado, etc. Ej. Yacimiento minero, yacimiento petrolífero, yacimiento acuífero, yacimiento fosilífero. (Dávila, 2011).

#### **Tajo**

Excavación superficial o subterránea sobre la que se desarrolla el trabajo de extracción de mineral en las minas ya sea superficial o subterránea. (Dávila, 2011).

#### **Alteración**

Proceso de metamorfismo, mediante el cual los minerales de las rocas se alteran por acción de las soluciones hidrotermales a alta temperatura. Las alteraciones hidrotermales son indicadores de la presencia de yacimientos minerales de origen

hidrotermal. (Dávila, 2011).

### **Alteración Argílica**

Importantes cantidades de caolinita, montmorillonita, smectita o arcillas amorfas, principalmente reemplazando a plagioclasas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o también Alteración Hidrotermal agilizada. Hay una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas. La alteración argílica intermedia representa un grado más alto de hidrólisis relativo a la alteración propilítica. En casos extremos la roca puede ser transformada a una masa de sílice oquerosa residual. (Dávila, 2011).

### **Alteración Silíceea**

Caracterizada por la destrucción total de la mineralogía original. La roca queda convertida en una masa silíceea. Representa el mayor grado de hidrólisis posible. Los rellenos hidrotermales de espacios abiertos por cuarzo "no son" una silicificación. (Dávila, 2011).

### **Hidrogeología**

La hidrogeología es la ciencia, parte de la geología, que estudia el agua subterránea y su interacción con el medio geológico. Los estudios hidrogeológicos brindan información de gran valor para una mina durante todas sus fases: exploración, prefactibilidad, factibilidad, diseño, desarrollo, operación y el cierre. (FCIHS, 2008).

### **El agua en el terreno**

Se considera que el medio físico donde se mueve el agua y se realizan todos los fenómenos relacionados con la hidrología subterránea es un ambiente geológico. Esto significa que un estudio estructural, litológico y textural de las formaciones litológicas o rocas en las que se mueve el agua, constituyen un paso previo al estudio hidrológico de una región. (FCIHS, 2008).

### **Acuífero**

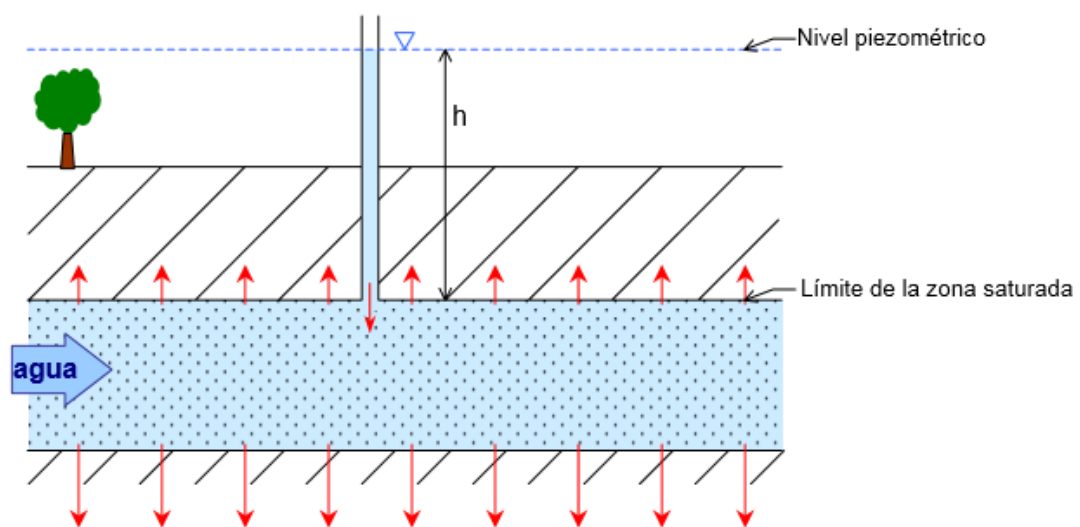
Formación geológica que permite el almacenamiento y el desplazamiento o transmisión del agua por poros o por grietas, proporcionando cantidades apreciables de agua para su explotación de una manera fácil y económica. Ejemplos: gravas y arenas no consolidadas, areniscas poco cementadas, rocas altamente fracturadas o meteorizadas, formaciones calcáreas muy karstificadas. (FCIHS, 2008).

### **Acuífero libre**

Llamamos acuífero libre aquel en que el límite de la zona saturada coincide con la interfaz donde empiezan los granos o poros sin agua, de forma que nuevos aportes de agua simplemente elevarían esta interfaz a una nueva posición más alta; o a la inversa, si extrajésemos agua, esta interfaz bajaría. Obsérvese nuevamente que, en la situación descrita, la característica de la superficie freática es que la presión que se aplica sobre ella es la presión atmosférica ( $p=0$  relativa a la atmósfera).

### **Acuífero confinado**

Consideremos una capa impermeable de terreno (p.ej. de roca compacta, sin poros) debajo de la que hay una capa de material granular, debajo de la cual, a su vez, vuelve a haber un zócalo impermeable (es equivalente a imaginarse un sándwich de gravas entre dos formaciones geológicas impermeables). La superficie imaginaria definida por  $h$  es ahora el nivel piezométrico, y como se observa en la figura siguiente, no coincide en absoluto con el límite de la zona saturada. Es la situación que se da en lo que definimos como un acuífero confinado. (FCIHS, 2008).



### **Acuífugo**

Formación geológica absolutamente impermeable que no almacena agua ni la transmite. (FCIHS, 2008).

### **Acuitardo**

Formación geológica de baja permeabilidad que almacena agua, pero la transmite con mucha dificultad, es decir, en todo caso muy lentamente. No es posible su explotación

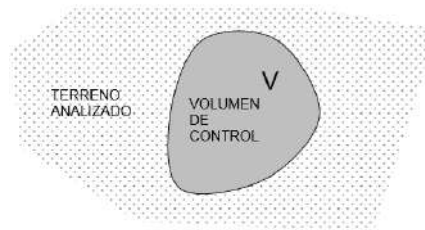
directa, pero puede recargar, por flujo vertical inducido a otros acuíferos. (FCIHS, 2008).

### **Acuicludo**

Formación geológica que almacena agua, pero no la transmite, es decir, que por sus características no permite el movimiento o circulación del agua en su seno. Ello hace que no sea posible su explotación. (FCIHS, 2008).

### **Porosidad**

Para estudiar estos ámbitos y fijar los conceptos, utilizaremos los denominados volúmenes de control. Imaginemos un volumen determinado de terreno limitado por una superficie cerrada arbitraria, es decir, sea  $V$  el volumen total en  $m^3$  del terreno de control contenido dentro de esta superficie que actúa de frontera.



Supongamos que pudiésemos medir la parte de ese volumen que está “ocupado” por espacio vacío, es decir, el volumen total de los poros, y que llamaremos  $V_p$ . Es evidente por tanto que la diferencia  $V - V_p$  se corresponde con el volumen de material o roca sólido. (FCIHS, 2008).

$$m_t = V_p/V$$

### **Grado de saturación**

El **grado de saturación** de agua en un terreno es la magnitud que mide la fracción de poro o espacio vacío de la roca ocupado por agua líquida, es decir, depende de la cantidad de agua contenida en los espacios vacíos o intersticios (o poros) del terreno. Esto nos lleva a considerar dos ámbitos: la zona saturada (poros íntegramente rellenos de agua líquida) y la zona no saturada (con espacios por tanto ocupados por aire u otro fluido). (FCIHS, 2008).

En este terreno, si hay cierta cantidad de agua en los poros, podremos medir cuál es el volumen de agua que tenemos, y lo denominaremos  $V_a$ . Es evidente asimismo que  $V_a$

es menor que  $V_p$  (¿o no?, meditar sobre ello). Podemos por tanto definir una nueva magnitud representativa de hasta qué punto los poros están “inundados” de agua, a la que bautizaremos como grado de saturación, con una relación del tipo:

$$s' = V_a/V_p \quad (0 < s' < 1)$$

### **Permeabilidad**

Es un coeficiente de proporcionalidad entre dos vectores, la velocidad y el gradiente, lo que matemáticamente es un tensor. La permeabilidad es una característica intrínseca del terreno que indica la mayor o menor resistencia que ofrece el terreno a la circulación del agua. Así, el flujo hidráulico en un terreno de elevada permeabilidad necesitará menos gradiente que un terreno de menor permeabilidad, en el que deberán darse unas condiciones de mayor gradiente, para que exista igual movimiento de agua. Su valor es una constante para cada medio y cada fluido en unas mismas condiciones que en general, está ligado a la porosidad eficaz del terreno, a la interconexión de poros y al tamaño de poro. (Ortiz, 2007).

### **Ensayo Lugeon**

Se realizan en rocas consolidadas, donde el agua se encuentra rellenando fracturas atravesadas por el sondeo, el fundamento de este método es medir el volumen  $V$  de agua que puede inyectarse en un tramo determinado del sondeo de longitud  $\Delta h$ , durante un intervalo de tiempo  $\Delta t$  y con una presión aplicada igual a  $p$ . la permeabilidad viene dada, aproximadamente por la ecuación siguiente:

$$k = (V/p\Delta h\Delta t)$$

Generalmente, la admisión de agua en el terreno se expresa en la unidad llamada lugeon, que equivale a una admisión de agua de 1 l/min por metro de tramo inyectado a una presión de 10 kg/m<sup>2</sup>. La presión correspondiente a la ejercida sobre el nivel piezométrico, es decir, hay que tener en cuenta la carga de la columna de agua generada en el sondeo por la inyección.

La inyección de agua se realiza con una bomba de pistón a una presión de unas pocas atmósferas. El volumen inyectado se mide con caudalímetro o por diferencia de niveles en el depósito que contiene el agua de inyección.

De acuerdo con Cambefort (1962), si se cumple que la admisión de agua por el terreno

es directamente proporcional a la presión, un lugeon equivale a una permeabilidad comprendida entre  $1 \times 10^{-7}$  y  $2 \times 10^{-7}$  m/s. es por tanto una unidad muy pequeña. El ensayo es más apropiado para el caso de rocas consolidadas muy poco permeables. (FCIHS, 2008).

### **Ensayo Lefranc**

Los ensayos tipo Lefranc suelen realizarse para medir la permeabilidad de rocas no consolidadas (arenas, gravas, detritus, etc.). durante la perforación de sondeos, que tienen que ser entubados para evitar el desprendimiento de los materiales atravesados por los mismos. Para ello se interrumpe la perforación y se introduce un varillaje hasta el fondo de sondeo, a través del cual se inyecta agua. El agua inyectada se filtra en el tramo inferior del sondeo de unas pocas decenas de centímetros de espesor, que es la única zona libre, es decir desprovista de tubería de revestimiento no ranurado. El exceso de agua no infiltrada retorna a la superficie y se colecta en un depósito. (FCIHS, 2008).

La permeabilidad se determina por siguiente expresión:

$$k = V / (2\pi d_e p_i \Delta t)$$

Donde:

k: Permeabilidad en m/s

V: Volumen de agua en m<sup>3</sup>

d<sub>e</sub>: Diámetro de la cámara esférica de inyección de agua

p<sub>i</sub>: Presión de inyección

Δt: Tiempo de inyección

### **Gradiente hidráulico**

Ahora cabe preguntarse, ¿qué sucede si instalamos un pozo, de momento en un acuífero libre? Para ello podemos imaginarnos una analogía:

Imaginemos un vaso de granizado. Cuando sorbemos con una caña, el movimiento del líquido en el vaso es parecido al que se describe en un acuífero cuando bombeamos

el agua que contiene. Así, al extraer líquido de un punto, en sus inmediaciones se crea una disminución de presión que genera un gradiente negativo hacia el punto de tal modo que el nivel piezométrico forma un cono hacia abajo con el ápex situado en el punto de extracción (la parte inferior de la caña en el caso del granizado). (FCIHS, 2008).

### **Transmisividad**

La transmisividad (T) es el caudal que atraviesa una franja vertical del acuífero, que tenga por ancho la unidad de medida y por altura, la altura saturada del acuífero “b”, bajo un gradiente unidad y a una temperatura dada. Se calcula como el producto de la permeabilidad horizontal **k** por el espesor saturado **b**:  $T = k \cdot b$  Sus unidades son  $L^2/T$  ( $m^2/día$ ), y representa también una medida del caudal específico **q** (caudal/unidad de descenso hidráulico). Así, por ejemplo, se habla de  $500 m^2/día$ ,  $6500 m^2/día$ , menos de  $1 m^2/día$ , etc. (FCIHS, 2008).

### **Conductividad Hidráulica**

La conductividad hidráulica (permeabilidad respecto al agua) es el caudal de que pasa por una sección unitaria del acuífero bajo un gradiente hidráulico también unitario a una temperatura fija o determinada, medida en ángulo recto a la dirección de flujo. (Ortiz, 2007).

### **Coefficiente de almacenamiento**

El coeficiente de almacenamiento es el volumen de agua que se obtiene de un prisma de acuífero, que tenga por base la unidad de área y por altura, la altura saturada del acuífero, cuando se deprime o rebate el nivel piezométrico en una unidad. Suele denotarse por **S** y es adimensional ( $L^3/L^3$ ), es decir es un número. (FCIHS, 2008).

### **Ley de Darcy**

Ésta es la ley básica de la hidrología subterránea y nos indica que la velocidad de Darcy (o flujo específico) es proporcional al gradiente. Al coeficiente de proporcionalidad se le llama permeabilidad del terreno y, en el caso más general, tiene carácter tensorial (es un coeficiente de proporcionalidad entre dos vectores, la velocidad y el gradiente, lo que matemáticamente es un tensor). (FCIHS, 2008)

$$V = -ki$$

### **Nivel piezométrico**

Se ha definido el concepto de nivel piezométrico como la altura de la superficie libre de agua sobre el nivel del mar, en los acuíferos libres. En los confinados, es la altura que alcanzaría el agua en el interior de un sondeo hasta equilibrarse con la presión atmosférica. (FCIHS, 2008).

### **Superficies piezométricas**

Lugar geométrico de los puntos que señalan la altura piezométrica de cada una de las porciones de un acuífero referidas a una determinada profundidad. Se las representa mediante líneas de igual altura piezométrica, llamadas líneas isopiezas. En los acuíferos libres, la superficie piezométrica coincide, a grandes rasgos, con la superficie freática, es decir, con el límite de saturación. En los acuíferos confinados la superficie piezométrica es más elevada que el techo de los mismos. En los acuíferos permeables por fisuración y/o karstificación y, en general, en acuíferos muy heterogéneos, puede ser una superficie discontinua. En acuíferos detríticos, pueden existir niveles más o menos aislados por lechos semiconfinantes. Un caso particular sería el de acuíferos afectados por intrusión marina en los que la piezometría está directamente afectada por la densidad del agua, que varía en función de la salinidad. (FCIHS, 2008).

### **Hidroquímica**

La hidroquímica estudia los procesos que intervienen en la composición de las aguas naturales. En este contexto la palabra agua se utiliza como sinónimo de solución/suspensión acuosa diluida de compuestos orgánicos e inorgánicos que constituyen los diversos tipos de sistemas acuáticos (Jenkins, 2014).

### **Fisicoquímica**

La fisicoquímica estudia la materia empleando conceptos físicos y químicos. Representa una rama donde ocurre un cambio de diversas ciencias, como la química, la física, termodinámica, electroquímica y la mecánica cuántica donde funciones matemáticas pueden representar interpretaciones a nivel molecular y atómico estructural. Cambios en la temperatura, presión, volumen, calor y trabajo en los sistemas, sólido, líquido y/o gaseoso se encuentran también relacionados a estas interpretaciones de interacciones moleculares. (Lewis, 1978).

## **CAPÍTULO III:**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Ubicación**

El proyecto Cerro Negro se ubica en el Departamento de Cajamarca, en la Provincia y Distrito de Cajamarca a aproximadamente 32 Km al Nor Oeste de la ciudad de Cajamarca en la zona alta de Pampa Cerro Negro (Figura N° 1 – Plano N°01). El área del proyecto es de 2721 Ha. y se emplaza a una altura promedio de 3700 msnm, geográficamente se ubica en las cabeceras de las Quebradas Chachacoma y Tranca, tributarias en la margen izquierda del Río Rejo.

#### **3.2 Accesibilidad**

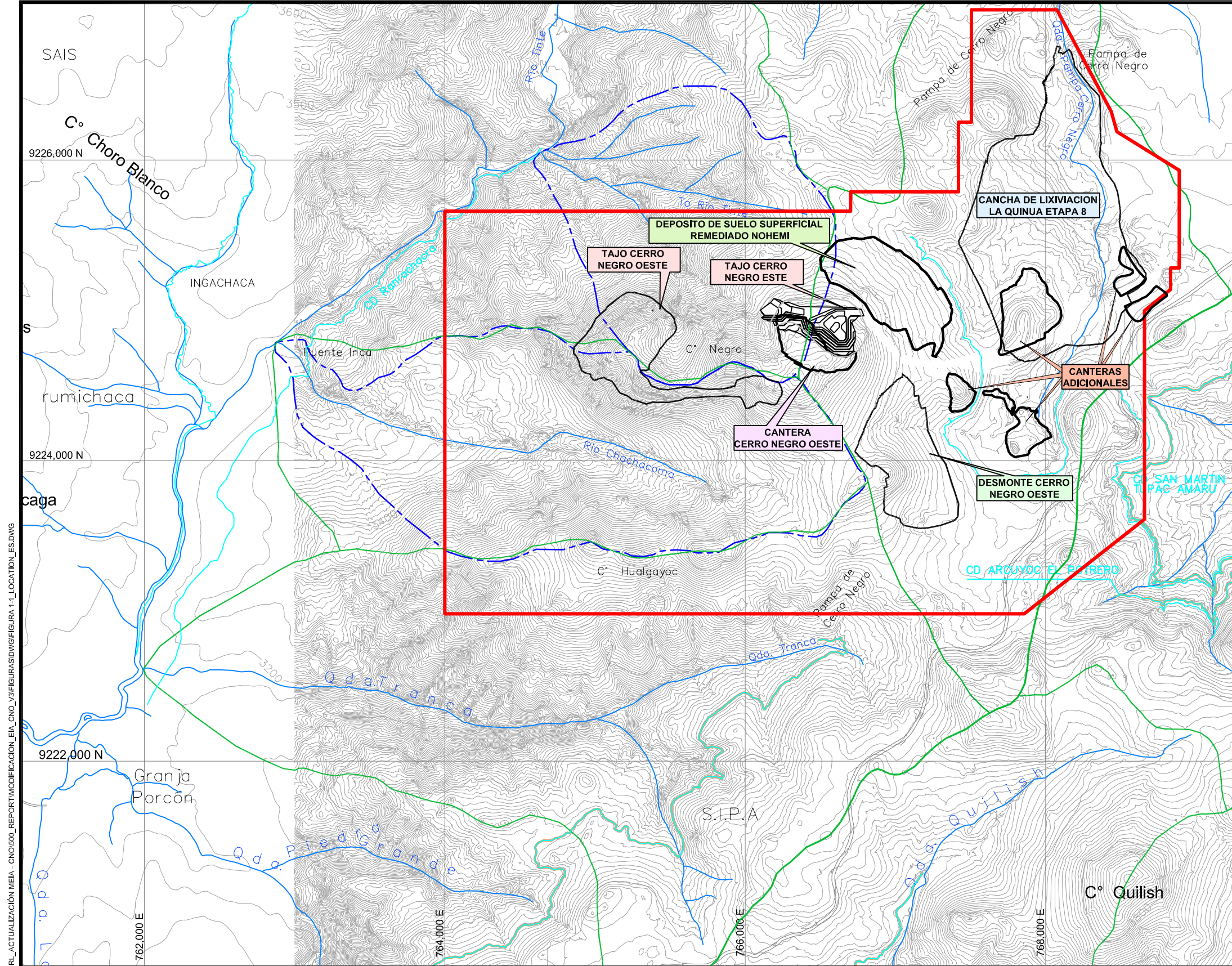
El acceso al área se realiza a través de la carretera asfaltada desde la ciudad de Cajamarca siguiendo la carretera hacia Bambamarca hasta el Km 25 y desde ese punto hasta el ingreso principal en el Km 35, de donde se continúa por carretera afirmada.

#### **3.3 Clima**






El clima es frío y húmedo, con periodos de lluvia y secos bien definidos, de octubre a abril y de mayo a septiembre, respectivamente. Los datos analizados provinieron de las estaciones meteorológicas La Quinua y km. 24, de los cuales se concluye que:

*Para la estación La Quinua.* La temperatura promedio mensual varía de 8,3 °C a 6,6 °C. La precipitación anual oscila entre 1 380 mm (2006) y 1 754 mm (2004). La evaporación promedio mensual varía de 37 mm en febrero a 104 mm en agosto. La dirección predominante del viento corresponde a vientos que vienen del Este con velocidades mayores a los 5,4 m/s.

*Para la estación km 24.* La temperatura promedio mensual varía 7,7° a 9,5 °C. La precipitación anual oscila entre 1446 mm (2004) y 1733 mm (2005), y la evaporación promedio mensual varía de 12 mm en marzo a 122 mm en julio. La dirección predominante del viento corresponde a vientos que vienen del Sureste con velocidades mayores a los 5,4 m/s.



**LEYENDA**

-  Ríos y quebradas
-  Curva de nivel
-  Carretera
-  Límite del proyecto de modificación EIA Cerro Negro Oeste
-  Canal



DATUM: UTM PSAD56 ZONE: 17S

I:\SRV\03\IMP\PROJECTS\056608\_MYSRL\_ACTUALIZACIÓN MEIA - CNO\500\_REPORT\MODIFICACION EIA\_CNO\_V3\FIGURAS\DWG\FIGURA 1-1\_LOCATION\_ES.DWG



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca

Plano: Ubicación de Instalaciones del Área del Proyecto de Cerro Negro Oeste	Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani
Fecha: Agosto 2023	Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango
Fuente: MYSRL	Escala: 1/10 000

Plano N°  
**01**

### 3.4 Fauna

De acuerdo a la evaluación de fauna terrestre realizada de septiembre a noviembre del 2003, a través de observaciones de campo en zonas seleccionadas al azar (de 1 há cada una), se identificó las siguientes especies: Zorro Andino, Zorrillo, Vizcacha montesa, aves como Perdiz pico curvo, Gavilán acanelado, Chinalinda, Quecheche chico, Lic lic, Ave fría andina, Carpintero andino, Cargacha, Colibrí estrella andina, Colilargo castaño chico, Golondrina gris, Jilguero cordillerano, reptiles como Lagartija, Lagartija listada, ranita marsupial, Ranita de jalca y Sapito Andino, entre otros (Figura N° 2).



*Figura 2: Vizcacha (Lagidium viscacia), roedor que habita en la zona de Cerro Negro, Mina Yanacocha.*

### 3.5 Vegetación

El área se caracteriza por ser un pajonal de gramíneas y arbustos dispersos que se encuentra parcialmente intervenido y fragmentado debido a las actividades antropogénicas pasadas. De acuerdo a la caracterización ecológica flora y fauna silvestre del ámbito de Minera Yanacocha (2004), se han identificado especies de la división Pteridophyta y Angiospermae. Señala que se identificó especies en categoría de amenaza según el D. S. N° 043-2006-AG como el *Polylepis racemosa* “Quenual” y *Buddleia incana* “Quishuar”; no obstante, se indica que la distancia más cercana de los Quenuales y Quishuares se encuentra a 5 Km aproximadamente (Figura N° 3).

### 3.6 Tipo y diseño de investigación

#### **Tipos de investigación**

El tipo de investigación empleada es; No Experimental, Descriptiva y Correlacional en el Tiempo; basada en observaciones de los diversos manantiales, ríos, piezómetros, afloramientos rocosos y estructuras; la toma de muestras de rocas y aguas para su

respectivo análisis en laboratorio. Realizando además toma de datos como; rumbos y buzamientos de fallas y estructuras, para realizar un análisis geo-estructural de la zona de estudio; con los cuales se realizarán interpretaciones y conclusiones finales.



*Figura 3: Vegetación a los alrededores de Proyecto Cerro Negro, Mina Yanacocha.*

### **Diseño de la investigación**

En esta investigación se realizaron una serie de etapas que, si bien, siguen un esquema estructurado y cronológico, frecuentemente se superponen y se van retroalimentando poco a poco, lo cual hace difícil separarlas definitivamente, por lo que se convierte en un proceso continuo y dinámico. Es evidente que, en la recolección y análisis de datos, se realizaron al mismo tiempo que se iban obteniendo algunos resultados, los que se tenían que confrontar unos con otros.

Por todo ello, para establecer el diseño de la investigación del trabajo de campo, se tiene que pasar por: la investigación documental, que consiste en la revisión de la literatura y el establecimiento de las preguntas de investigación. En el diseño metodológico se concilió la información, logrando definir con claridad la estructura de la tesis según el cronograma definido para su finalización.

El trabajo de campo se inició con un reconocimiento general de la zona de estudio, la selección de las principales zonas de interés. Las observaciones de campo, el cartografiado geológico/hidrogeológico, muestreo, descripción y toma de parámetros fisicoquímicos de aguas superficiales y subterráneas.

En gabinete, se procesó la información de campo, plasmándolos en planos, secciones y toda interpretación posible, para determinar así la geología e hidrogeología de la zona de estudio.

Se finalizó, con la redacción del texto, para la obtención de la tesis.

### **3.7 Procedimiento y técnicas de recolección de datos**

Para el estudio de investigación de Proyecto Cerro Negro se han considerado los diferentes procedimientos de trabajo (PETS) y técnicas de recolección de datos existentes en la minera, para todos los trabajos de investigación que hicieron los hidrogeólogos.

#### **Trabajo de campo**

Para el trabajo de campo para del presente estudio de investigación se ha considerado los procedimientos de trabajo (PETS) y estándares de seguridad que estipula en forma obligatoria el Departamento de Geología y Seguridad de MYSRL en la elaboración del cartografiado geológico, toma de datos hidroquímicos.

#### **Cartografiado geológico y toma de datos**

Para el presente estudio se ha considerado el cartografiado geológico/hidrogeológico superficial existente en la mina a escala 1/500, durante esta investigación.

#### **Logueo geológico e hidrogeológico**

Se tomaron en consideración los logueos de taladros diamantinos ejecutados con fines exploratorios y para la instalación de piezómetros, la información de los logueos, plasmada en tarjetas con diferente información de tipo de roca, estructuras que se interceptaron como, fallas, fracturas, cizalla, etc.

La información de los taladros diamantinos ha servido para tomar decisiones en la instalación de piezómetros, es decir, zonas favorables para el estudio en mención.

#### **Muestreo y descripción**

La calidad hidroquímica de las aguas superficiales se ha obtenido a partir de los resultados del programa de monitoreo ambiental de MYSRL.

#### **Aguas Superficiales**

La calidad de las aguas superficiales se obtuvo a partir de la base de datos ambiental de MYSRL, considerando las estaciones de monitoreo más cercanas al yacimiento Cerro Negro Oeste. Las estaciones de monitoreo seleccionadas

son QCHA, MCN, QDM, QARC, QCN1, QCN3, QCN4, QPR1, QCNP y QPR2.

Además, se incluyeron cuatro nuevas ubicaciones identificadas en el inventario de manantiales realizado en noviembre de 2009: la Quebrada Cuyoc, PA-15, PA-105 y PA- 123B como se indica en el Plano 2.4.

### **Aguas subterráneas**

De los tres pozos instalados en el área de Cerro Negro Oeste en 1999, dos no alcanzaron el nivel freático (CNE-200 y CNE-215) y el tercero llegó justo al nivel freático (CNE-209). No se tomaron muestras de este piezómetro durante la evaluación hidrológica preliminar del yacimiento Cerro Negro Oeste (WMC, 1999). En enero de 2010, se instaló el piezómetro CNW-027. En febrero de 2010, se tomó una muestra de este piezómetro para análisis hidroquímicos detallados.

La información sobre la calidad de las aguas subterráneas se basa principalmente en muestras de calidad de agua tomadas de los puntos de monitoreo de aguas superficiales históricas tomadas durante la temporada seca y que se supone que corresponden al flujo base (equivalente a la descarga del sistema de agua subterránea) como también en la muestra reciente del piezómetro CNW-027. Basándose en la información anterior y en los parámetros de terreno obtenidos durante el inventario de manantiales realizado recientemente (SVS, noviembre de 2009), se realizó una caracterización general de la calidad de las aguas subterráneas en el área del proyecto (Planos 2.11 y 2.12).

### **Análisis de muestras**

Los resultados de los análisis químicos se guardan en registros de muestreo y tarjetas que sirven para los trabajos de control diario, para la estimación de reservas y recursos de mineral en forma anual y para el presente estudio de investigación.

### **Trabajo de gabinete**

Los trabajos de gabinete corresponden a la elaboración de planos de muestreo, planos geológicos, secciones transversales, proyectos y planos que servirán para el presente estudio de investigación.

### **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas usadas para la elaboración del presente estudio, son las mismas usadas para todos los trabajos de investigación que utilizan los Ingenieros Minera Yanacocha.

Los instrumentos usados para el trabajo de campo son la brújula, lupa 20x, picota de geólogo, protáctor, multiparámetros de agua, frascos para la recolección de muestras de agua, con planos a escalas diferentes.

Para el trabajo de oficina se usaron formatos de recolección de datos, computadoras, laptops, impresora, plotter y USBs de acuerdo a las necesidades del trabajo.

### **3.8 Geomorfología**

El área de estudio se encuentra ubicada en la región intermontañosa de la zona Norte de la Cordillera Occidental de los Andes. Los procesos que dieron origen a la geomorfología del área de estudio están relacionados con la actividad volcánica pasada como agente formador y la erosión como agente modelador del terreno. Estos procesos han dado como resultado los depósitos volcánicos, los valles fluvio-glaciares y la aparición de depósitos sedimentarios.

Geográficamente, esta área se localiza a 35 kilómetros al Norte de la ciudad de Cajamarca, aproximadamente entre las coordenadas UTM 774551 Este y 9227030 Norte, zona 17 Sur; las altitudes varían desde los 3,100 y los 4,200 msnm. Esta área se encuentra dominada por un paisaje altoandino típico, con presencia de laderas, faldas de cerros, cimas, pendientes convexas, pendientes cóncavas, planicies, afloramientos rocosos y zonas muy escarpada.

Estas formas de relieve fueron originadas por la acción de los agentes geotectónicos, deposicionales y erosivos que se diferencian notablemente no solo por sus rasgos fisiográficos, sino también por su cobertura de suelos y patrones de erosión propios de la sierra andina.

El relieve en general es montañoso y las pendientes varían desde ligeramente inclinadas (48%) en la zona de Cerro Negro y parte baja del cerro Quilish, hasta extremadamente empinadas (+75 %) localizados en las faldas de los cerros Retratuyoc, Cerro Negro y Pabellón.

Las acciones morfogenéticas acontecidas hasta las postrimerías del Terciario, son las

que han definido las macroformas fundamentales de la región, sobre todo del área de estudio dando lugar a las altiplanicies y laderas colinosas montañosas. En cambio, las acciones morfodinámicas subsiguientes, de edad cuaternaria, dieron las formas de detalle a estas macroformas. Finalmente, otro factor que contribuye a la modificación de la geomorfología local natural en el área de estudio, es el cambio de uso del suelo impulsada fundamentalmente por la acción antrópica que viene transformando las áreas naturales en áreas extractivas.

Es importante indicar que la mayor extensión del área de estudio corresponde a áreas intervenidas, el cual alcanza las 5,315.45 ha, lo que representa el 67.62% de la superficie total del área de estudio (7,860.89 ha), producto de las actividades de extracción minera. (Stantec Perú S. A. 2017)

### **Fisiografía**

El relieve característico de la región, está vinculado a los procesos tectónicos y a las modificaciones bioclimáticas que se han generado desde el inicio de su aparición. Las condicionantes morfológicas como la inestabilidad, vulnerabilidad y riesgo, siempre han condicionado el uso y ocupación del territorio de Cajamarca.

En el área del Proyecto se han identificado dos unidades geomorfológicas:

#### Vertiente montañosa y colina moderadamente empinada (Vs1-d)

Tiene topografía poco accidentada, pero con procesos geológicos y geomorfológicos de escorrentía superficial, de acarreo, derrubio, formación de barrancos, riadas de barro, corrimientos de tierra, resumidos en deslizamientos, asentamientos, reptación de suelos y desplomes.

#### Vertiente montañosa escarpada (Vs2-d)

Son superficies de relieve accidentado que corresponden a las estribaciones de la cordillera occidental andina y a las formaciones rocosas de la antigua cordillera costanera.

La fisiografía de Cajamarca es el resultado de factores tectónicos, orogénicos, litológicos, así como también agentes de la erosión y del clima. Este análisis ha permitido identificar en toda la superficie grandes paisajes de llanuras, colinas y

montañas, tal como se describirán más adelante.



*Figura 4: Topografía Tajo Cerro Negro, Mina Yanacocha.*

Del análisis edafológico realizado se concluye que los suelos son ligeramente ácidos (pH de 6,24 – 6,97), de textura media a moderadamente gruesa, de colores pardos grisáceos a negros, sin la presencia de carbonatos.

### **Hidrología**

El área del proyecto se encuentra ubicada en la cabecera de la cuenca del Río Rejo, el cual tiene su origen en la confluencia de la Quebrada Chachacoma y el Río Tinte. La cuenca del Río Rejo está ubicada en el lado occidental de la divisoria continental y drena hacia el Oeste, al Océano Pacífico a través del Río Jequetepeque; limita hacia el sur con la Cuenca del Río Porcón. El flujo promedio estimado de la Cuenca del Río Rejo es de 2 800 l/s con dirección Este al Suroeste.

### **Relieve**

Las principales unidades geomorfológicas han sido diseñadas por los procesos de levantamientos, fallamientos y erosión debido a la tectónica Andina, volcanismo Cenozoico y la glaciación Cuaternaria.

Las quebradas que bordean las superficies de erosión del área de Cerro Negro, forman un drenaje juvenil con cañones abruptos y tributarios principales en la dirección NNW y secundarios en la dirección NE-SW o NW, los cuales aportan sus aguas tanto a la Cuenca Pacífica (Río Jequetepeque) como a la Atlántica.

### 3.9 Geología histórica

Los eventos geológicos históricos más importantes producidos en la zona de estudio se pueden sintetizar así:

La mineralización de oro en el distrito de Yanacocha forma parte del cinturón de depósitos polimetálicos que están ubicados a lo largo de la Cordillera de los Andes, y el cual está asociado al volcanismo Cenozoico y las rocas intrusivas (Turner, 1997).

Los Andes Peruanos son el resultado de la subducción de la litósfera oceánica (placa de Nazca) debajo de la litósfera continental (placa Sudamericana).

La primera actividad magmática ocurre en el Terciario inferior y es representado por un volcanismo efusivo de tipo lávico andesítico, correspondiente al Volcánico Llama (Benavides, 1956 y Noble, 1990). Contemporáneamente se inicia la primera pulsación intrusiva en la región, correspondiente a intrusivos dioríticos (stocks Michiquillay y Picota) datadas del Eoceno medio (43-46 Ma: BRGM, 1995).

La segunda manifestación magmática ocurre durante el Mioceno inferior (fase Quechua I) y corresponde al emplazamiento de numerosos stocks, entre ellos los pórfidos de: Chailhuagón, Perol, Mishacocha, Corona, Cerro Jesús y Yanacocha, todos ellos datados (K/Ar) entre 11 y 20 Ma (Borredón, Noble, Turner y BRGM). La composición evoluciona desde una microdiorita con hornblenda hasta microgranodioritas y pórfidos cuarzo feldespático. Paralelamente a esta fase intrusiva se desarrolla la depresión volcanotectónica de Yanacocha (20 x 20 km), compuesta de derrames lávicos y flujos piroclásticos de composición dacítica-andesítica y asociado a domos porfiríticos andesíticos, cuyas edades varían desde el Mioceno inferior a medio entre 10 y 19 Ma (Longo, 2002; Turner, 1997). Este volcanismo es el principal albergante de la mineralización epitermal de Au-Ag y está asociado a stocks porfiríticos del tipo pórfidos, diatremas y brechas pipes.

Posterior a la gran actividad volcano-plutónica Miocénica se produce el levantamiento Andino y erosión, seguidamente se deposita el volcanismo de la Formación Huambos (8.2 Ma, Noble et 1989), constituido por coladas piroclásticas de composición andesítica-dacítica que recubren valles y depresiones del distrito de Yanacocha.

Finalmente, en el Pleistoceno, ocurre una fuerte etapa de glaciación que erosiona el

depósito de Yanacocha dando lugar a la depositación de morrenas y gravas del depósito La Quinua.

A nivel local, las unidades geológicas que se presentan dentro del área de estudio del Proyecto Yanacocha son: Brecha freato-magmática - Diatrema (BXD), Brecha freática (BXF), Brecha hidrotermal (TBYH), Unidad Porfirítico Carachugo (CP), Sedimentos laminados (LAM), Lava andesítica piroxeno - hornblenda (LPHA), Depósitos morrénicos (QMGAL), Unidad toba eutáxica transicional (TEUT), Secuencia de domos (UD), Ignimbrita Maqui Maqui (UMM), Unidad andesita superior (UPHA), Unidad San José (USJ-ULT), Unidad Shacsha (UTX), Unidad porfirítica Yanacocha (YP), Unidad Yanacocha cuarzo porfirítica (YPQ) y Piroclastos inferiores de biotita (LBP).

Localmente en el proyecto Yanacocha se han identificado estructuras orientadas en diferentes direcciones. Las más importantes tienen dirección NW-SE, y están representadas por fallas de movimiento sinistral, que aparentemente controlan el emplazamiento de los diques dacíticos, brechas freáticas y diatremas, y además han constituido en uno de los controles de mineralización. Las estructuras NW son paralelas al corredor estructural Yanacocha – Hualgayoc.

Estructuralmente el Proyecto Yanacocha, se encuentra emplazado dentro de un corredor estructural NW, limitado hacia el NE por el corredor Yanacocha-Chaquicocha y hacia el SW por el corredor Buena Sorpresa. El emplazamiento de los intrusivos y brechas en general tienen un alineamiento NE. La mineralización está controlada por estructuras locales de dirección EW y WNW. Las fallas geológicas en el depósito en general son de alto ángulo.

En relación a procesos geodinámicos, en el área de estudio ambiental se han identificado los procesos de caída de rocas, erosión de riberas, erosión de laderas, reptación de suelos y derrumbes, así como escarpas con potencial para generar deslizamientos lo cual refleja una predominancia de procesos de erosión fluvial y erosión de laderas por condicionantes pluviales. (Stantec Perú S. A., 2019)

### **3.10 Geología regional**

A nivel regional, el proyecto minero Yanacocha se encuentra ubicado en la parte Norte del cinturón Orogénico Andino que atraviesa Perú en toda su longitud el cual está formado principalmente por rocas sedimentarias del Mesozoico y rocas Volcánicas del

Terciario. Las orientaciones Noreste – Sureste de pliegues y sobrescurrimientos en las rocas sedimentarias del Cretáceo, son desviadas Este-Oeste a lo largo de la intersección con una zona estructural este-noreste trasandina, conocida con el nombre de corredor estructural Chicama –Yanacocha.

Estas rocas sedimentarias (Cretáceo) y volcánicas (Terciario) están cortadas por intrusiones Terciarias que ocurren de forma circular o elongadas a lo largo de una orientación Oeste- Noreste que corta por la margen este del distrito. Estas intrusiones han sido datadas como del Paleoceno al Mioceno. Las rocas sedimentarias incluyen las Formaciones Carhuaz, Farrat, Inca, Chúlec y Pariatambo del Cretáceo Inferior, así como las Formaciones Yumagual del Cretáceo Medio y Quilquiñán y Celendín del Cretáceo Superior. Las rocas volcánicas incluyen las Formaciones Llama, Porculla (conocida también como Formación San Pablo del Grupo Calipuy) y los miembros Fraylones y Otuzco de La Formación Huambos. (Stantec Perú S. A. 2017)

La mineralización de oro en el distrito de Yanacocha forma parte del cinturón de depósitos polimetálicos que están ubicados a lo largo de la Cordillera de los Andes, y el cual está asociado al volcanismo Cenozoico y las rocas intrusivas (Turner, 1997).

Los Andes Peruanos son el resultado de la subducción de la litósfera oceánica (placa de Nazca) debajo de la litósfera continental (placa Sudamericana). La primera actividad magmática ocurre en el Terciario inferior y es representado por un volcanismo efusivo de tipo lávico andesítico, correspondiente al volcánico Llama (Benavides, 1956 y Noble, 1990). Contemporáneamente se inicia la primera pulsación intrusiva en la región, correspondiente a intrusivos dioríticos (stocks Michiquillay y Picota) datadas del Eoceno medio (43-46 Ma: BRGM, 1995).

La segunda manifestación magmática ocurre durante el Mioceno inferior (fase Quechua I) y corresponde al emplazamiento de numerosos stocks, entre ellos los pórfidos de: Chailhuagón, Perol, Mishacocha, Corona, Cerro Jesús y Yanacocha, todos ellos datados (K/Ar) entre 11 y 20 Ma (Borredón, Noble, Turner y BRGM). La composición evoluciona desde una microdiorita con hornblenda hasta microgranodioritas y pórfidos cuarzo feldespático. Paralelamente a esta fase intrusiva se desarrolla la depresión volcánico tectónica de Yanacocha (20 x 20 km), compuesta de derrames lávicos y flujos piroclásticos de composición dacítica-andesítica y asociado a domos porfiríticos

andesíticos, cuyas edades varían desde el Mioceno inferior a medio entre 10 y 19 Ma (Longo, 2002; Turner, 1997). Este volcanismo es el principal albergante de la mineralización epitermal de Au-Ag y está asociado a stocks porfiríticos del tipo pórfidos, diatremas y brechas pipes.

Posterior a la gran actividad volcano-plutónica Miocénica se produce el levantamiento Andino y erosión, seguidamente se deposita el volcanismo de la Formación Huambos (8.2 Ma, Noble et 1989), constituido por coladas piroclásticas de composición andesítica-dacítica que recubren valles y depresiones del distrito de Yanacocha. Finalmente, en el Pleistoceno ocurre una fuerte etapa de glaciación que erosiona el depósito de Yanacocha dando lugar a la depositación de morrenas y gravas del depósito La Quinoa. (BRGM, 1995).

### **Estratigrafía**

La geología de la región de Cajamarca – Yanacocha está constituida por un basamento sedimentario de edad Cretácea que ha sido plegado, fallado e intruído por stocks terciarios y recubiertos por efusiones volcánicas de edad Terciaria (Fig.06).

### **Basamento Cretáceo**

La serie Cretáceo inferior, está constituida principalmente por una secuencia arenácea cuarcítica con intercalaciones de limolita, correspondientes al Grupo Goyllarisquizga; estas secuencias están coronadas por una secuencia limo-calcárea correspondientes a las grandes transgresiones albianas. Las rocas del Cretáceo superior están mejor desarrolladas y conforman una potente secuencia calcárea, correspondientes a las formaciones: Inca, Chúlec, Pariatambo, Yumagual, Mujarrún, Quilquiñán y Celendín. Las rocas del Cretáceo superior y Paleoceno (Terciario inferior) consisten de Capas Rojas y conglomerados de la Formación Chota. Las capas rojas están relacionadas con la fase orogénica Andina del Cretáceo superior (Reyes, 1980; Megard, 1987; Ingemmet, 1995).

### **Volcánicos Llama**

Es la secuencia basal y está dominada por flujos de lava, conglomerados volcánicos (flujo de debris) y rocas volcanoclásticas. Esta secuencia se localiza al sur del distrito de Yanacocha y presenta una débil alteración argílica y propilítica. Las dataciones radiométricas (K-Ar) efectuadas por D. Noble (1999), datan de 54.8+-

1.8 y 44.2+-1.2 M.A. La alteración pervasiva que presenta en partes esta formación podría ser el resultado de un gran sistema hidrotermal relacionado con el Batolito de Chota, que forma parte de la Formación Chota.

### **Volcánicos Porculla**

Consiste de rocas piroclásticas intercaladas con niveles lávicos y cortadas por multi-fases de eventos intrusivos. Según Turner, los volcánicos Porculla se subdividen en el Complejo Volcánico Yanacocha y los Volcánicos Regalado (Fig.07).

### **Complejo Volcánico Yanacocha**

Esta secuencia volcanoclástica se extiende regionalmente y es en donde se alberga la mineralización del distrito de Yanacocha. Este Complejo Volcánico de edad Miocénica está constituido por rocas piroclásticas y flujos de lava de composición andesítica (Fig. N°6).

### **Volcánicos Regalado**

Una secuencia delgada de lavas andesíticas muy viscosas, cubren principalmente las zonas de depresiones y sobreyacen a las rocas del Complejo Volcánico Yanacocha. Estos flujos de probable origen fisural son correlacionados con los Volcánicos Regalado (Reyes, 1980).

### **Volcánicos Huambos**

Posterior a la gran actividad volcano-plutónica Miocénica se produce el levantamiento Andino y erosión, seguidamente se deposita el volcanismo de la Formación Huambos (8.2 Ma, Noble et 1989) constituido por coladas piroclásticas andesítica-dacítica que recubren valles y depresiones del distrito de Yanacocha. Dos secuencias de distinta composición de flujos de brechas piroclásticas son reconocidas al norte y sur del distrito. La primera de composición dacítica, corresponde al miembro Fraylones y la segunda de composición andesítica corresponde al miembro Otuzco, ambos de la Formación Huambos, asociados a distintos centros eruptivos.

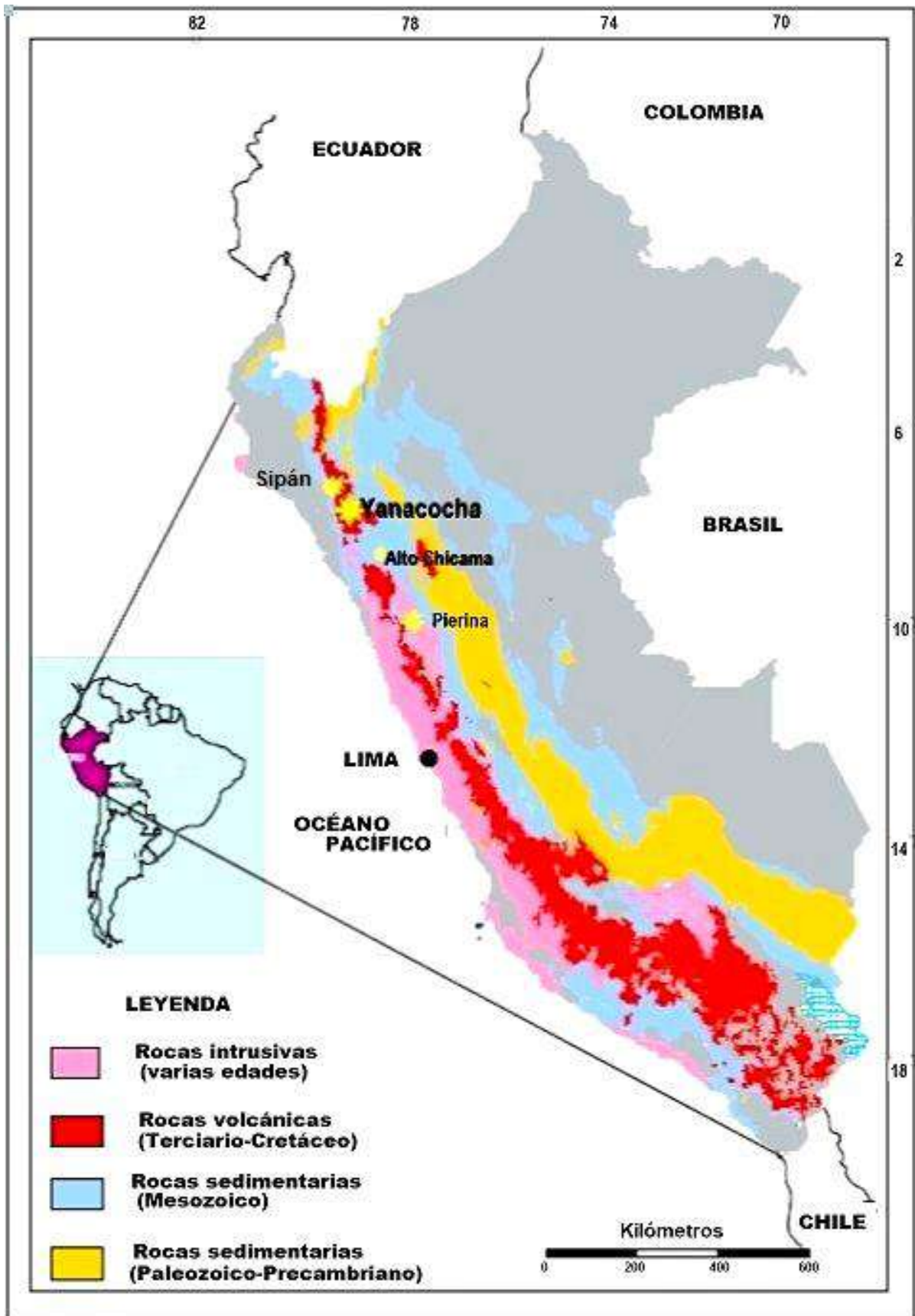


Figura 5: Plano de ubicación del distrito de Yanacocha. Fuente: Alex Merino (2005).

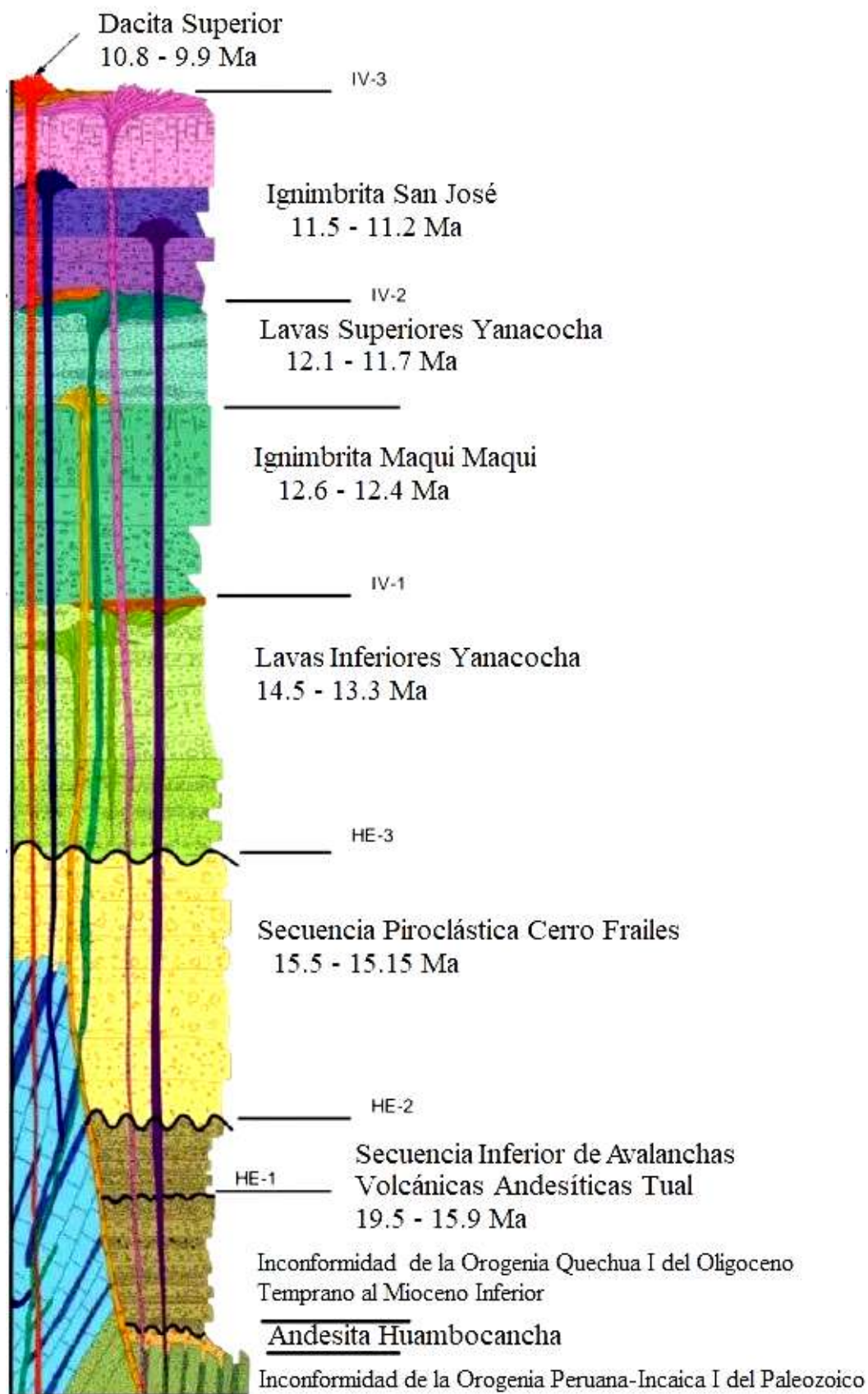


Figura 6: Columna estratigráfica generalizada. Fuente: Alex Merino (2005).

YANACOCHA DISTRICT		CAJAMARCA SHEET	CHOTA SHEET	SAN MARCOS SHEET	CELENDÍN SHEET
CALIPUY GROUP	Huambos Formation	Huambos Formation	Huambos Formation	Cajabamba Formation	Huambos Formation
	Regalado Volcanics	San Pablo Volcanics	Porculla Volcanics	San Pablo Volcanics	Porculla Volcanics
	Yanacocha Flow Dome Complex	Chilete Volcanics			
	Llama Volcanics	Tembladera Volcanics	Llama Volcanics		
	Cretaceous Basement	Cajamarca Formation	Chota Formation	Chota Formation	Chota Formation

Figura 7: Correlación del grupo Calipuy (Turner, 1997).

El Complejo Cerro Negro es el grupo de yacimientos más occidental conocido en el Distrito de Yanacocha y constituye el extremo occidental del área mineralizada principal. Cerro Negro Oeste está ubicado aproximadamente 500 m al oeste de Cerro Negro Este. Cerro Negro Oeste está alojado en rocas brechadas, bajo las cuales se extiende un domo de pórfido feldespático. Las rocas han sufrido una fuerte alteración, sin una zonación definida. El núcleo del yacimiento está compuesto de sílice masiva y está rodeado por zonas de alteración silíceo-arcillosa-alunítica con un espesor inusualmente grande, gradando a rocas argilizadas y localmente propilitizadas. El pórfido feldespático subyacente se encuentra intensamente argilizado y es, en general, sulfídico (Planos 2.1 y 2.2).

### Alteración

La alteración está controlada por la litología. Se encuentra alteración silíceo en las brechas freáticas y los cuerpos restantes de tobas cristalinas. Se encuentra alteración silíceo-alunítica y arcillosa-silíceo en los flujos de lava andesítica (Plano 2.2). La alteración en Cerro Negro Oeste parece ser más profunda que en Cerro Negro Este y consiste en unidades de flujos de andesita cortados por una chimenea de brecha freática. La chimenea de brecha está limitada en sus flancos por brechas de eventos posteriores.

### Estructuras Geológicas

Las principales tendencias estructurales en el área de Cerro Negro Este están definidas por una serie de fallas con rumbo noroeste y una falla aislada penetrante

con dirección noreste. Cerro Negro Oeste está separado de Cerro Negro Este por una serie de fallas con rumbo noroeste (Plano 2.1). El movimiento de las fallas se interpreta como normal, con empuje descendente del bloque oriental.

El yacimiento presenta una post-alteración y fracturamiento intensos, que dan como resultado una roca quebrada y con estructura granular. Existe un fuerte desarrollo de fracturamiento en las áreas con alteración silíceo masiva o granular, pero es menos intenso en las áreas con alteración silíceo-alunítica y silíceo-arcillosa. En general, las fracturas en las áreas con alteración silíceo-arcillosa están selladas por minerales arcillosos.

### **3.11 Hidrología**

#### **Drenaje Superficial**

El yacimiento Cerro Negro Oeste propuesto y las instalaciones asociadas, incluyendo el depósito de desmonte y la pila de lixiviación, estarán ubicados en el sector alto de la cuenca del Río Rejo entre el Río Tinte, las Quebradas Chachacoma y Pampa Cerro Negro.

En el Plano 2.3 se muestran las principales divisorias de cuenca en las cercanías de Cerro Negro Oeste. En la Tabla 1 se detallan las subcuencas que serán interceptadas por el tajo Cerro Negro Oeste y sus instalaciones.

La cuenca del Río Rejo está ubicada en el costado occidental de la propiedad de MYSRL y tiene un área total de 147 km<sup>2</sup>. El tajo estará ubicado en la cuenca de la Quebrada Chachacoma y directamente sobre la cuenca de las quebradas sin nombre que drenan hacia el norte y el oeste del tajo en dirección al Río Tinte.

La pila de lixiviación y el depósito de desmonte estarán ubicados en la cuenca de Pampa Cerro Negro, que drena hacia la presa de control de sedimentos del Río Shoclla y el Río Rejo.

El drenaje de agua superficial del distrito de Yanacocha incluye una red artificial de canales comunitarios. Las ubicaciones de los canales en las cercanías del yacimiento Cerro Negro Oeste se muestran en el Plano 1.1. En general, los canales son alimentados por manantiales y drenajes naturales de agua superficial para el suministro de agua a las comunidades del distrito para uso doméstico y para riego

durante la temporada seca.

*Tabla 1. Detalles de las subcuencas interceptadas por el desarrollo del tajo Cerro Negro Oeste y sus instalaciones*

<b>Subcuenca</b>	<b>Área (km)</b>	<b>Descripción de la Subcuenca</b>	<b>Desarrollo del Tajo/ Instalaciones en la subcuenca</b>
Quebrada Pampa Cerro Negro	7,60	El río drena al norte hacia la presa del Río Rejo y al este hacia el Río Tinte	Depósito de desmonte/Pila de lixiviación/Canteras
Quebrada sin nombre	2,70	La quebrada drena hacia el norte y oeste en dirección al Río Tinte	Tajo/Cantera Cerro Negro
Quebrada Chachacoma	4,10	La quebrada drena hacia el oeste en dirección al Río Tinte	Tajo/Cantera Cerro Negro

#### **Datos de caudales de agua superficial**

Una serie de estaciones de monitoreo de aguas superficiales establecidas por MYSRL como parte de la red de monitoreo ambiental de MYSRL se encuentran ubicadas en el área del yacimiento Cerro Negro Oeste. En la Tabla 3.2 se presentan los detalles de estas estaciones de monitoreo y las ubicaciones correspondientes se muestran en el Plano 2.3. MYSRL realizó mediciones de caudales superficiales y tomó muestras de calidad de agua con una frecuencia irregular, variando de una frecuencia trimestral durante el período de 1998 a 2004 hasta varios años entre los eventos de monitoreo de 2004 a 2008.

Basándose en la información obtenida a partir de la base de datos de monitoreo ambiental de MYSRL, se estimaron los caudales mínimos, máximos y promedio para cada estación de monitoreo. Los datos históricos de monitoreo de caudales resultantes se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Estimaciones históricas de caudales en las cercanías del yacimiento Cerro Negro Oeste

Estación	UTM Este	UTM Oeste	Cota	Cuenca	Mínimo (l/s)	Promedio (l/s)	Máximo (l/s)	Periodo de Monitoreo
MCN	9224518	764267	3,407	Manantial Qda. Chachacoma	0.15	5.34	34.29	21/03/2001 16/04/2008
QARC	9223716	766069	3,637	Qda. Chachacoma	0.6	7.2	63.88	15-Dic-98 16-Abr-08
QCHA	9224308	763576	3,325	Afluente Río Tinte	0.85	106.41	1093.75	21/03/2001 06-Dic-07
QCN1	9225863	765064	3,340	Afluente Río Tinte	1.7	66.31	1325.4	14-Dic-98 16-Abr-08
QCN3	9226060	764526	3256	Afluente Río Tinte	1.96	7.12	29.57	14-Dic-98 16-Abr-08
QCN4	9225882	764400	3250	Afluente Río Tinte	4.25	22.43	220.4	14-Dic-98 16-Abr-08
QCNP	9225900	764817	3302	Afluente Río Tinte	0.5	4.63	27	14-Dic-98 16-Abr-08
QCRE	9225496	767710	3587	Qda. Cerro Negro	0.33	5.9	46.9	15-Dic-98 20-Ago-08
QDM	9224078	764914	3471	Qda. Chachacoma	0.8	11.82	76.5	15/12/1998 16-Abr-08
QPCH	9225478	767725	3586	Qda. Cerro Negro	0.25	7.84	38	15-Dic-98 20-Ago-08
QPCN1	9225544	768318	3550	Qda. Cerro Negro	1	44	230.3	09-Dic-98 10-Jul-07
QPCN2	9225825	768414	3550	Qda. Cerro Negro	1.5	133.83	2300	09-Dic-98 11-Jun-09
QPR1	9226094	766857	3599	Afluente de la Qda. Cerro Negro	0.05	3.08	12.3	15-Dic-98 16-Abr-08
QPR2	9225801	765084	3354	Afluente Río Tinte	0	14.76	92	14-Dic-98 16-Abr-08

Los caudales de agua superficial en el área varían significativamente en forma estacional, mostrando una clara distinción entre los caudales medidos durante la temporada seca y durante la temporada lluviosa, con diferencias de caudales de varios órdenes de magnitud. Las mediciones de caudales instantáneas tomadas en las proximidades del yacimiento Cerro Negro Oeste varían de 0.2 a 2,300 l/s anualmente, con mediciones de caudales promedio de 2 a 50 l/s y caudales mínimos que varían de 0.1 a 4 l/s.

Los caudales de la temporada seca dependen de la liberación del agua subterránea almacenada desde el sistema hidrogeológico. Es importante notar que, dada la escasa frecuencia de los datos de monitoreo de caudales y la actual descarga y

extracción de agua superficial desde los canales comunitarios, no es posible realizar un análisis adecuado del flujo base. Sin embargo, las mediciones de bajo caudal realizadas durante las temporadas secas pueden tomarse como estimaciones del flujo base.

En el Plano 2.4 se indican los puntos de monitoreo de caudales históricos además del inventario de manantiales recientemente realizado por SWS (noviembre de 2009).

El inventario de manantiales se incluye en el Apéndice A. Se seleccionaron cuatro de las ubicaciones identificadas en el inventario de manantiales reciente como puntos de monitoreo adicionales para el área del proyecto (Quebrada Cuyoc, PA-15, PA-105 y PA-123B). Estas ubicaciones están indicadas como nuevos puntos de muestreo en el Plano 2.4.

### **3.12 Hidrogeología**

#### **Información disponible**

A continuación, se hace una breve descripción de la información hidrogeológica disponible, ambas históricas como reciente, para el desarrollo del modelo conceptual hidrogeológico.

Se han realizado cuatro diferentes campañas de investigaciones hidrogeológicas en la zona, comenzando con la instalación de los piezómetros y taladros STZ-001 a STZ-016 que fueron perforados e instalados en 1999 (como parte del programa de perforaciones de esterilización). Estos taladros consisten de piezómetros y taladros abiertos. Los piezómetros habilitados con PVC fueron el taladro STZ-002 y los taladros STZ-005 a STZ013. Los taladros restantes fueron utilizados para recolectar información de niveles de agua durante o inmediatamente posterior a la perforación, pero no fueron habilitados.

Los piezómetros STZ están ubicados en el valle Pampa Cerro Negro cerca del botadero propuesto Cerro Negro Oeste y la pila La Quinoa Etapa 8. Sin embargo, estos piezómetros solo estuvieron activos hasta el 2004.

El segundo grupo de piezómetros fue instalado en 1999 durante los estudios de Cerro Negro y Cerro Quilish (WMC 1999). Estos se instalaron como parte del programa de

perforaciones de exploración geológica, a partir de una selección de taladros geológicos en los cuales se instalaron tubería PVC. CNE-220 fue instalado en el tajo Este y no mostró presencia de agua subterránea. Los otros tres piezómetros fueron ubicados cerca al tajo Cerro Negro Oeste. Solamente CNE-209 interceptó agua subterránea. Sin embargo, estos piezómetros fueron perdidos rápidamente y tienen un corto historial de datos, debido a problemas sociales en la zona. Ninguno permanece activo.

El tercer grupo de piezómetros fue instalado en 2009 por Knight Piesold durante su estudio de diseño para el pad La Quinoa Etapa 8 (LQKPBH09-1 a LQKPBH09-05). Estos piezómetros siguen activos y serán utilizados hasta el desarrollo del pad, cuando serán destruidos por la construcción del mismo.

Durante el 2010, un piezómetro más reciente, CNW-027, fue instalado por MYSRL según las recomendaciones de SWS ubicado en el borde Este del tajo Cerro Negro Oeste propuesto. Este piezómetro permanece activo y se continuará monitoreando durante la etapa de operación y cierre del tajo.

La siguiente Tabla 3 muestra un resumen de la información de los cuatro estudios realizados con respecto a las perforaciones realizadas.

Cabe mencionar que no se considera necesario levantar información geofísica en el área del proyecto debido a que MYSRL posee un amplio entendimiento de la geología e hidrogeología en base a investigaciones directas realizadas mediante programas de exploración y perforación de sondajes. MYSRL usó esta amplia información geológica para desarrollar modelos de bloques geológicos en 3D con un nivel altamente detallado de la propiedad de Yanacocha. Estos modelos de bloque sirvieron de base al desarrollo de los estudios hidrogeológicos anteriores, especialmente para determinar la geometría detallada en 3D de las distintas unidades hidrogeológicas identificadas en el área del distrito de Yanacocha, incluyendo el área del Proyecto Cerro Negro Oeste.

Desde el 2005, SWS está realizando para MYSRL estudios hidrogeológicos del área de operación de Yanacocha, incluyendo el desarrollo y actualización de un modelo numérico de flujo de agua subterránea del distrito de Yanacocha, incorporando toda la información disponible de geología, hidrología, hidrogeología. SWS está

actualmente realizando la actualización del modelo numérico incorporando información histórica y reciente de la propiedad de Yanacocha, incluyendo el área de Cerro Negro Oeste.

Tabla 3. Resumen de perforaciones para el Proyecto Cerro Negro Oeste

Estación de Monitoreo	Este	Oeste	Cota del Collar	Tipo	Cota nivel Freático	Estado	Fecha de Instalación	Profundidad Total	Área de Proyecto	Zona de ranura
	Coordenadas UTM		(msnm)		(msnm)			(m)		(m)
STZ-001	769,328	9,225,385	3,580.8	Drillhole	seco	Piez. histórico	1999	200	La Quinoa N°8A	ND
STZ-002	769,587	9,225,057	3,614.0	Piezómetro	3,567.2	Piez. histórico	04/08/1999	200	La Quinoa N°8A	72-90
STZ-003	769,03	9,225,012	3,589.3	Drillhole	seco	Piez. histórico	1999	200	La Quinoa N°8A	ND
STZ-004	768,545	9,225,000	3,568.2	Drillhole	3,550.2	Piez. histórico	1999	200	La Quinoa N°8A	ND
STZ-005	768,027	9,224,000	3,590.3	Piezómetro	3,581.7	Piez. histórico	4/15/1999	200	La Quinoa N°8A	60-70
STZ-007	766,877	9,223,585	3,677.8	Piezómetro	3,637.8	Piez. histórico	4/22/1999	200	Desmonte CNW	45-55
STZ-008	767,397	9,223,605	3,621.7	Piezómetro	3,619.1	Piez. histórico	4/22/1999	200	Desmonte CNW	65-75
STZ-009	767,036	9,224,480	3,676.7	Piezómetro	3,640.5	Piez. histórico	4/24/1999	200	Desmonte CNW	45-55
STZ-010	768,034	9,225,008	3,597.2	Piezómetro	3,588.5	Piez. histórico	4/27/1999	200	La Quinoa N°8A	30-40
STZ-011	768,029	9,225,503	3,551.6	Piezómetro	3,545.6	Piez. histórico	4/29/1999	200	La Quinoa N°8A	4.0-24
STZ-012	767,009	9,225,571	3,634.1	Piezómetro	3,622.2	Piez. histórico	4/30/1999	200	La Quinoa N°8A	4.5-48
STZ-013	768,043	9,226,013	3,525.1	Piezómetro	3,501.3	Piez. histórico	05/04/1999	200	La Quinoa N°8A	4.5-48
STZ-014	767,516	9,225,564	3,608.6	Drillhole	3,562.6	Piez. histórico	1999	200	La Quinoa N°8A	ND
STZ-015	768,028	9,224,489	3,558.8	Piezómetro	3,558.9	Piez. histórico	05/06/1999	200	La Quinoa N°8A	4.5-25
STZ-016	767,543	9,226,014	3,585.8	Drillhole	3,441.9	Piez. histórico	1999	200	La Quinoa N°8A	ND
CNE-200	765,193	9,224,444	3,664.1	Piezómetro	<3,531.0 (seco)	Piez. histórico	7/25/1999	133	Tajo CNE	3-133
CNE-209	765,004	9,224,950	3,572.2	Piezómetro	3,503.0	Piez. histórico	7/13/1999	86	Tajo CNE	0.5-86
CNE-215	765,489	9,224,989	3,606.8	Piezómetro	<3507.0 (seco)	Piez. histórico	7/15/1999	100	Tajo CNE	0.5-80
CNE-220	766,549	9,224,803	3,791.8	Piezómetro	<3,720.0 (seco)	Piez. histórico	08/07/1999	110	Tajo CNE	59-79
CNW-027	765,412	9,224,797	3,674.9	Piezómetro	3533.3	Piez. nuevo	2/26/2009	180	Tajo CNE	150-180
LQKPBH09-1	768,233	9,226,112	3,507.0	Piezómetro	3,505.8	Piez. nuevo	09-nov-09	30	La Quinoa N°8A	23.03 - 29.1
LQKPBH09-2	768,301	9,225,970	3,508.0	Piezómetro	3,506.2	Piez. nuevo	6-Apr-2009	30	La Quinoa N°8A	23.22-29.22
LQKPBH09-3	768,406	9,225,641	3,515.0	Piezómetro	3,515.0	Piez. nuevo	11-nov-09	33,5	La Quinoa N°8A	26.93-33
LQKPBH09-4	768,448	9,225,375	3,526.0	Piezómetro	3,521.9	Piez. nuevo	31-oct-09	30	La Quinoa N°8A	22.36-28.4
LQKPBH09-5	768,471	9,224,602	3,566.0	Piezómetro	3,542.1	Piez. nuevo	04-nov-09	30	La Quinoa N°8A	24.52-29.34

\* CNW: Cerro Negro Oeste, CNE: Cerro Negro Este

ND: No Disponible

Como se puede apreciar por lo detallado en los últimos párrafos, se tiene una relativamente limitada cantidad de información hidrogeológica directamente en la zona del tajo Cerro Negro Oeste y áreas circundantes. Sin embargo, se ha apoyado en la información existente de áreas cercanas al proyecto con similar geología e hidrogeología, y el conocimiento detallado de las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de Yanacocha, así como el uso del modelo hidrogeológico numérico del distrito de Yanacocha, según lo descrito anteriormente. Además, con la actualización del modelo numérico incorporando la información hidrogeológica histórica y reciente, se tiene una caracterización adecuada del comportamiento de las

aguas subterráneas del área de Yanacocha, incluyendo Cerro Negro Oeste, la cual permite una evaluación adecuada de las condiciones hidrogeológicas durante la operación y cierre del proyecto, así como de los impactos potenciales.

Sin embargo, como parte de su compromiso MYSRL considera importante la instalación de una red monitoreo de aguas subterráneas directamente en el área del proyecto, la cual se detalla en la sección 4.5. La instalación de esta red de monitoreo actualizada, incluyendo la instalación de 15 piezómetros, generará una gran cantidad de nueva información sobre la geología, hidrogeología, parámetros hidráulicos, niveles y hidroquímica de las aguas subterráneas del área del proyecto. Posteriormente, se utilizará esta información para actualizar el modelo hidrogeológico numérico.

### **Unidades Hidrogeológicas**

El control geológico sobre el agua subterránea en el área de Cerro Negro Oeste es consistente con el modelo conceptual hidrogeológico aplicado a otras áreas de la propiedad de MYSRL, como se describió anteriormente (WMC, 2005 y 2006).

Los resultados de hidroquímica de las aguas subterráneas en el Sector Cerro Negro indican que los valores de pH, conductividad y sulfato se han mantenido estables desde 2011 hasta la actualidad, con variaciones cíclicas propias de la estacionalidad. En relación al contenido de metales, los valores de Al, As, Cad, Co, Cu, Fe, Hg, Mn y Pb se mantienen por lo general estables en el tiempo. (Stantec Perú S. A. 2017)

En el área de Cerro Negro Oeste, las unidades con alteración silíceas (principalmente sílice masiva asociada al cuerpo mineralizado) se encuentran restringidas lateral y verticalmente por las unidades con alteración arcillosa. La Figura 2.5 ilustra la extensión de la sílice a una elevación de 3,630 msnm, mientras que la Figura 2.6 muestra la reducción de la extensión de la sílice a una elevación de 3,490 msnm por debajo del piso del tajo propuesto. Esta reducción demuestra el aislamiento vertical del cuerpo de sílice por presencia de unidades de alteración arcillosa de baja permeabilidad por debajo del tajo propuesto.

De acuerdo al modelo hidrogeológico del área de operación de MYSRL (WMC, 2006), las unidades de mayor permeabilidad y presencia de caudales significativos potenciales de agua subterránea están asociados a las unidades con alteración silíceas,

que conforman el yacimiento de Cerro Negro Oeste. Las unidades de menor permeabilidad y caudal de agua subterránea reducido están asociados a las unidades con alteración arcillosa y al basamento rocoso fresco presente en la zona circundante. Las unidades con alteración silíceo y arcillosa pueden tener una diferencia de 1 a 3 órdenes de magnitud en la conductividad hidráulica dado que la alteración arcillosa y el basamento rocoso fresco tienen una conductividad mucho menor. La relación espacial entre las unidades de alteración de conductividad hidráulica y topografía contrastantes controla tanto la distribución de la carga de agua subterránea como el caudal de agua subterránea.

El piezómetro CNE-209 habilitado en material con alteración alunita – arcillosa interceptó el nivel freático en Cerro Negro Oeste en la cota de 3,502 msnm. El piezómetro instalado en la alteración silíceo-arcillosa hasta una profundidad de 3,506 msnm (CNE-215) en otra porción del yacimiento entregó evidencia adicional de que el nivel freático se encuentra muy por debajo de la sílice en toda el área del yacimiento. Estos piezómetros ya no se encuentran activos.

En enero de 2010, se instaló un piezómetro adicional en el margen oriental del tajo (CNW-027). El piezómetro se instaló en la alteración silíceo-arcillosa, con el agua a una cota de 3,533 msnm. A pesar de estar a una mayor cota, todavía se encuentra bastante más abajo de la sílice de Cerro Negro Oeste y es consistente con la menor conductividad hidráulica de la alteración silíceo-arcillosa y apoya el concepto de que el nivel freático está controlado tanto por la topografía como por la permeabilidad relativa de los tipos de alteración.

El Plano 2.6 indica que sólo existen pequeños bolsones de sílice aislados a una cota de 3,490 msnm, justo por debajo del nivel del agua subterránea. Las secciones (S. H-N° 01 y 02) muestran que la base de la forma de sílice se encuentra principalmente sobre una cota de 3,528 msnm.

La sección (S.H-N° 03) muestra tres secciones hidrogeológicas conceptuales en el sector de las instalaciones del proyecto, incluyendo el botadero de desmonte y el pad de lixiviación. La ubicación de estas secciones se ilustra en el Plano 2.1.

En las zonas de valles, se suelen desarrollar suelos pantanosos y unidades sedimentarias no consolidadas. Sistemas de agua subterránea someros locales

ocurren probablemente en estas áreas con potencial de retención de agua subterránea. Generalmente, estas unidades hidrogeológicas están aisladas del sistema de agua subterránea del basamento rocoso y representan acuíferos colgados localizados.

### **Conductividad Hidráulica**

Se realizaron pruebas hidráulicas en el área de Cerro Quilish – Cerro Negro como parte de la evaluación hidrogeológica preliminar realizado en el área en 1999 (WMC, 1999). No se realizaron pruebas hidráulicas en la sílice masiva encontrada en el yacimiento Cerro Negro Oeste dado que el piezómetro CNE-209 interceptó el nivel freático en las unidades de arcilla de baja conductividad hidráulica bajo la sílice y los otros dos piezómetros se mantuvieron secos (CNE-200 y CNE-215). En la Tabla 4 se presenta un resumen de las pruebas de permeabilidad realizadas en el área de Cerro Quilish – Cerro Negro en unidades de rocas similares a aquellas encontradas en Cerro Negro Oeste.

Basándose en la distribución de los tipos de alteración en el yacimiento y la similitud de estas unidades con aquellas existentes en otras áreas del distrito Yanacocha, los valores de conductividad hidráulica supuestos para la sílice masiva son relativamente altos, del orden de ( $1 \times 10^{-6}$  m/s), y están limitados por unidades de roca argílica avanzada y argílica de menor conductividad hidráulica, cuya conductividad es inferior en varios órdenes de magnitud ( $1 \times 10^{-9}$  m/s).

Tabla 4. Resumen de los resultados de las pruebas de permeabilidad para unidades de roca similares en el área de Cerro Quilish – Cerro Negro

<b>Nombre del Piezómetro</b>	<b>Conductividad Hidráulica medida (m/s)</b>	<b>Principales Unidades Hidrogeológicas</b>
CQ-176	$1 \times 10^{-8}$	Argílica
CQ-202	$1 \times 10^{-9}$	Sílice Masiva/ Granular
CQ-209	$1 \times 10^{-6}$	Sílice Masiva/ Granular
CQ-334	$5 \times 10^{-6}$	Sílice Masiva/ Granular
CQ-354	$6 \times 10^{-6}$	Sílice Masiva/ Granular
CQ-419	$6 \times 10^{-6}$	Sílice Masiva/ Granular

*Nota: Información derivada de la evaluación hidrológica del área de Cerro Quilish – Cerro Negro (WMC, 1999).*

Los valores de conductividad hidráulica calculados para los seis piezómetros varían en tres órdenes de magnitud, lo que es típico del basamento rocoso en Yanacocha. El

valor de conductividad hidráulica menor se calculó para CQ-176 y es típico de las unidades de roca argílica. Las conductividades hidráulicas calculadas para la mayoría de los piezómetros habilitados en las unidades con alteración silíceas son consistentes. El valor menor calculado para CQ-202 podría considerarse representativo de la sílice masiva compacta y no fracturada, mientras que el valor más elevado obtenido para los piezómetros restantes es más típico de la sílice masiva fracturada encontrada en Cerro Negro Oeste.

Esto es consistente con los datos de conductividad hidráulica del área de operación de Yanacocha, los que se detallan en el informe del modelo de flujo de agua subterránea del área del EIA Suplementario de Yanacocha (WMC, 2005) y el informe de modelo distrital de flujo de agua subterránea de la Mina Yanacocha (WMC, 2006), se resumen en la Tabla 5.

En el área de la Pila de Lixiviación, se efectuaron 24 ensayos de permeabilidad, 7 ensayos de tipo Lefranc y 17 de tipo Lugeon. Los ensayos Lefranc se efectuaron en suelo o en material rocoso muy fracturado. Los resultados indican que la conductividad hidráulica del material cuaternario en promedio es  $5.5 \times 10^{-5}$  cm/s; para el suelo residual la conductividad hidráulica en promedio es  $3.4 \times 10^{-5}$  cm/s y para las zonas de falla es  $2.5 \times 10^{-5}$  cm/s. Para el caso de basamento rocoso la conductividad hidráulica promedio en las andesitas es  $2.5 \times 10^{-4}$  cm/s (20 UL) y para la toba argílica es  $2.5 \times 10^{-5}$  cm/s (2UL).

Tabla 5. Resumen de los valores de conductividad hidráulica para las unidades hidrogeológicas de Yanacocha

Tipo de lito-alteración	Conductividad hidráulica (m/s)			
	Número de valores	Máximo	Promedio	Mínimo
<b>Basamento rocoso</b>				
Silíceas	14	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-7}$
Silíceas masivas	5	$3,4 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-7}$
Silíceas -aluníticas	3	$4 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-7}$
Silíceas -arcillosas	3	$7 \times 10^{-7}$	$4 \times 10^{-7}$	$2,5 \times 10^{-7}$
Argílicas/Argílicas avanzadas	4	$6 \times 10^{-7}$	$1,6 \times 10^{-8}$	$8 \times 10^{-10}$
Roca de caja	1	$3 \times 10^{-8}$	$3 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-6}$

*Nota: Información derivada del modelo de flujo de agua subterránea del área del EIA Suplementario de Yanacocha (WMC, 2005).*

Los resultados de los ensayos de permeabilidad indican que los materiales de fundación de La Zona de la Pila de Lixiviación, presentan conductividad hidráulica baja (Terzaghi y Peck – 1967). Estos valores son parte del informe elaborado por Knight Piesold en marzo del 2010.

### **Niveles y direcciones de flujo de aguas subterráneas**

Se dispone de datos de los niveles de agua subterránea para el piezómetro (CNE-209), que tenía una cota de agua de 3,502 msnm en 1999, y el piezómetro instalado en enero de 2010 (CNW-027), con una cota de agua subterránea de 3,533 msnm. Como se indicó anteriormente, los otros dos piezómetros instalados (CNE-215 y CNE-220) no interceptaron el nivel freático a las profundidades habilitadas de 3,506 msnm y 3,720 msnm respectivamente.

Sólo el piezómetro nuevo (CNW-027) se encuentra activo actualmente.

Los niveles de agua subterránea y las isopropfundidades correspondientes para toda el área del proyecto en las condiciones actuales se determinaron a partir del modelo numérico que se detalla en la Sección 3 del informe. Los Planos 2.7 a 2.10 muestran los niveles e isopropfundidades respectivamente, para las condiciones actuales, considerando las épocas húmeda y seca del 2010. Los niveles de agua subterránea simulados en el área del yacimiento Cerro Negro Oeste varían de 3,502 a 3,533 msnm. La distribución de los niveles de agua subterránea está relacionada principalmente con la topografía y las diferencias de conductividad hidráulica entre las diversas unidades de alteración.

Los niveles de agua subterránea disminuyen en la dirección de valles de menor altitud ubicadas al norte y al oeste. La dirección del flujo de agua subterránea es hacia fuera del yacimiento Cerro Negro Oeste ubicado en la cercanía del punto topográfico alto Cerro Negro, hacia las quebradas al norte, oeste y sur del área del yacimiento.

Se generaron secciones hidrogeológicas a partir del modelo geológico de bloques de MYSRL (las ubicaciones de las secciones se ilustran en las secciones horizontales, Secciones (S. H-N°01 y 02). Se estimó la elevación del nivel de agua subterránea inferido de acuerdo a la posición relativa de los piezómetros proyectada en las secciones. Las secciones ilustran la posición del agua subterránea con respecto a las

unidades hidrogeológicas descritas anteriormente y la topografía del tajo final. Las secciones indican que el nivel de agua subterránea se encuentra bajo la cota final del tajo de 3,510 msnm y bajo la mayor parte del cuerpo de sílice de Cerro Negro Oeste.

Se espera que el agua subterránea que ingresa al yacimiento en forma de recarga se infiltre a través de la unidad de sílice masiva y sea retenida en las unidades de arcilla, arcilla silíceas y alunita arcillosa, de menor permeabilidad, bajo la sílice.

Esta característica es apoyada tanto por la no presencia de agua en los piezómetros (CNE-200 y CNE-215) que se instalaron en las unidades de arcilla bajo la sílice como por el nivel de agua subterránea en el piezómetro CNE-209 (3,502 msnm) habilitado en las unidades de arcilla subyacentes a las unidades de sílice. Los datos piezométricos muestran que el nivel de agua subterránea en el sector de Cerro Negro Oeste se encuentra en las unidades de arcilla inferiores y que la unidad de sílice está seca.

En general, se espera que la profundidad de los niveles de agua subterránea en las zonas interfluviales varíe desde decenas de metros a más de 100 m bajo el nivel del suelo, mientras que, en las zonas de valles, podrían encontrarse sólo a unos pocos metros bajo el nivel del suelo o incluso al nivel del suelo. Es probable que el agua subterránea somera existente en gran parte del área esté asociada a las unidades hidrogeológicas someras tales como los horizontes no consolidados existentes en los pisos de los valles más que al sistema hidrogeológico profundo asociado al basamento rocoso.

### **Recarga y descarga de agua subterránea**

#### **Recarga de agua subterránea**

Se anticipa que la recarga de agua subterránea por medio de la infiltración directa en el área del yacimiento Cerro Negro Oeste sea baja, debido a que la abrupta topografía genera un alto potencial de escorrentía. Se espera que la mayor parte de la recarga por infiltración en el área se produzca debajo del área del tajo en los sectores medios a bajos de los valles con descarga en los pisos de los valles.

El pequeño volumen de recarga que se produce a través del yacimiento drena a las unidades argílicas subyacentes y no queda retenido en las unidades de sílice del yacimiento.

Para estimar el volumen de recarga promedio anual de la unidad de sílice, se consideró una precipitación promedio de 1,400 mm basándose en los datos de la estación meteorológica de La Quinua.

Se estimó el volumen anual de infiltración, considerando un coeficiente de infiltración de 10% de la precipitación anual total y un área de sílice expuesta estimada en 0.284 km<sup>2</sup>. Se estima que la recarga al yacimiento por infiltración de la precipitación corresponde aproximadamente a un volumen de 39,890 m<sup>3</sup> al año. Esto es equivalente a un caudal instantáneo promedio de 1.3 l/s. Considerando un coeficiente de infiltración del orden de 20%, la estimación de recarga aumentaría a 79,780 m<sup>3</sup>, con un caudal instantáneo promedio de 2.5 l/s.

### **Descarga de agua subterránea**

En general, en del distrito de Yanacocha, los niveles de agua subterránea de los cuerpos de sílice están controlados por puntos de descarga de agua subterránea puntuales, tales como manantiales. Sin embargo, el nivel de agua en el área del yacimiento Cerro Negro Oeste se encuentra bajo la unidad de sílice y probablemente no está controlado por la descarga de manantiales definidos. Conceptualmente, el nivel de agua subterránea está controlado por la topografía y el contraste de conductividad hidráulica entre las distintas unidades de roca bajo la unidad de sílice. Como resultado, no existen puntos de descarga de manantiales definidos que podrían drenar el área del yacimiento, sino más bien áreas de descarga dispersas.

La ubicación de los manantiales inventariados por SVS se muestra en los Planos 2.4 y, con mayor detalle, en los Planos 2.11 y 2.12. Existen cuatro sectores generales de manantiales y afloramientos en el área del yacimiento Cerro Negro Oeste, descritos a continuación:

- Manantiales al noreste del área del yacimiento – considerados como hidráulicamente aislados del cuerpo de sílice de Cerro Negro Oeste por una serie de fallas con dirección noroeste a sureste. La cota de los manantiales varía de 3,525 a 3,600 msnm, generalmente muy por encima de la cota del agua subterránea en el yacimiento de Cerro Negro Oeste. Estos manantiales no son considerados puntos de descarga del área del yacimiento. Estos se

caracterizan por tener un pH que varía entre 5 y 8 y caudales entre 0.008 y 8 l/s. Generalmente, se estima que derivan de agua subterránea somera presente en los depósitos aluviales/coluviales.

➤ Manantiales al sureste del área del yacimiento – considerados como hidráulicamente desconectados del yacimiento dado que generalmente se encuentran a una cota sobre los 3,525 msnm, por lo tanto, no son considerados puntos de descarga del área del yacimiento. La mayor parte de los manantiales existentes en este sector están ubicados principalmente en depósitos aluviales y coluviales y tienen un valor de pH que varía entre 3 y 6, posiblemente debido a una condición pantanosa con acumulación de materia orgánica o el contacto con zonas mineralizadas subyacentes al este del área del Proyecto Cerro Negro Oeste. Los caudales de estos manantiales varían de 0.008 l/s a 7.5 l/s.

➤ Existen dos manantiales ubicados cerca del límite del área del yacimiento mismo. Estos manantiales se encuentran a una cota muy superior a la cota del agua subterránea (variando entre 3,500 a 3,530 msnm) y probablemente son estacionales (PA-100A, 3,677 msnm y PA-101A, 3,664 msnm). Los manantiales se caracterizan por tener agua de baja calidad, con un pH de 4.2 y 4.7 respectivamente, lo que sugiere que han tenido probablemente algún contacto con la zona mineralizada, a pesar de que las temperaturas son relativamente bajas, con 11.3 y 9.7°C, indicando un breve tiempo de residencia. Estos manantiales están ubicados en unidades con alteración arcillosa de acuerdo al mapeo de alteración superficial de MYSRL. Los caudales de los manantiales son bajos, con valores de 0.059 y 0.078 l/s.

➤ Manantiales al oeste – noroeste del yacimiento Cerro Negro Oeste – entre el Río Tinte y la Quebrada Chachacoma y aquellos ubicados inmediatamente al sur en la Quebrada Chachacoma. Este sector incluye distintas zonas de descarga potencial para el área del yacimiento. Los manantiales presentes en el área tienen una cota menor que la cota del agua subterránea en el tajo (variando entre 3,500 a 3,533 msnm), entre 3,350 y 3,475 msnm, y están caracterizados por tener un bajo pH, de 2.6 a 4.8, y

temperaturas elevadas, entre 12 y 17 °C, lo que indica que el agua ha estado posiblemente en contacto con zonas mineralizadas y tiene una baja calidad naturalmente. Existen diversas zonas en el sector en las cuales se encuentran manantiales que constituyen potenciales puntos de descarga:

- ❖ Quebradas sin nombre ubicadas al noroeste de Cerro Negro Oeste. La elevación de estos manantiales varía de 3,250 a 3,340 msnm y están asociados a fallas y/o al área de contacto entre unidades de alteración arcillosa y la alteración silíceo-arcillosa de acuerdo al mapeo de la alteración superficial de MYSRL (Plano 2.2). Los caudales de estos manantiales son pequeños, variando entre 0.05 l/s y 2.95 l/s.
- ❖ Quebrada Chachacoma, al suroeste del yacimiento Cerro Negro Oeste. La elevación de estos manantiales varía de 3,325 a 3,637 msnm y estos manantiales están asociados a fallas o al contacto entre las unidades con unidades de alteración arcillosa y silíceo-arcillosa. Los caudales de estos manantiales son pequeños y varían entre 0.05 l/s y 1.42 l/s.
- ❖ En el sector alto de la Quebrada Chachacoma, existen unos pocos manantiales que podrían estar conectados con el área del yacimiento a través de una serie de fallas que interceptan tanto el área del yacimiento como la Quebrada (PA-68a y b, PA-69b, PA-70 y PA-71) (Planos 2.1, 2.2 y 2.11). Las fallas podrían constituir una conexión hidráulica potencial entre la quebrada y el área del yacimiento, dado que esta serie de manantiales se encuentra cercana a la cota del agua subterránea en el área del yacimiento. Sin embargo, los caudales de estos manantiales son pequeños, entre 0.02 y 0.23 l/s, con una descarga total de 0.49 l/s.

La descarga de agua subterránea del área del yacimiento como aporte de flujo base al flujo de agua superficial se produce aguas abajo en el sistema de drenaje de las subcuencas, como se describe anteriormente.

Sin embargo, considerando que el yacimiento está ubicado en la parte superior de la divisoria de las cuencas adyacentes de la Quebrada Chachacoma / Río Tinte y la pequeña área de captación del yacimiento Cerro Negro Oeste, se espera que el flujo

base aportante aguas abajo sea mínimo (estimado entre 1.3 y 2.5 l/s). En general, es probable que se produzca descarga a través de los sistemas de fallas y en los contactos entre los tipos de alteración de mayor y menor permeabilidad (Planos 2.1 y 2.2).

### **Balance de agua**

Con la información descrita en las secciones previas sobre la recarga y descarga del sistema conceptual, se puede generar un balance de agua para la zona. En la Tabla 3.8, se detallan los resultados del balance para las condiciones actuales y durante la operación del proyecto.

Para entender mejor los conceptos del balance, se presenta una figura esquemática (Figura. N° 8) donde se visualiza todos los componentes de recarga y descarga dentro de un sistema de agua subterránea o acuífero. Al tomar una unidad de acuífero, y aplicando la ley de la conservación de la masa, uno puede generar ecuaciones para discretizar las diferentes variables, obteniendo un balance hídrico total.

$$\Delta S = GW_{IN} + R + GW_{OUT} - \text{Drenaje}$$

En general, en la ecuación presentada, todo lo que ingresa al sistema se toma como recarga (positivo) y lo que sale como descarga (negativo) para juntos realizar un balance de agua. La principal fuente de recarga del sistema es la precipitación, la cual se divide entre la escorrentía superficial, la infiltración hacia el acuífero y ciertas pérdidas por evapo-transpiración durante el proceso. Debido a que la escorrentía superficial y evapotranspiración no ingresan al acuífero, no se consideran dentro del balance de agua subterráneo. La recarga por infiltración (R) se expresa como un porcentaje de la precipitación, que se infiltra hacia el acuífero, recargándolo.

$$R = \text{Precipitación} * \text{Infiltración (\%)}$$

Debido a la naturaleza dinámica del sistema subterráneo, dentro del balance se debe considerar el flujo de agua que atraviesa el sistema subterráneo, el cual ingresa como flujo (GWIN) y sale (GWOUT), recargando y descargando. La cantidad fluctuante de agua que en un momento de tiempo está retenido dentro del acuífero, se denomina como almacenamiento (S). Finalmente, se debe considerar la descarga, o el drenaje, hacía el sistema superficial como flujo base a los cuerpos de agua (ríos, lagunas) o

como manantiales. Estos ocurren cuando el nivel freático está muy próximo o por encima de la cota del terreno.

Juntando todos los términos anteriores, se obtiene un balance general, que se puede aplicar para cualquiera de los diferentes componentes o áreas del sistema modelado. Tabla 11.

### 3.13 Hidroquímica

#### Información Disponible

La calidad hidroquímica de las aguas superficiales se ha obtenido a partir de los resultados del programa de monitoreo ambiental de MYSRL.

Las estaciones de monitoreo ya se analizaron anteriormente. Las ubicaciones de las estaciones de monitoreo se muestran en los planos 2.3, 2.11 y 2.12.

#### Aguas superficiales

La calidad de las aguas superficiales se obtuvo a partir de la base de datos ambiental de MYSRL, considerando las estaciones de monitoreo más cercanas al yacimiento Cerro Negro Oeste. Las estaciones de monitoreo seleccionadas son QCHA, MCN, QDM, QARC, QCN1, QCN3, QCN4, QPR1, QCNP y QPR2.

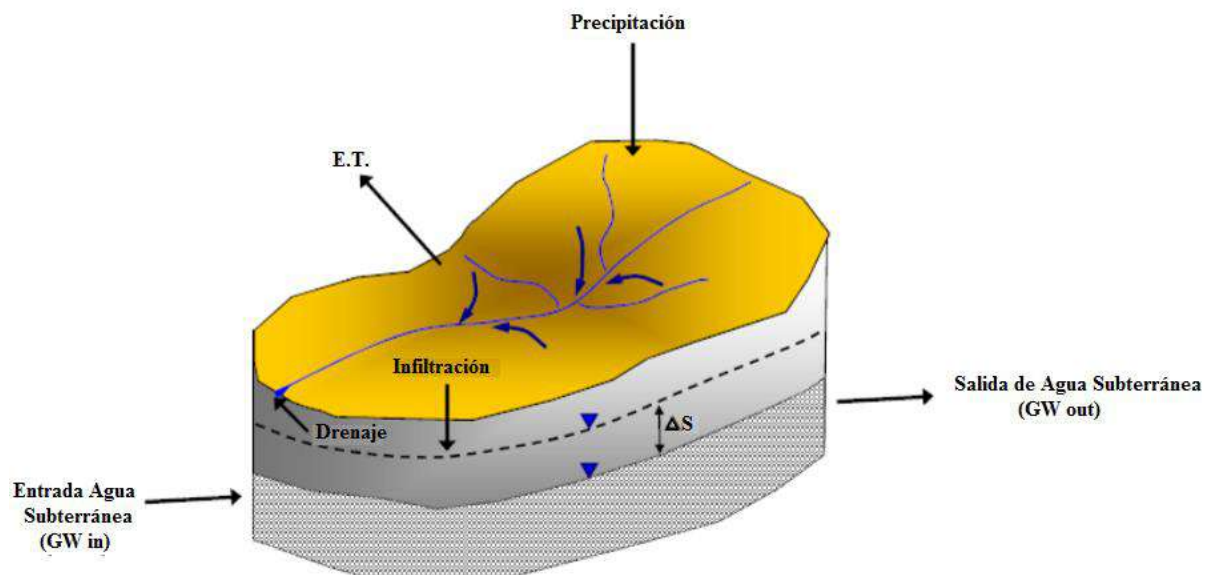


Figura 8: Balance Hídrico Subterráneo

Además, se incluyeron cuatro nuevas ubicaciones identificadas en el inventario de manantiales realizado en noviembre de 2009: la Quebrada Cuyoc, PA-15, PA-105 y

PA- 123B como se indica en el Plano 2.4.

Las principales características de las aguas superficiales existentes en el área del yacimiento pueden describirse de la siguiente manera, considerando los valores promedio de los parámetros:

- El pH varía entre 3.4 y 8.2.
- Las concentraciones de Sólidos Totales Disueltos (STD) son bajas (con una variación de 5 a 152 mg/l).
- Los valores de conductividad eléctrica varían de 19 a 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- Las concentraciones de Sólidos Totales Suspendidos (STS) son bajas, generalmente inferiores a 5 mg/l, con valores aislados de 10 a 150 mg/l.
- El calcio y el sodio son los cationes principales dominantes.
- El sulfato es el anión principal dominante.
- Las concentraciones de la mayoría de los metales son bajas o se encuentran bajo el límite de detección.

### **Aguas Subterráneas**

De los tres pozos instalados en el área de Cerro Negro Oeste en 1999, dos no alcanzaron el nivel freático (CNE-200 y CNE-215) y el tercero llegó justo al nivel freático (CNE-209). No se tomaron muestras de este piezómetro durante la evaluación hidrológica preliminar del yacimiento Cerro Negro Oeste (WMC, 1999). En enero de 2010, se instaló el piezómetro CNW-027. En febrero de 2010, se tomó una muestra de este piezómetro para análisis hidroquímicos detallados.

La información sobre la calidad de las aguas subterráneas se basa principalmente en muestras de calidad de agua tomadas de los puntos de monitoreo de aguas superficiales históricas tomadas durante la temporada seca y que se supone que corresponden al flujo base (equivalente a la descarga del sistema de agua subterránea) como también en la muestra reciente del piezómetro CNW-027. Basándose en la información anterior y en los parámetros de terreno obtenidos durante el inventario de manantiales realizado recientemente (SVS, noviembre de

2009), se realizó una caracterización general de la calidad de las aguas subterráneas en el área del proyecto (Planos 2.11 y 2.12).

Se hizo un plan de monitoreo del agua subterránea en la zona de las instalaciones del Proyecto Cerro Negro Oeste. Este plan incluye la instalación de 15 piezómetros en ubicaciones aguas arriba y aguas debajo de las principales instalaciones en base a los resultados de las simulaciones predictivas del modelo numérico. Para generar una línea base confiable del agua de en condiciones pre-mineras, se ha planteado monitorear la calidad de agua en todos los piezómetros instalados.

Los piezómetros serán muestreados trimestralmente y las muestras serán recolectadas, preservadas y analizadas de acuerdo a los procedimientos generalmente aceptados en el Perú e internacionalmente. En la Tabla 6 se indica la frecuencia de monitoreo y la lista de parámetros analíticos de interés.

Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos propuestos

<b>Frecuencia</b>	<b>Parámetros de Laboratorio</b>	
<b>Trimestral</b>	pH	Berilio
	Sólidos Totales	Cadmio
	Suspendidos	Cromo Total
	Cianuro Total	Cromo VI
	Cianuro WAD	Cobre
	Cianuro Libre	Hierro
	Fluoruro	Plomo
	Nitrato como N	Mercurio
	Nitrito como N	Niquel
	Sulfatos	Selenio
	Aceites y Grasas	Talio
	Antimonio	Zinc
	Arsénico	
	Bario	

(1) Los metales y metaloides serán analizados como fracciones totales y fracciones disueltas. Fuente: Minera Yanacocha, 2010, Departamento Medio Ambiente.

### **3.14 Construcción del modelo predictivo del proyecto Cerro Negro Oeste**

#### **Desarrollo del modelo**

Desde el 2005, SWS está realizando para MYSRL el desarrollo y actualización de un modelo numérico de flujo de agua subterránea del distrito de Yanacocha, incorporando toda la información disponible de geología, hidrología, hidrogeología obtenida de la operación de Yanacocha (WMC, 2005, 2006, 2009). El área del

proyecto Cerro Negro Oeste está incluido en este modelo, por lo tanto, se usó el modelo existente para la evaluación de los impactos potenciales sobre las aguas subterráneas del área del proyecto.

Cabe destacar que el modelo es una representación simplificada de un sistema natural complejo. Por lo que, el modelo distrital de Yanacocha, tanto conceptual como numérico, incluyendo el proyecto Cerro Negro Oeste, se revisa con frecuencia y se actualiza con el fin de incorporar toda la información histórica de operación relacionada con las aguas subterráneas, así como la información reciente. El objetivo es mejorar de esta manera la representación del modelo a través del desarrollo de las operaciones de Yanacocha, y lograr un mejor entendimiento del comportamiento de las aguas subterráneas del área, tanto para la operación como para el cierre de todas las operaciones de Yanacocha, incluyendo el proyecto Cerro Negro Oeste.

SWS está actualmente realizando la actualización del modelo numérico incorporando información histórica y reciente de la propiedad de Yanacocha, incluyendo el área de Cerro Negro Oeste. A partir del modelo actualizado, se podrá refinar la evaluación de los impactos potenciales del proyecto sobre las aguas subterráneas.

### **Período de simulación**

La simulación predictiva de la operación del Proyecto Cerro Negro Oeste se basó en las modificaciones al modelo predictivo calibrado durante el desarrollo del modelo por SWS en 2006 (WMC, 2006). La simulación predictiva cubre el período de marzo de 2006 a diciembre de 2018. El período de simulación está dividido en 51 intervalos de tiempo, cada uno de los cuales tiene una duración de 3 meses. El período de simulación predictiva incluye el desarrollo del tajo Cerro Negro Oeste, de las cinco canteras de roca, del depósito de desmonte y de la ampliación de la pila de lixiviación La Quinoa Etapa 8. Todas las demás instalaciones del área de operación de Yanacocha permanecen idénticas a la última simulación predictiva realizada en marzo de 2009 para la modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Carachugo (Simulación de los impactos potenciales sobre las aguas subterráneas asociados con la ampliación del Proyecto Carachugo suplementario Yanacocha Este, SWS, marzo de 2009).

### Recarga estacional

La recarga estacional se aplica al modelo predictivo en forma trimestral, utilizando la precipitación promedio para las estaciones meteorológicas ubicadas en la propiedad de Yanacocha. La precipitación promedio se obtiene desde las estaciones meteorológicas Maqui Maqui, Carachugo, Yanacocha y La Quinoa. La precipitación promedio se multiplica por los porcentajes de infiltración definidos para cada zona de recarga del modelo predictivo con el fin de obtener el caudal de infiltración o recarga promedio asociado a cada período. La serie de valores trimestrales se repite cada año desde marzo de 2006 a diciembre de 2018. En la Tabla 7 se describe la precipitación trimestral obtenida a partir de la precipitación promedio para todas las estaciones meteorológicas de Yanacocha.

#### 3.15 Descripción de las instalaciones simuladas del Proyecto Cerro Negro Oeste

El modelo predictivo evalúa el impacto potencial combinado sobre las aguas subterráneas de las instalaciones propuestas incluidas en el EIAM de Cerro Negro. Las instalaciones propuestas se indican en la Tabla 8 y se muestran en el Plano 3.1.

Tabla 7. Precipitación promedio trimestral para el área de operación de MYSRL

Periodo de Estrés	Precipitación Promedio Trimestral (mm)
Diciembre - Febrero	489
Marzo - Mayo	417
Junio - Agosto	52
Septiembre - Noviembre	365

Tabla 8. Instalaciones simuladas en el modelo predictivo del EIAM del Proyecto Cerro Negro

Tipo de Instalación	Nombre
Tajo	Cerro Negro Oeste y Cerro Negro Este
Cantera Roca	Cantera de roca Francesca y canteras adicionales A,B,C,D
Pila de Lixiviación	La Quinoa Etapa 8
Depósito de Desmonte	Cerro Negro Oeste

*Nota: No se incluye los depósitos de suelo superficial Noemí y Canta ni la vía de acarreo, por no tener influencia en las aguas subterráneas.*

En la Tabla 9 se presenta un resumen del desarrollo propuesto, año a año, para el tajo Cerro Negro Oeste y las instalaciones asociadas y se ilustra el cronograma de las

distintas instalaciones simuladas en el modelo predictivo.

Tabla 9. Cronograma del desarrollo de las instalaciones simuladas del Proyecto Cerro Negro Oeste

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tajo Cerro Negro Oeste	X	X	X	X	X	X	X
Canteras de roca	X	X	X	X	X	X	X
Pila de lixiviación La Quinoa Etapa 8		X	X	X	X	X	X
Depósito de desmonte Cerro Negro Oeste		X	X	X	X	X	X

Las variaciones de la extensión del tajo a través del tiempo están reflejadas en el modelo a través de la influencia sobre la distribución espacial de la recarga al sistema de agua subterránea. En consecuencia, la distribución espacial aumenta a medida que se expande el área del tajo con el desarrollo del proyecto. Las variaciones de extensión del tajo se representaron en forma anual en el modelo predictivo.

Se ha asumido que la pila de lixiviación y el depósito de desmonte eliminan completamente la recarga producto de la infiltración de precipitaciones. Esto se basa en el supuesto de que los sistemas de sub-drenaje instalados en la base de cada instalación captan toda la recarga proveniente del material sobreyacente. Además, se supone que, debido a la gradación y preparación del terreno antes del emplazamiento de los materiales del depósito de desmonte y la pila, el área de recarga cero asociados a estas instalaciones no varían a través del tiempo.

Todas las áreas ocupadas por el depósito de desmonte y la pila de lixiviación están incorporadas espacialmente en un único intervalo de tiempo al inicio del desarrollo de las instalaciones.

El tajo de Cerro Negro Oeste, al igual que el resto de los tajos del área de operación, son representados en el modelo predictivo por zonas de recarga concordantes con la extensión proyectada de estos tajos y con un porcentaje de infiltración potencialmente superior debido a la exposición directa de las unidades de sílice.

El área de recarga correspondiente a cada tajo varía con el tiempo de acuerdo con el plan minero de MYSRL. Se asume que la tasa de recarga o porcentaje de precipitación anual para el tajo Cerro Negro Oeste es similar al valor usado para Cerro Negro Este,

el que se obtuvo a partir del modelo calibrado y fijado en un 20%.

Entre julio y diciembre del 2011, durante la fase de construcción de la pila de lixiviación Etapa 8, el material de la cantera se excavará desde la porción superior oeste del tajo Cerro Negro Este y las canteras adicionales, designadas como las canteras de roca en el modelo. La excavación del material de las canteras está representada en el modelo como un área de mayor recarga similar a aquella del tajo Cerro Negro Este existente que se obtuvo a partir del modelo calibrado y por lo tanto el porcentaje de recarga se ha fijado en un 20%.

La pila de lixiviación La Quinoa Etapa 8 se extiende sobre un drenaje existente (Quebrada Pampa Cerro Negro). La quebrada está representada por celdas de drenes que están configuradas con una cota base equivalente a la superficie del suelo, permitiendo que el agua subterránea descargue desde el modelo basado en la cota superficial y la cota de agua pronosticada.

En el caso de la pila de lixiviación La Quinoa Etapa 8, los drenes simulados permanecen durante la simulación basado en el supuesto de que se instalará un sistema de subdrenaje eficiente que permitirá captar la descarga de agua subterráneas de los manantiales y afloramientos bajo la pila de lixiviación durante la operación de la pila de lixiviación.

### **3.16 Simulación del drenaje de los tajos**

El desarrollo de los tajos del área de operación de MYSRL se representa en el modelo predictivo con celdas de dren ajustadas a una elevación equivalente a los objetivos de drenaje definidos por MYSRL para asegurar que el nivel de agua subterránea se encuentre debajo del piso de los tajos durante el desarrollo de los tajos. Los drenes del modelo reducen el nivel de agua subterránea hasta la elevación del dren y el volumen correspondiente de agua subterránea para alcanzar este nivel está descargado del modelo. La descarga simulada desde los drenes es una estimación aproximada del volumen de desagüe que se bombeará para alcanzar los niveles freáticos previstos. Al término de la vida útil de los tajos que finalizan antes del año 2018, las celdas de drenes que simulan el drenaje de estos tajos se dejaron activas asumiendo la continuación del desagüe hasta el fin de la vida útil de la mina en el año 2018 para mantener los tajos secos. La configuración de los drenes que simula el desarrollo de

los tajos del área de operaciones de MYSRL se muestra en el Plano 3.2.

La cota final del tajo Cerro Negro Oeste se encuentra sobre el nivel de agua regional en la simulación del modelo. Este resultado es corroborado con las cotas de niveles de agua históricas derivadas del sondaje CNE-209 y varios piezómetros secos instalados en el área bajo la cota del tajo final (CNE-200 y CNE-215) y la cota del agua a partir del piezómetro recientemente instalado CNW-027. Debido a que la cota del agua permanece bajo la cota final del tajo, no se requiere drenar el tajo para su excavación, por lo tanto, no se utilizó ninguna celda para drenes adicional en la simulación actual del tajo.

Cabe señalar que el modelo simula un gradiente muy abrupto en la pared este del tajo, lo que indica que el tajo podría interceptar el nivel freático en esta área localizada según el modelo. El nivel de agua derivado del piezómetro reciente CNW-027 instalado cerca del margen oriental del tajo confirma que los niveles de agua en esta área son superiores a aquellos del margen occidental, lo que indica la existencia de un gradiente hidráulico. Sin embargo, se anticipa que el gradiente simulado por el modelo es considerablemente más abrupto que en la realidad debido al contacto marcado entre la unidad de sílice de mayor permeabilidad y la unidad de roca regional de baja permeabilidad circundante. En realidad, este material, si se encuentra presente en grandes cantidades en la pared del tajo, no sería drenable y, por lo tanto, no requeriría drenaje sino despresurización.

### **3.17 Simulación de los impactos potenciales asociados a las instalaciones de Cerro Negro Oeste**

#### **Impactos simulados sobre el flujo base**

Para evaluar el impacto potencial de las operaciones futuras en el área EIAM del Proyecto Cerro Negro sobre el flujo base, se han utilizado tres simulaciones para la evaluación del período de marzo de 2006 a diciembre de 2018. Las simulaciones son las siguientes: (1) la simulación actual que incluye todas las instalaciones asociadas al EIAM del Proyecto Cerro Negro, (2) la simulación más reciente que incluye todos los proyectos del área de operación de Yanacocha incluyendo los proyectos de la ampliación del Proyecto Carachugo suplementario (SWS, marzo de 2009) y (3) una simulación en condición natural simulando la situación del sistema de aguas subterráneas sin considerar las operaciones mineras. La diferencia entre los flujos

base simulados entre las distintas simulaciones representa el impacto pronosticado de las instalaciones mineras propuestas.

Se utilizaron puntos de control para evaluar el impacto sobre los flujos base en los cursos de agua que drenan el área adyacente al sector de Cerro Negro Oeste. El detalle de los puntos de control utilizados para la simulación del flujo base se presentan en el Plano 4.1.

En la Tabla 10 se presenta la reducción del flujo simulada por los puntos de control del modelo durante la temporada seca al final de la vida útil de la mina en 2018 para la simulación en condiciones naturales, la simulación realizada en marzo de 2009 para el EIA Suplementario de Carachugo y la simulación realizada para este estudio considerando todas las instalaciones asociadas al Proyecto Cerro Negro Oeste.

### **Comparación del flujo base simulado**

La comparación entre la simulación en condiciones naturales (pre-minado) y la simulación actual del Proyecto Cerro Negro Oeste mostrada en la Tabla 10 indica una reducción despreciable del flujo base simulado (1 a 3%) en las Quebradas Tranca, Chachacoma y sin nombre que circundan el tajo Cerro Negro Oeste y una significativa reducción del flujo base simulado en la Quebrada Pampa Cerro Negro, del orden de 30%. Cabe mencionar que una reducción en los flujos base menor a 5% se considera un impacto despreciable debido a que el orden de error en la medición de caudales por los equipos utilizados en campo es comparable.

Según los resultados de la Tabla 10, la reducción del flujo base en comparación con las condiciones naturales no se atribuye en su totalidad al Proyecto Cerro Negro Oeste sino a una combinación de las operaciones mineras existentes y el Proyecto Cerro Negro Oeste propuesto.

Las comparaciones del flujo base entre la simulación representando las condiciones existentes (Simulación 2009/Carachugo) y la simulación de la modificación del Proyecto Cerro Negro Oeste indican una reducción despreciable del flujo base en las Quebradas Tranca y Chachacoma, con reducción de caudal base inferior a 2%, tal como se muestra en la Tabla 10.

En el caso de la Quebrada Pampa Cerro Negro, de la reducción total del caudal base

simulado en 6.1 l/s, 1.9 l/s se atribuyen a las operaciones mineras existentes o aproximadamente el 30% de la reducción del flujo base. El 70% restante de la reducción del flujo base se atribuye a la instalación de la pila de lixiviación La Quinoa Etapa 8 en la Quebrada Pampa Cerro Negro.

Por lo tanto, se espera que se produzca una reducción significativa del flujo base a través de la vida útil de la pila de lixiviación La Quinoa Etapa 8 en la Quebrada Pampa Cerro Negro, mientras que no se espera ninguna reducción significativa de flujo base en las otras quebradas ubicadas en el área de influencia del Proyecto Cerro Negro Oeste.

Cabe señalar que se producirán impactos adicionales en la Quebrada Pampa Cerro Negro, como se detalla en la Tabla 10, como resultado de agua subterránea emergente desde el sistema de sub-drenaje de la pila de lixiviación y el depósito de desmonte. El agua que emerge bajo la pila de lixiviación no descargará directamente aguas abajo en la Quebrada Pampa Cerro Negro, ya que será canalizada hacia pozas de retención para ser muestreada y descargada de acuerdo a un estándar mínimo de calidad de agua. Si se encontrara que el agua está contaminada debido a una posible rotura del revestimiento de la instalación, requeriría tratamiento antes de ser descargada al medioambiente.

De manera similar a la pila de lixiviación, el depósito de desmonte propuesto se extenderá sobre un área en la cual se han identificado manantiales como parte del inventario de manantiales realizado por SVS en noviembre de 2009. La descarga de los manantiales a través del área cubierta será captada por un sistema de sub-drenaje similar al de la pila de lixiviación. Considerando la escala regional del modelo numérico, la representación del modelo en el área del depósito de desmonte no es lo suficientemente fina como para simular los manantiales identificados en el área. Por lo tanto, no es posible realizar estimaciones de la reducción del flujo base en la Quebrada Pampa Cerro Negro por la presencia del depósito de desmonte utilizando el modelo. Sin embargo, basándose en el inventario de manantiales realizado en noviembre de 2009 por SWS, la reducción adicional en la Quebrada Pampa Cerro Negro debido a la presencia del depósito de desmonte se ha estimado en 1 a 2 l/s.

Debido a que esta porción del flujo base no es descargada directamente a la

Quebrada Pampa Cerro Negro, este representa impactos adicionales en cuanto al flujo base de la quebrada aguas abajo del depósito de desmonte y la pila de lixiviación. En el modelo predictivo, aproximadamente 7.9 l/s emergen desde las celdas de drenes bajo la huella de la pila de lixiviación. Suponiendo que este caudal es canalizado a las pozas de retención y a la planta de tratamiento, el caudal base restante en la quebrada sería de aproximadamente 4 l/s, equivalente a una reducción del 80% en comparación con la simulación en condición natural y una reducción del 78% en comparación con la simulación actual considerando las instalaciones del Proyecto Cerro Negro Oeste.

### **Balance de agua**

Se ha realizado un balance de agua para las diferentes instalaciones del proyecto, para analizar su cambio en recarga, drenaje y almacenamiento. Este balance fue realizado desde el 2010 al 2018. Los valores del 2010 representan las condiciones actuales antes del comienzo del desarrollo de la instalación y desde el 2012 al 2018 muestra los cambios por el desarrollo de las instalaciones en las zonas del tajo, botaderos de desmonte y pilas de lixiviación. La Tabla 11 muestra el resumen de los resultados del cálculo del balance hídrico subterráneo.

Al revisar los resultados del balance hídrico se ve claramente el cambio en la cantidad de recarga en la zona de la pila de lixiviación y el botadero de desmonte. La cantidad de recarga anual es aproximadamente 44.3 l/s en el 2010 y 2011, y se reduce a 32.1 l/s en el 2012 debido al impacto del desarrollo de los sistemas de drenaje del botadero de desmonte y de la pila de lixiviación. Estos sistemas captan la escorrentía que se infiltraría potencialmente en el suelo, previniendo la recarga de las aguas subterráneas.

Adicionalmente, la zona oeste que incluye el tajo Cerro Negro Oeste y las canteras, muestran una cantidad casi constante de infiltración como recarga, de 138.9 l/s en 2010 a 139.6 l/s en 2018. Tomando en consideración toda el área del proyecto, incluyendo ambas zonas Este y Oeste para el balance de agua de recarga, la recarga por precipitación disminuye de 183.3 l/s a 171.7 l/s debido a la combinación de ambos efectos de reducción y aumento de recarga durante el período.

Tabla 10. Variaciones del flujo base simulado para las simulaciones del modelo de Cerro Negro Oeste al final del proyecto, temporada seca de 2018

Punto	Ubicación	Temporada seca 2018 Simulación natural preminado	Temporada seca 2018 Simulación 2009 Carachugo	Temporada seca 2018 Simulación actual/ Cerro Negro Oeste	Diferencia Condiciones naturales - Simulación Cerro Negro Oeste		Diferencia Simulación 2009 Carachugo - Simulación Cerro Negro Oeste	
					(l/s)	(%)	(l/s)	(%)
QTR	Quebrada Tranca	22.1	22	21.5	0.6	-3	0.5	-2
QTR2	Quebrada Tranca	45.7	45.5	45.0	0.7	-2	0.5	-1
QCHA	Quebrada Chachacoma	5.1	5.1	5.0	0.1	-3	0.1	-2
QCHA2	Quebrada Chachacoma	5.7	5.7	5.6	0.2	-3	0.1	-2
QDA3	Quebrada (sin nombre)	10.7	10.6	10.6	0.1	-1	0.1	-1
QPCN	Quebrada Pampa Cerro Negro	20.1	18.2	13.9	6.1	-30	4.2	-23
					*16,0	*-80,0	*14,1	*-78,0

\*Impacto adicional suponiendo que el agua subterránea que emerge bajo el depósito de desmonte y la pila de lixiviación La Quinoa Etapa 8 no es descargada directamente aguas abajo.

El balance de agua presentado en la Tabla 11 muestra también que la descarga por los drenes que representa la red de drenaje de agua superficial del área del modelo varía con el tiempo. Los valores negativos para el flujo de descarga por drenes indican que el agua se está retirando del modelo. La descarga en la zona Este del modelo por drenes varía de 35.3 L/s a 25.5 L/s durante la operación, lo cual está relacionada a la reducción en la cantidad de recarga debido al desarrollo de la pila La Quinoa Etapa 8 y el botadero de desmonte. Para la zona Oeste, la cantidad de descarga también se reduce ligeramente de 146.6 a 145.5 l/s, a pesar del incremento en la recarga por precipitación. Esto se debe a la influencia del desarrollo del botadero próximo a la frontera entre las dos zonas. La reducción en la recarga por el botadero tiene un efecto más significativo en la zona Oeste que la recarga local en el área de los tajos y las canteras. En general en el área del proyecto, la cantidad de descarga de los drenes se reduce de 181.9 a 171 l/s debido al mayor efecto de disminución de la recarga por el botadero y la pila.

En el balance de agua, la recarga y descarga de agua subterránea se presenta en conjunto. Los flujos positivos representan la recarga neta a las diferentes zonas o al área total del proyecto o flujo entrante desde las áreas del modelo circundantes al proyecto. Los flujos negativos consecuentemente representan la descarga neta. Se debe tener en cuenta que esto es solamente una representación del balance del flujo neto para el flujo subterráneo y que en varias zonas del modelo el agua pudiera estar descargando y en otras recargando a las zonas definidas para el balance de agua. Debido a que la zona del proyecto forma parte de un mayor sistema de agua subterránea, este balance de agua es complejo de evaluar, pero en general el balance de flujo subterráneo incrementa de  $-0.8$  l/s en 2010 a  $10.1$  l/s en 2012. Esto se debe al nivel inferior del agua subterránea en la zona Este por disminución en la recarga por precipitación lo que causa un incremento en el flujo hacia el área desde la dirección Este. De ahí, desde 2012 hasta 2018, el balance de flujo subterráneo se equilibra debido al efecto posterior de incremento en la recarga por infiltración de la precipitación en el tajo Oeste y de la cantera, a lo largo de su desarrollo.

El componente de almacenamiento representa el cambio en volumen como l/s en la cantidad de agua almacenada en las zonas consideradas para el balance. Por ejemplo, un valor negativo representa una disminución en la cantidad almacenada, mientras que un valor positivo significa un incremento. Un valor negativo también significa que en general, los niveles de agua en la zona del balance se redujeron y que zonas con valor positivo, se incrementaron.

En general la cantidad de agua almacenada en la zona Este disminuye en el 2010 y 2011, con valores de  $-0.5$  y  $-0.8$  l/s previo al desarrollo de la pila y el botadero, debido a cambios en la napa freática por trabajos anteriormente desarrollados en la zona como la pila La Quinoa, la cual redujo la cantidad de recarga desde el Este. En 2012 se observa una notable reducción en la cantidad de agua almacenada debido al desarrollo de la pila y el botadero que inmediatamente reduce la cantidad de recarga por infiltración de la precipitación al agua subterránea. De ahí, hasta el 2018 el efecto se va reduciendo mientras el sistema regresa hacia equilibrio con el cambio y también con el efecto del incremento en la recarga por precipitación desde el tajo Oeste. Sin embargo, este indica que en general los niveles de agua subterránea en la zona Este disminuyen con el tiempo.

Tabla 11. Balance de agua subterránea para los componentes del proyecto

Balance de agua subterránea (Promedio por año)				
Región Este (Pila La Quinua Etapa 8 y Cerro Negro Oeste Desmonte)				
Año	Flujo Subterráneo (balance) (l/s)	Recarga (entrada) (l/s)	Drenaje (salida) (l/s)	Cambio en Almacenamiento (l/s)
2010	-8,5	44,3	-35,3	-0,5
2011	-7,8	43,7	-35,1	-0,8
2012	1,2	32,0	-28,7	-4,5
2013	-2,4	32,1	-27,2	-2,5
2014	-3,9	32,1	-26,6	-1,6
2015	-4,8	32,1	-26,2	-1,1
2016	-5,3	32,1	-25,9	-0,8
2017	-5,8	32,1	-25,7	-0,6
2018	-6,1	32,1	-25,5	-0,5
Región Oeste (Tajo Cerro Negro Oeste y Canteras)				
Año	Flujo Subterráneo (balance) (l/s)	Recarga (entrada) (l/s)	Drenaje (salida) (l/s)	Cambio en Almacenamiento (l/s)
2010	7,7	138,9	-146,6	-0,1
2011	7,6	139,0	-146,5	-0,1
2012	8,9	138,5	-146,1	-1,3
2013	7,7	139,3	-146,1	-0,9
2014	7,2	139,4	-145,9	-0,7
2015	6,9	139,5	-145,9	-0,6
2016	6,6	139,6	-145,7	-0,5
2017	6,2	139,6	-146,6	-0,3
2018	6,0	139,6	-146,5	-0,1
Todo Región de Proyecto Cerro Negro Oeste				
Año	Flujo Subterráneo (balance) (l/s)	Recarga (entrada) (l/s)	Drenaje (salida) (l/s)	Cambio en Almacenamiento (l/s)
2010	-0,8	183,3	-181,9	-0,6
2011	-0,2	182,6	181,6	-0,9
2012	10,1	170,6	174,8	-5,8
2013	5,3	171,4	-173,4	-3,3
2014	3,3	171,5	-172,5	-2,3
2015	2,1	171,6	-172,1	-1,7
2016	1,3	171,7	-171,6	-1,3
2017	0,5	171,7	-171,3	-0,9
2018	-0,1	171,7	-171,0	-0,6

Para la zona Oeste, el cambio en el almacenamiento es mínimo, entre -0.1 a -1.3 l/s. Esto se debe al pequeño aumento en la recarga por precipitación cerca a los tajos y las canteras, además del efecto combinado del botadero cercano a la frontera de esta zona que crea un efecto opuesto, disminuyendo el almacenamiento. En general, para el área del Proyecto, el almacenamiento de agua subterránea disminuye ligeramente previo al desarrollo de las instalaciones del proyecto debido al efecto anterior por la instalación del pad La Quinoa Etapa 8. Con el desarrollo del proyecto y el mayor efecto en la reducción de la recarga por precipitación debido al pad y el botadero, globalmente el almacenamiento disminuye con el tiempo.

### **3.18 Impactos simulados sobre los niveles aguas subterráneas**

En el Plano 4.2 se muestran las curvas de isodescenso simuladas por el modelo predictivo al final de la operación del proyecto, las cuales delimitan las zonas donde se anticipa que los niveles de aguas subterráneas descenderán de 5 m, 10 m y 20 m respectivamente en comparación con los niveles en condiciones naturales (pre-minado). La figura también ilustra los niveles simulados de agua subterránea al final de la operación del proyecto.

### **3.19 Incertidumbre del modelo**

Al igual que todos los modelos numéricos, el modelo actual del área de operaciones de MYSRL es una aproximación de la realidad, e contiene un grado de incertidumbre relacionada con supuestos y extrapolaciones formulados a partir de la información disponible. El grado de incertidumbre tiene que considerarse al evaluar los resultados simulados. Por ejemplo, las predicciones de flujo base del modelo no se deben tomar como números precisos, sino más bien como una estimación de la magnitud del flujo base y rango de una posible reducción producto de las operaciones mineras.

Del mismo modo, el nivel de incertidumbre del descenso de nivel simulado aumentará lejos de las áreas de tajos / modelo de bloques, especialmente dentro de la unidad de roca regional, donde el valor de permeabilidad asignado para la roca no alterada, que se representa en el modelo con un valor uniforme aplicado fuera de las áreas de tajos / modelo de bloques, se basa en limitados valores medidos.

### **3.20 Impactos potenciales sobre la calidad del agua**

Se espera que se implemente un sistema de manejo de aguas superficiales durante la operación del Proyecto Cerro Negro Oeste con el fin de captar la escorrentía potencialmente contaminada desde el tajo y las instalaciones asociadas además de desviar el agua de contacto hacia una instalación de tratamiento antes de descargarla al drenaje de aguas superficiales.

El principal impacto potencial sobre la calidad del agua probablemente está relacionado con la calidad del agua de los manantiales.

Como se describe en esta sección; existen manantiales ubicados aguas abajo del yacimiento Cerro Negro Oeste que podrían estar hidráulicamente conectados con el área del yacimiento a través de un sistema de fallas. Sin embargo, estos manantiales muestran actualmente en condiciones naturales agua de baja calidad (como lo ilustra su bajo pH, entre 3 y 5, Planos 2.11 y 2.12), lo que indica que ya están posiblemente influenciados por el contacto con unidades mineralizadas.

La excavación del tajo Cerro Negro Oeste resultará en la exposición de roca con alteración tipo sílice a una mayor infiltración derivada de la precipitación y, por lo tanto, podría modificar la calidad del agua de cualquier manantial que esté potencialmente conectado con la forma de sílice.

### **3.21 Plan de monitoreo**

En base a la data histórica disponible de piezómetros y el modelo conceptual hidrogeológico del área de Cerro Negro Oeste, MYSRL ha planeado la instalación de una red de piezómetros más extensa para cubrir todas las instalaciones propuestas incluyendo pila, botadero, canteras y tajo Oeste.

La ubicación de los puntos se definió en base al conocimiento conceptual de la hidrogeología, la ubicación de las instalaciones, quebradas locales y la dirección del flujo de aguas subterráneas la cual se obtuvo a partir de una simulación de rastreo de partículas en área del Proyecto Cerro Negro Oeste. Para ejecutar esta simulación se consideró la trayectoria de partículas emplazadas inicialmente en el perímetro de cada instalación del proyecto (canteras, tajo, pila de lixiviación y botadero). Los resultados de la simulación anterior, así como la ubicación de los piezómetros propuestos se muestran en el Plano 4.3.

Estos nuevos piezómetros serán utilizados para recolectar muestras de calidad de agua y niveles piezométricos en el tiempo para las diferentes áreas del proyecto, además de información adicional sobre la geología e hidrogeología de los alrededores del proyecto. Asimismo, se realizarán pruebas hidráulicas para evaluar las diferentes unidades hidrogeológicas que se encuentran en el área de las instalaciones del proyecto.

En resumen, el plan de monitoreo propuesto incluirá la instalación de 15 piezómetros adicionales, cuyas ubicaciones se detallan a continuación.

1. Cuatro estaciones ubicadas aguas arriba y abajo del pad propuesto LQ Etapa 8 (PZ-1, PZ-2, PZ-3 y PZ-4).
  - a) PZ-1, ubicado aguas abajo de la pila de lixiviación y su poza, de acuerdo a los resultados del rastreo de partículas.
  - b) PZ-2, PZ-3 y PZ-4 ubicadas aguas arriba del pad de lixiviación.
    - i. PZ-2 y PZ-04, ubicados aguas abajo del botadero de desmonte propuesto en la parte baja del valle Pampa Cerro Negro.
    - ii. PZ-03, ubicado aguas abajo del depósito de suelo orgánico Noemí.
2. Dos estaciones aguas abajo del depósito de suelo orgánico Noemí (PZ-3 y PZ-11), según los resultados del rastreo de partículas.
3. Cuatro estaciones ubicadas aguas abajo del botadero de desmonte propuesto (PZ-4, PZ-2, PZ-6 y PZ-7).
  - a) PZ-4, ubicado aguas abajo del área de pozas del botadero de desmonte.
  - b) PZ-2, ubicado aguas abajo del botadero de desmonte, en la parte superior de Pampa Cerro Negro.
  - c) PZ-6, según dirección de las partículas simuladas hacia la quebrada del Sur.
  - d) PZ-7, según dirección de las partículas simuladas hacia la quebrada Chachacoma.

4. Tres estaciones cerca del tajo Este y la cantera Francesca (PZ-5 y PZ-10)
  - a) PZ-05, ubicado muy cercano a la cantera, para confirmar la geología y los niveles de agua del tajo Este y la cantera.
  - b) PZ-10, ubicado en la dirección norte de la cantera y el tajo Este según los resultados del rastreo de partículas, en dirección de las pequeñas quebradas al Noreste.
  
5. Seis estaciones ubicadas cerca o dentro del área del tajo Oeste (PZ-8, PZ-9, PZ-12 y PZ-13, PZ-14 y PZ-15).
  - a) PZ-8 y PZ-9, ubicados aguas abajo del tajo, de acuerdo a los resultados del rastreo de partículas.
  - b) PZ-12, ubicado en el sector del tajo Oeste proyectado, en su límite Oeste, confirmando el nivel de agua y la geología en este sector.
  - c) PZ-13, ubicado en el sector del tajo Oeste proyectado, en su límite Este.
  - d) PZ-14, ubicado en el sector del tajo Oeste proyectado, en su límite Sur.
  - e) PZ-15, ubicado en el sector del tajo Oeste proyectado, en su límite Norte.

Adicionalmente a la red de monitoreo de agua subterránea propuesta, MYSRL también llevará a cabo un programa de monitoreo de aguas superficiales en las quebradas circundantes al área del proyecto.

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Análisis de resultados

#### Análisis de resultados de aguas superficiales

Se realizó una comparación de los resultados analíticos de los distintos muestreos incluidos en el programa de monitoreo existente para los estándares ENCAA Categoría 1-A2 (agua potable), ENCAA Categoría 3 (animales) y ENCAA Categoría 3 (riego) para evaluar las excedencias potenciales de los estándares anteriores en condiciones naturales (pre-minado).

- ENCAA Categoría 1-A2 (agua potable) – 15 ubicaciones excedieron el estándar para el aluminio total 56 veces, 4 ubicaciones excedieron el estándar para el arsénico total 4 veces, 1 ubicación excedió el estándar para el cadmio total 1 vez, 1 ubicación excedió el cianuro libre 1 vez, 2 ubicaciones excedieron el estándar para el oxígeno disuelto 2 veces, 9 ubicaciones excedieron el estándar para el hierro total 14 veces, 1 ubicación excedió el estándar para el mercurio total 1 vez, 2 ubicaciones excedieron el estándar para el plomo 2 veces, 1 ubicación excedió el estándar para el antimonio total 1 vez y 17 ubicaciones mostraron bajos valores de pH, excediendo el estándar 117 veces.
  
- ENCAA Categoría 3 (animales) – 1 ubicación excedió el estándar para el aluminio 1 vez, 1 ubicación excedió el estándar para el arsénico total 1 vez, 2 ubicaciones excedieron el estándar para el oxígeno disuelto 2 veces, 9 ubicaciones excedieron el estándar para el hierro total 14 veces, 1 ubicación excedió el estándar para el mercurio 1 vez, 2 ubicaciones excedieron el estándar para el plomo 2 veces y 20 ubicaciones mostraron bajos valores de pH, excediendo el estándar 207 veces.
  
- ENCAA Categoría 3 (riego) – 1 ubicación excedió el estándar para el aluminio 1 vez, 1 ubicación excedió el estándar para el arsénico total 1 vez, 1

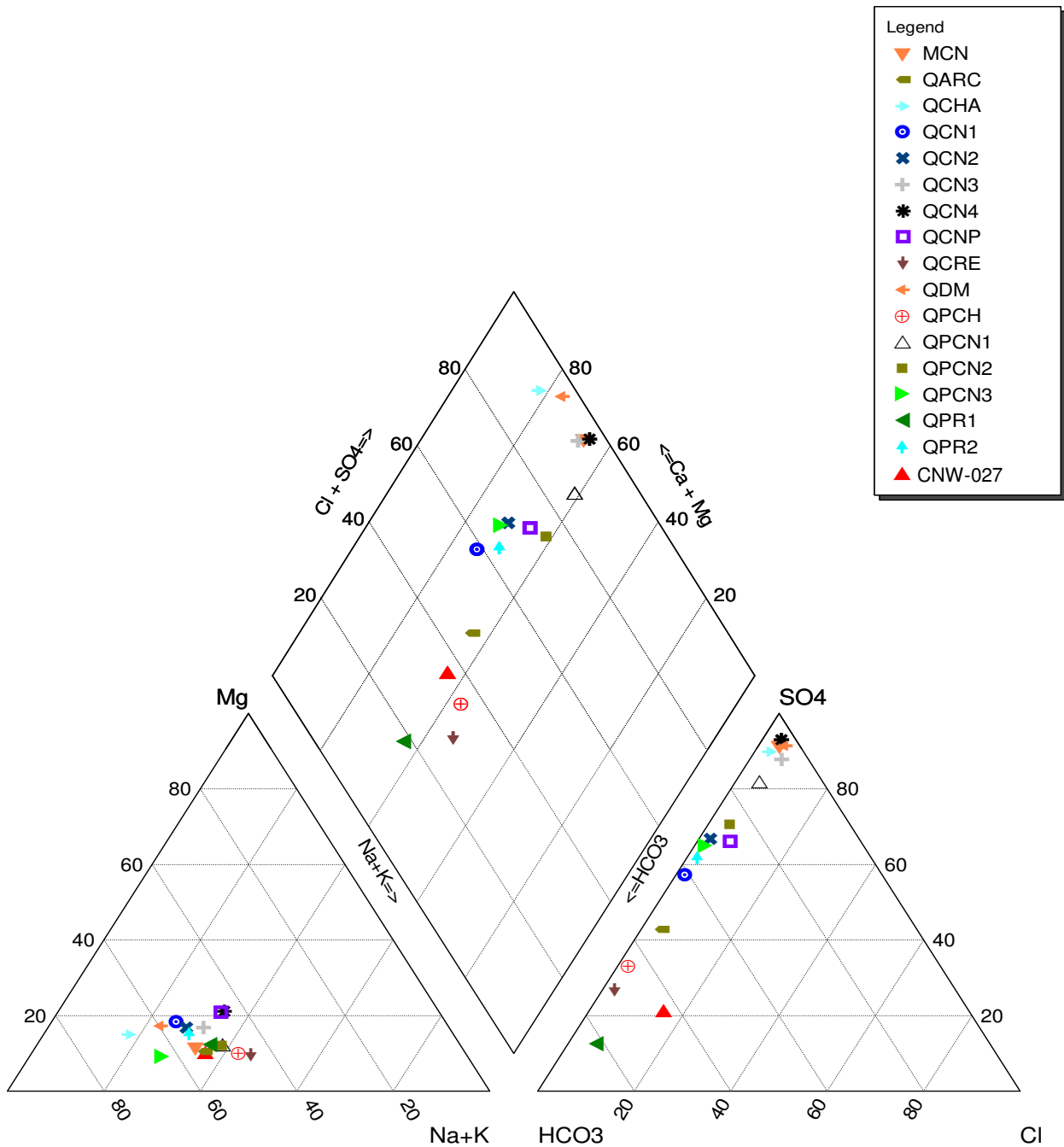
ubicación excedió el estándar para el fluoruro 1 vez, 9 ubicaciones excedieron el estándar para el hierro total 14 veces, 1 ubicación excedió el estándar para el mercurio total 1 vez, 1 ubicación excedió el estándar para el nitrito 1 vez, 1 ubicación excedió el estándar para el plomo 1 vez, 2 ubicaciones excedieron el estándar para el sulfato 2 veces y 20 ubicaciones mostraron bajos valores de pH, excediendo el estándar 207 veces.

### **Análisis de resultados de aguas subterráneas**

Se construyó un diagrama de Piper utilizando los resultados analíticos promedio de todas las muestras de la temporada seca recolectadas en los puntos de monitoreo de aguas superficiales y la muestra de agua subterránea reciente del piezómetro CNW-027 (Figura. N° 9).

Se construyó además un diagrama de Schoeller utilizando los resultados analíticos promedio para la temporada seca para los puntos de monitoreo de aguas superficiales (Figura N° 10) y la muestra del piezómetro CNW-027. Se supone que los valores para la temporada seca están asociados con el flujo base o descarga de agua subterránea. Al igual que el diagrama de Piper, el diagrama de Schoeller indica una fuente de agua subterránea al oeste del tajo, de menor calidad (puntos de monitoreo MCN, QCHA, QDM y QCN4). Los valores para la temporada seca en esta área, generalmente tienen mayores concentraciones de sulfato, hierro, aluminio, arsénico y antimonio, lo que indica el posible contacto con zonas mineralizadas.

Además de los diagramas de Piper y Schoeller, de los Planos 2.11 y 2.12 se pueden identificar zonas con agua de menor calidad existentes al oeste y al sur del tajo y una zona adicional con agua de menor calidad al sureste, de acuerdo al pH y a las muestras recientes recolectadas desde la Quebrada Cuyoc, PA-15 y PA-123B. El bajo pH en estas zonas sugiere que el agua ha tenido contacto con unidades de roca mineralizada. En el caso de la zona sureste, el bajo pH probablemente se deriva del contacto con unidades de roca mineralizada o materia orgánica en descomposición en una condición de humedal.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca

Figura: Diagrama de Piper

Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani

Fecha: Setiembre 2023

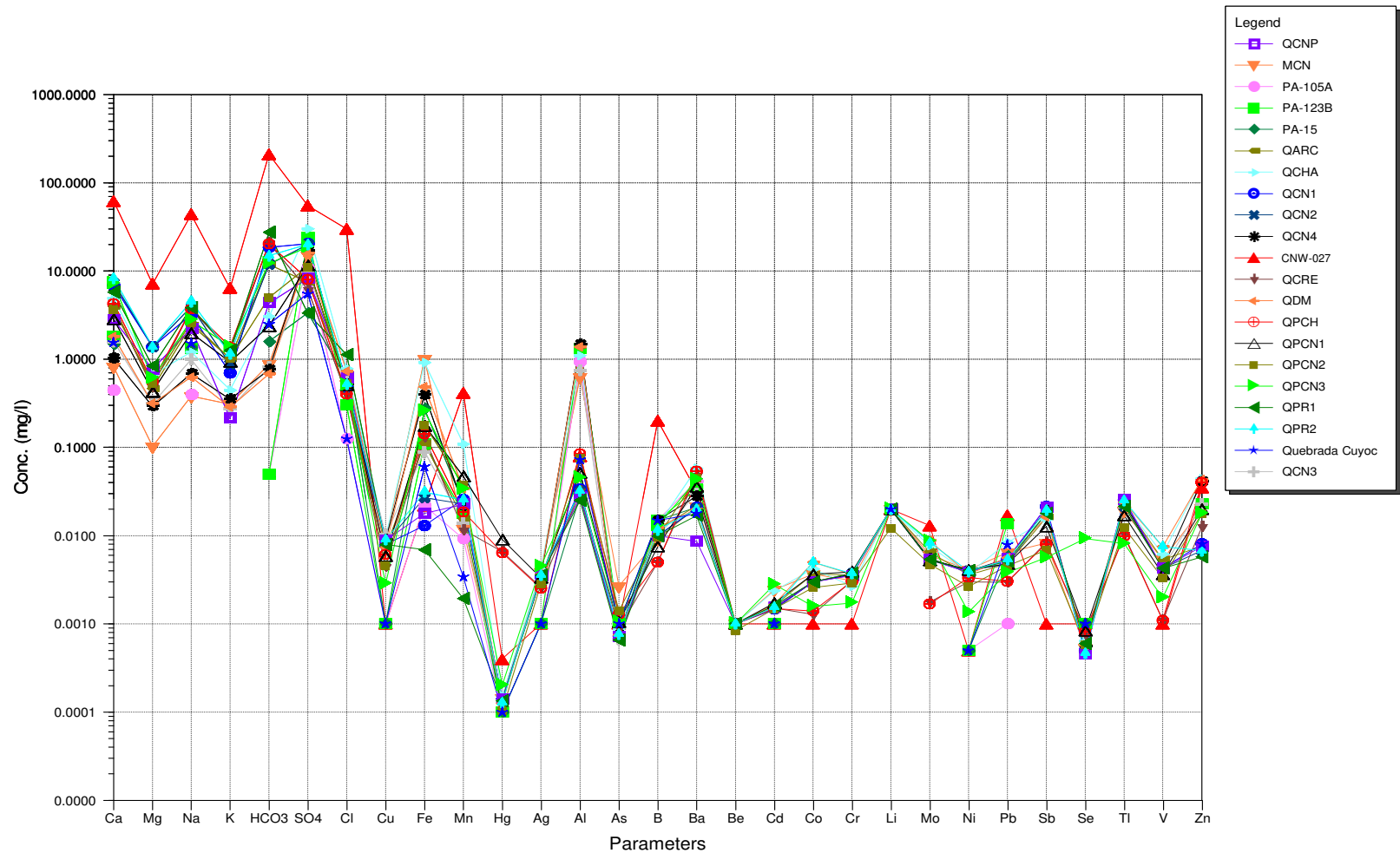
Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango

Fuente: MYSRL

Escala: S.E

Figura N°

9



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca

Figura: Diagrama de Schoeller

Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani

Fecha: Setiembre 2023

Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango

Fuente: MYSRL

Escala: S.E

Figura N°

10

## 4.2 Interpretación de resultados

La Investigación, permite tener un mejor conocimiento de la hidrogeología e hidroquímica:

- Los resultados de la comparación muestran que, en condiciones naturales, las aguas superficiales del área de Cerro Negro Oeste no cumplen con los estándares anteriores para agua potable, animales o riego principalmente debido a las altas concentraciones de aluminio y hierro y al bajo pH del agua en toda el área en la condición no perturbada (pre-minado). Además, existen excedencias ocasionales de metales tales como el cadmio, el cianuro, el mercurio, el plomo y el antimonio.
- En general, la calidad de las aguas superficiales en el área está influenciada por las variaciones del aporte y la hidroquímica de las descargas de agua subterránea a los cursos de agua (flujo base). Las variaciones naturales de la calidad hidroquímica de las aguas subterráneas en el área del proyecto se describen con mayor detalle en la sección de aguas subterráneas.
- El diagrama de Piper (Fig. N° 9) indica la existencia de dos grupos hidroquímicos generales en el área del proyecto: (1) Un primer grupo con agua de calidad relativamente buena, con mayores concentraciones relativas de bicarbonato a mayores cotas al este, cerca de la ubicación de la pila de lixiviación La Quinoa Etapa 8 (Plano 2.4; puntos de monitoreo QPR1, QPCH y QCRE) y la parte alta de la Quebrada Chachacoma (QARC) y (2) Un segundo grupo de aguas de menor calidad con mayores concentraciones relativas de sulfato al oeste del yacimiento Cerro Negro Oeste a cotas bajo el yacimiento (Plano 2.4; puntos de monitoreo MCN, QCHA, QDM y QCN4). Los puntos de monitoreo restantes indican características hidroquímicas intermedias.
- Los resultados analíticos de la muestra del piezómetro CNW-027 indican que el agua tiene mayores concentraciones relativas de bicarbonato, siendo similar al agua de calidad relativamente buena encontrada a mayores cotas al este (primer grupo). Sin embargo, el pH de esta agua es muy bajo ( $\text{pH} = 2,7$ ), similar al del agua que descarga desde los manantiales al oeste y al noroeste del yacimiento. Esto sugiere una fuente de agua desde las áreas de mayor cota al este, que se mezcla y pierde capacidad de neutralización a medida que entra en contacto con la

zona mineralizada y también es consistente con la dirección del flujo desde las cotas más elevadas en el este y que descarga a menores cotas al oeste.

- En el diagrama de Schoeller (Fig. N° 10), el agua del piezómetro CNW-027 tiene concentraciones significativamente más elevadas de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato y cloruro. También tiene elevadas concentraciones de algunos metales tales como Mg, Bo, Mo, Pb y Zn.

#### **4.3 Perspectivas futuras**

Lamentablemente por la falta de presupuesto y la falta de estudios hidrogeológicos más detallados, no ha permitido establecer la relación de Cerro Negro y Cerro Quilish.

## **CAPÍTULO V:**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- El agua subterránea está controlada principalmente por la topografía y las condiciones de alteración del basamento rocoso volcánico en las cercanías del yacimiento Cerro Negro Oeste.
- La sílice masiva y granular tiene una permeabilidad relativamente alta.
- Las unidades con alteración arcillosa tienen una permeabilidad relativamente baja.
- El nivel de agua subterránea en el yacimiento Cerro Negro Oeste se encuentra entre 3,502 y 3,533 msnm basándose en un piezómetro instalado en 1999 y un piezómetro recientemente instalado en enero de 2010.
- Se interpreta que las direcciones del flujo de agua subterránea son hacia fuera del área del yacimiento en dirección a los sectores bajos de las quebradas al oeste y, en menor medida, al norte y al sur.
- La recarga promedio anual al agua subterránea en la unidad hidrogeológica de sílice de Cerro Negro Oeste se estima entre 1.3 l/s y 2.5 l/s.
- Existen manantiales que podrían estar potencialmente conectados con el área del yacimiento a través de una serie de fallas que interceptan tanto el tajo como la Quebrada Chachacoma, cuyos manantiales se encuentran a cotas similares a la cota el agua en el área del tajo.
- En condiciones naturales, el agua superficial en el área de Cerro Negro Oeste no cumple los estándares de calidad de agua para agua potable, animales ni riego principalmente debido a las altas concentraciones de aluminio y hierro y al bajo pH del agua en toda el área en la condición no perturbada. Además, se producen excedencias ocasionales de metales tales como el cadmio, el cianuro, el mercurio, el plomo y el antimonio.

- La información hidrogeológica recolectada a partir de la red de monitoreo anterior será utilizada para actualizar el modelo numérico en el área del Proyecto Cerro Negro Oeste.
- Basándose en el plan minero, la operación minera anterior en Cerro Negro Este y la información con respecto a los niveles de agua subterránea disponible para Cerro Negro Oeste, el tajo no interceptará agua subterránea y, por lo tanto, no requerirá drenaje.
- Existen manantiales ubicados al sur del yacimiento en la cercanía de la Quebrada Chachacoma que podrían estar potencialmente conectados con el área del yacimiento a través de una serie de fallas.
- El impacto potencial sobre la calidad de las aguas subterráneas está relacionado con la calidad de agua de los manantiales que podrían estar conectado hidráulicamente con el área del yacimiento.
- La excavación del tajo podría alterar la calidad de estos manantiales debido al aumento de la infiltración de las precipitaciones en unidades de sílice expuestas. Sin embargo, estos manantiales ya muestran una baja calidad en condiciones naturales.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda la continuación de estudios hidrogeológicos, para seguir con el comportamiento hidrogeológico e hidroquímico de las aguas en el área de influencia del proyecto, en base a monitoreos constantes en puntos estratégicos.
- Por último, se recomienda realizar una investigación profunda la relación hidrogeológica del Cerro Negro y Cerro Quilish.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Custodio E/M, Llamas 1996, Hidrología Subterránea. Ediciones Omega, Tomo I. Pag. 10 - 17
- Custodio E/M, Llamas 1996, Hidrología Subterránea. Ediciones Omega, Tomo II. Pág. 11
- Daniel Alex Merino Natorce, 2005. Geología y Controles de Mineralización en el Depósito Cerro Yanacocha, Distrito de Yanacocha (Cajamarca- Perú).
- Dávila, J. 2011. Diccionario Geológico, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima, Perú.
- FCIHS, 2008. Fundación Centro Internacional de Hidrogeología Subterránea.
- Haas P, 2006. Modelo distrital de flujo de agua subterránea de la Mina Yanacocha, preparado para Minera Yanacocha S.R.L. Pág. 48
- Jenkins, D. 2014. Hidroquímica aplicada a la Hidrogeología. Santiago de Chile.
- Lewis, G. 1978. Termodinámica y la Energía Libre de Sustancias Químicas. USA.
- Lorax A, 2004. Sitewide groundwater study. Preparado para Minera Yanacocha S.R.L.
- McGlone M, 2011. Actualización de la caracterización hidrogeológica y simulación de los impactos potenciales del proyecto Cerro Negro Oeste II modificación del EIA. Pág. 26 -100
- Ortiz, R. 2007. Hidrogeología Física Conceptos Básicos y Definiciones. Lima Perú.
- Prigneau P, 1999. Caracterización hidrogeológica del Cerro Quilish, Pág. 11 - 12

## **LINKOGRAFÍA**

- <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/2007/cyamientos/cap02.pdf>

## ANEXOS

**Tables of chemical exceedance for standards ENCAA Category 1-A2 (drinking water),  
ENCAA Category 3 (animals), and ENCAA Category 3 (irrigation)**

ENCAA Category 1 - A2

Location Name	Samples	Al_T- mg/L	As_T- mg/L	Cd_T- mg/L	CN_Free- mg/L	DO_Lab- mg/L	Fe_T- mg/L	Hg_T- mg/L	Pb_T- mg/L	pH_Field- pH units	pH_Lab- pH units	Sb_T- mg/L
		0.2	0.01	0.003	0.022	>=5	1	0.002	0.05	5.5-9.0	5.5-9.0	0.006
CNW-027	1	3.99 (1)	0.033 (1)				8.563 (1)		0.738 (1)	2.66 (1)		
MCN	18	0.87 (2)								3.15 (18)	3.5 (12)	
PA-105A	2	1.22 (1)								4.07 (1)	4.1 (1)	
PA-123B	2	1.39 (1)								3.74 (1)	4.1 (1)	
PA-15	2					4.2 (1)	3.817 (1)			4.12 (1)	5.1 (1)	
QARC	25	0.47 (1)					1.038 (1)			5 (2)	5.4 (1)	
QCHA	18	1.72 (5)	0.012 (1)				1.084 (1)			3.44 (16)	3.4 (8)	
QCN1	20	0.52 (1)								5.37 (1)		
QCN2	22	0.25 (1)								5.4 (1)		
QCN3	22	0.55 (1)								3.84 (14)	4.1 (17)	
QCN4	21	2.52 (7)	0.01 (1)				2.435 (2)			2.81 (21)	3.5 (17)	
QCNP	19									4.7 (1)		
QCRE	39									5.12 (4)		
QDM	24	1.75 (2)								3.5 (22)	3.5 (18)	
QPCH	40						1.096 (1)			4.76 (3)	4.7 (1)	
QPCN1	28									4.24 (6)	4.6 (8)	
QPCN2	51	2.26 (19)			0.4 (1)		2.25 (3)			4.97 (4)		
QPCN3	70	8.31 (12)	0.118 (1)	0.004 (1)			7.229 (3)	0.0029 (1)	0.069 (1)			0.016 (1)
QPR1	22									5.4 (1)		
QPR2	22	0.22 (1)					3.918 (1)					
Quebrada Cuyoc	2	0.2744 (1)				4.8 (1)						

ENCAA Category 3 - Animals

Location Name	Samples	Al_T- mg/L	As_T- mg/L	DO_Lab- mg/L	Fe_T- mg/L	Hg_T- mg/L	Pb_T- mg/L	pH_Field- pH units	pH_Lab- pH units
		5	0.1	>5	1	0.001	0.05	6.5-8.4	6.5-8.4
CNW-027	1				8.563 (1)		0.738 (1)	2.66 (1)	
MCN	18							3.15 (18)	3.5 (12)
PA-105A	2							4.07 (1)	4.1 (1)
PA-123B	2							3.74 (1)	4.1 (1)
PA-15	2			4.2 (1)	3.817 (1)			4.12 (1)	5.1 (1)
QARC	25				1.038 (1)			5 (9)	5.4 (12)
QCHA	18				1.084 (1)			3.44 (17)	3.4 (8)
QCN1	20							5.37 (7)	5.8 (6)
QCN2	22							5.4 (7)	6.2 (7)
QCN3	22							3.84 (21)	4.1 (18)
QCN4	21				2.435 (2)			2.81 (21)	3.5 (17)
QCNP	19							4.7 (10)	6 (7)
QCRE	39							5.12 (10)	6 (10)
QDM	24							3.5 (23)	3.5 (18)
QPCH	40				1.096 (1)			4.76 (10)	4.7 (9)
QPCN1	28							4.24 (17)	4.6 (21)
QPCN2	51				2.25 (3)			4.97 (12)	5.8 (13)
QPCN3	70	8.31 (1)	0.118 (1)		7.229 (3)	0.0029 (1)	0.069 (1)	6.34 (2)	6.3 (3)
QPR1	22							5.4 (10)	6.1 (5)
QPR2	22				3.918 (1)			5.68 (9)	6.2 (7)
Quebrada Cuyoc	2			4.8 (1)				5.81 (1)	6.2 (1)

**Tablas de excedencia química para los estándares ENCAA Categoría 1-A2 (agua potable),  
ENCAA Categoría 3 (animales), y ENCAA Categoría 3 (irrigación)**

**ENCAA Categoría 3 - Irrigación**

Location Name	Samples	Al_T-	As_T-	F	Fe_T-	Hg_T-	NO2_N-	Pb_T-	pH_Field-	pH_Lab-	SO4 -
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	pH units	pH units	mg/L
		5	0.05	1	1	0.001	0.06	0.05	6.5-8.5	6.5-8.5	300
CNW-027	1				8.563 (1)			0.738 (1)	2.66 (1)		
MCN	18								3.15 (18)	3.5 (12)	
PA-105A	2								4.07 (1)	4.1 (1)	
PA-123B	2								3.74 (1)	4.1 (1)	
PA-15	2				3.817 (1)				4.12 (1)	5.1 (1)	
QARC	25				1.038 (1)				5 (9)	5.4 (12)	
QCHA	18				1.084 (1)				3.44 (17)	3.4 (8)	
QCN1	20								5.37 (7)	5.8 (6)	
QCN2	22								5.4 (7)	6.2 (7)	
QCN3	22								3.84 (21)	4.1 (18)	
QCN4	21				2.435 (2)				2.81 (21)	3.5 (17)	
QCNP	19								4.7 (10)	6 (7)	
QCRE	39								5.12 (10)	6 (10)	
QDM	24								3.5 (23)	3.5 (18)	
QPCH	40				1.096 (1)				4.76 (10)	4.7 (9)	
QPCN1	28								4.24 (17)	4.6 (21)	
QPCN2	51				2.25 (3)				4.97 (12)	5.8 (13)	433 (1)
QPCN3	70	8.31 (1)	0.118 (1)		7.229 (3)	0.0029 (1)		0.069 (1)	6.34 (1)	6.3 (3)	433 (1)
QPR1	22			1.2 (1)					5.4 (9)	6.1 (5)	
QPR2	22				3.918 (1)		0.095 (1)		5.68 (9)	6.2 (7)	
Quebrada Cuyoc	2								5.81 (1)	6.2 (1)	

Resultado analítico con límite de detección por encima del estándar y componentes por debajo del límite de detección

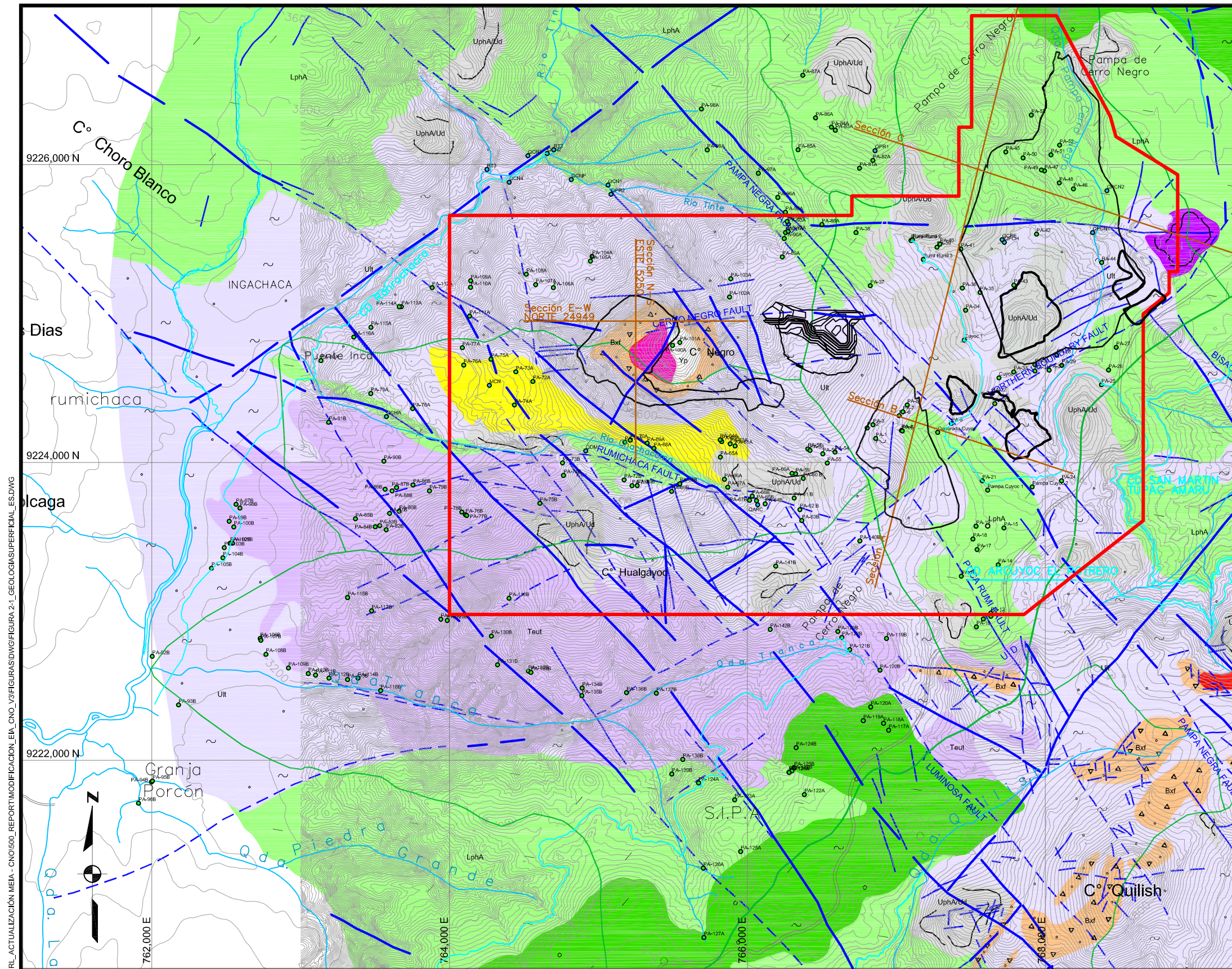
Location Name	Sample Date	ENCAA Categoría 1 - A2				ENCAA Categoría 3 - Animales	ENCAA Categoría 3 - Irrigación		
		Aceites y Grasas-mg/L	Antimonio (total)-mg/L	Cadmio (total)-mg/L	Cianuro Libre -mg/L	Aceites y Grasas-mg/L	Aceites y Grasas-mg/L	Cadmio (total)-mg/L	Nitrito como N -mg/L
MCN	21/08/2002				<0.1				
MCN	02/12/2002				<0.1				
MCN	27/05/2003				<0.1				
MCN	11/08/2003				<0.1				
MCN	30/10/2003				<0.1				
MCN	05/02/2004				<0.1				
MCN	07/05/2004				<0.1				
MCN	05/07/2005								<0.15
MCN	08/11/2007	<5				<5	<5		
MCN	16/04/2008	<5				<5	<5		
QARC	22/08/2001		<0.2	<0.006				<0.006	
QARC	14/11/2001		<0.01	<0.006				<0.006	
QARC	02/02/2002		<0.01	<0.006				<0.006	
QARC	20/05/2002		<0.01	<0.006				<0.006	
QARC	21/08/2002			<0.005	<0.1				
QARC	02/12/2002			<0.005	<0.1				
QARC	26/05/2003				<0.1				
QARC	05/02/2004				<0.1				
QARC	05/07/2005								<0.15
QARC	08/11/2007	<5				<5	<5		
QARC	16/04/2008	<5				<5	<5		
QCHA	06/09/2001			<0.006				<0.006	
QCHA	01/10/2001			<0.006				<0.006	
QCHA	02/02/2002	<5				<5	<5		
QCHA	21/08/2002				<0.1				
QCHA	02/12/2002				<0.1				
QCHA	27/05/2003				<0.1				
QCHA	05/02/2004				<0.1				
QCHA	22/07/2005								<0.15
QCHA	08/11/2007	<5				<5	<5		
QCHA	06/12/2007	<5				<5	<5		
QCN1	27/05/2003				<0.1				
QCN1	05/02/2004				<0.1				
QCN1	22/07/2005								<0.15
QCN1	16/04/2008	<5				<5	<5		
QCN2	21/08/2002				<0.1				
QCN2	26/11/2002				<0.1				
QCN2	27/05/2003				<0.1				
QCN2	05/02/2004				<0.1				
QCN2	22/07/2005								<0.15
QCN2	16/04/2008	<5				<5	<5		
QCN3	21/08/2002				<0.1				
QCN3	26/11/2002				<0.1				
QCN3	27/05/2003				<0.1				
QCN3	05/02/2004				<0.1				
QCN3	22/07/2005								<0.15
QCN3	16/04/2008	<5				<5	<5		
QCN4	29/08/2001		<0.2	<0.006				<0.006	
QCN4	12/11/2001		<0.01	<0.006				<0.006	
QCN4	02/02/2002		<0.01	<0.006				<0.006	
QCN4	20/05/2002		<0.01	<0.006				<0.006	
QCN4	26/08/2002			<0.005	<0.1				
QCN4	26/11/2002			<0.005	<0.1				
QCN4	27/05/2003				<0.1				
QCN4	16/04/2008	<5				<5	<5		
QCNP	08/08/2003				<0.1				
QCNP	05/02/2004				<0.1				
QCNP	22/07/2005								<0.15
QCNP	16/04/2008	<5				<5	<5		





Resultado analítico con límite de detección por encima del estándar y componentes por debajo del límite de detección

Location Name	Sample Date	ENCAA Categoría 1 - A2				ENCAA Categoría 3 - Animales	ENCAA Categoría 3 - Irrigación		
		Aceites y Grasas-mg/L	Antimonio (total)-mg/L	Cadmio (total)-mg/L	Cianuro Libre -mg/L	Aceites y Grasas-mg/L	Aceites y Grasas-mg/L	Cadmio (total)-mg/L	Nitrito como N -mg/L
QPCN3	18/09/2007								<0.1
QPCN3	10/10/2007								<0.1
QPCN3	15/11/2007								<0.1
QPCN3	19/12/2007								<0.1
QPCN3	16/01/2008								<0.1
QPCN3	01/02/2008								<0.1
QPCN3	24/03/2008								<0.1
QPCN3	14/04/2008								<0.1
QPCN3	10/07/2008								<0.1
QPCN3	20/08/2008								<0.1
QPCN3	01/09/2008								<0.1
QPCN3	24/11/2008								<0.1
QPR1	21/08/2002				<0.1				
QPR1	25/11/2002				<0.1				
QPR1	27/05/2003				<0.1				
QPR1	03/02/2004				<0.1				
QPR1	22/07/2005								<0.15
QPR1	16/04/2008	<5				<5	<5		
QPR2	14/09/2000			<0.006				<0.006	
QPR2	29/08/2001		<0.2	<0.006				<0.006	
QPR2	12/11/2001		<0.01	<0.006				<0.006	
QPR2	02/02/2002		<0.01	<0.006				<0.006	
QPR2	20/05/2002		<0.01	<0.006				<0.006	
QPR2	26/11/2002			<0.005	<0.1				
QPR2	08/08/2003				<0.1				
QPR2	05/02/2004				<0.1				
QPR2	16/04/2008	<5				<5	<5		



**LEYENDA**

- Canal
  - Ríos y quebradas
  - Curvas de nivel
  - Carretera
  - Límite de cuenca
  - Fallas
  - Tajo Cerro Negro Oeste
  - Tajo Cerro Negro Este
  - Desmonte Cerro Negro Oeste
  - Cancha de Lixivación La Quinua Etapa 8
  - Cantera Cerro Negro Oeste
  - Canteras adicionales
  - Secciones hidrogeológicas
  - Límite del proyecto de modificación EIA Cerro Negro Oeste
  - QCRE
  - PA-42
  - Manantial
- 
- Sedimentos**
- Cob: Cobertura, grava o suelo
  - LphA: Andesita Piroxeno-Hornblenda Inferior
  - Usj / Ult: Intrusiones y Piroclásticos con fragmentos líticos
  - Teut: Flujos Piroclásticos, incluyendo tufo de cristal y Lapilli, e Ignimbrita eutaxítica
- Geología del Basamento**
- Laminaciones Laminado: Porfido de Feldespato Bi-modal, grano fino a medio
  - Bxf: Brecha Freatica
  - Diatrema: Diatrema
  - Cp: Porfido Tonalita ojo de cuarzo
  - Ypq: Brecha Hidrotermal
  - Bxhyp: Porfido Andesita/Dacita cristalino de grano grueso
  - Yp: Tufo de Cristales Andesita Hornblenda/ Dacita superior
  - Utx / Ud: Andesita Piroxeno-Hornblenda Superior, una serie de fujos Andesíticos, Domos y Rocas Piroclásticas datadas en 11.6 a 12.2 M.A
  - UphA: Domo

I:\SRV\003\IMP\PROJECTS\056908\_MYSRL\_ACTUALIZACIÓN MEIA - CNO\500\_REPORT\MODIFICACION EIA\_CNO\_V3\FIGURAS\DWG\FIGURA 2-1\_GEOLOGIASUPERFICIAL\_ES.DWG



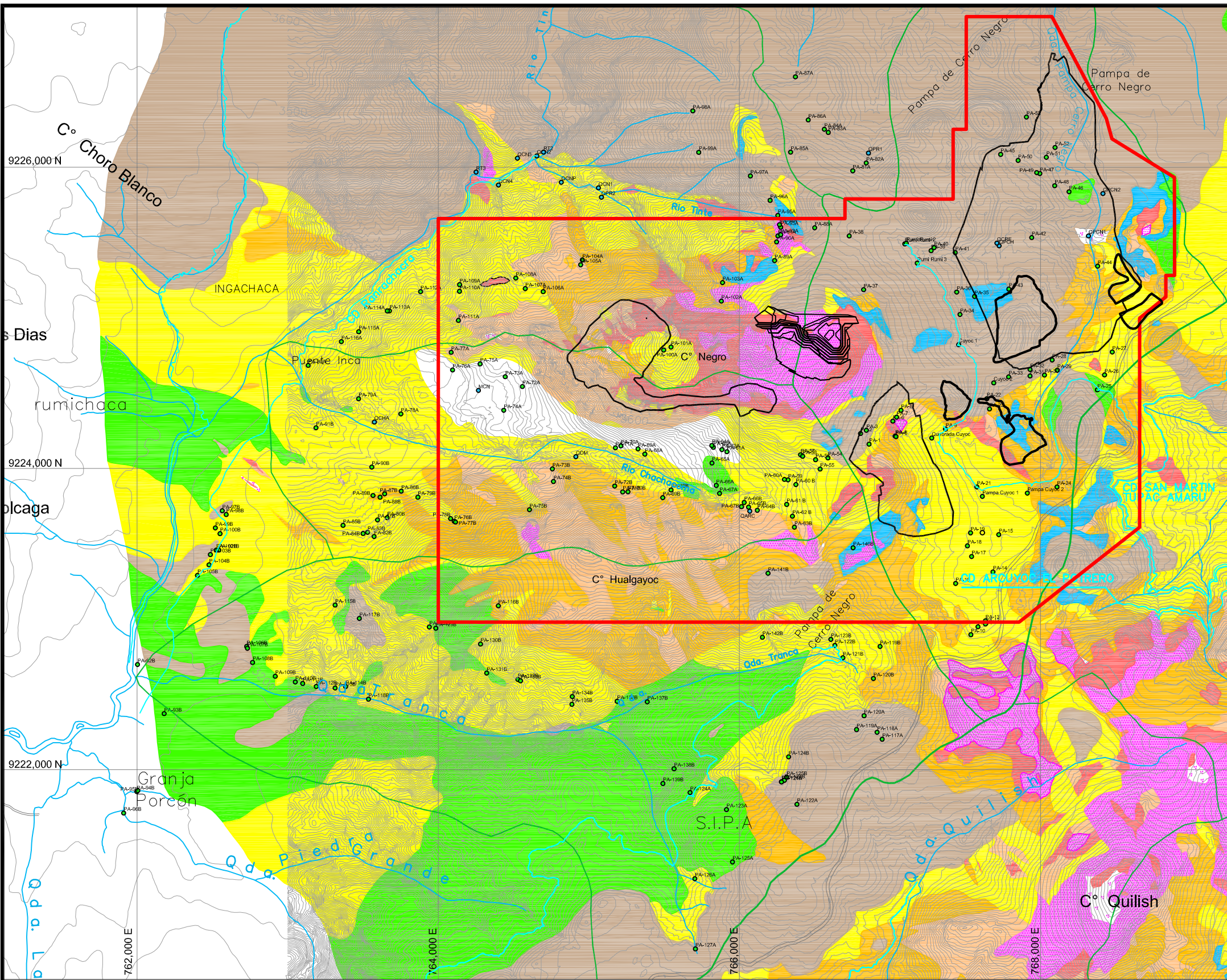
DATUM: UTM PSAD56 ZONE: 17S



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca		Plano N°	
Plano: Geología del área del yacimiento Cerro Negro	Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	<b>2.1</b>	
Fecha: Julio 2023	Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango		
Fuente: MYSRL	Escala: 1/10 000		

\\SRV003\IMP\PROJECTS\056608\_MYSRL\_ACTUALIZACIÓN MEIA - CNO\500\_REPORT\MODIFICACION EIA\_CNO\_V3\FIGURAS\DWG\FIGURA 2.2\_ALTERACIONES\SUPERFICIAL\_ES.DWG

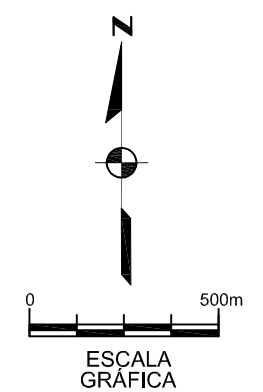


**LEYENDA**

- Canal
- Ríos y quebradas
- Curvas de nivel
- Carretera
- Límite de cuenca
- Tajo Cerro Negro Oeste
- Tajo Cerro Negro Este
- Desmonte Cerro Negro Oeste
- Cancha de Lixivación La Quinua Etapa 8
- Cantera Cerro Negro Oeste
- Canteras adicionales
- Límite del proyecto de modificación EIA Cerro Negro Oeste
- QCRE Punto de monitoreo superficial
- PA-42 Manantial

**ALTERACION**

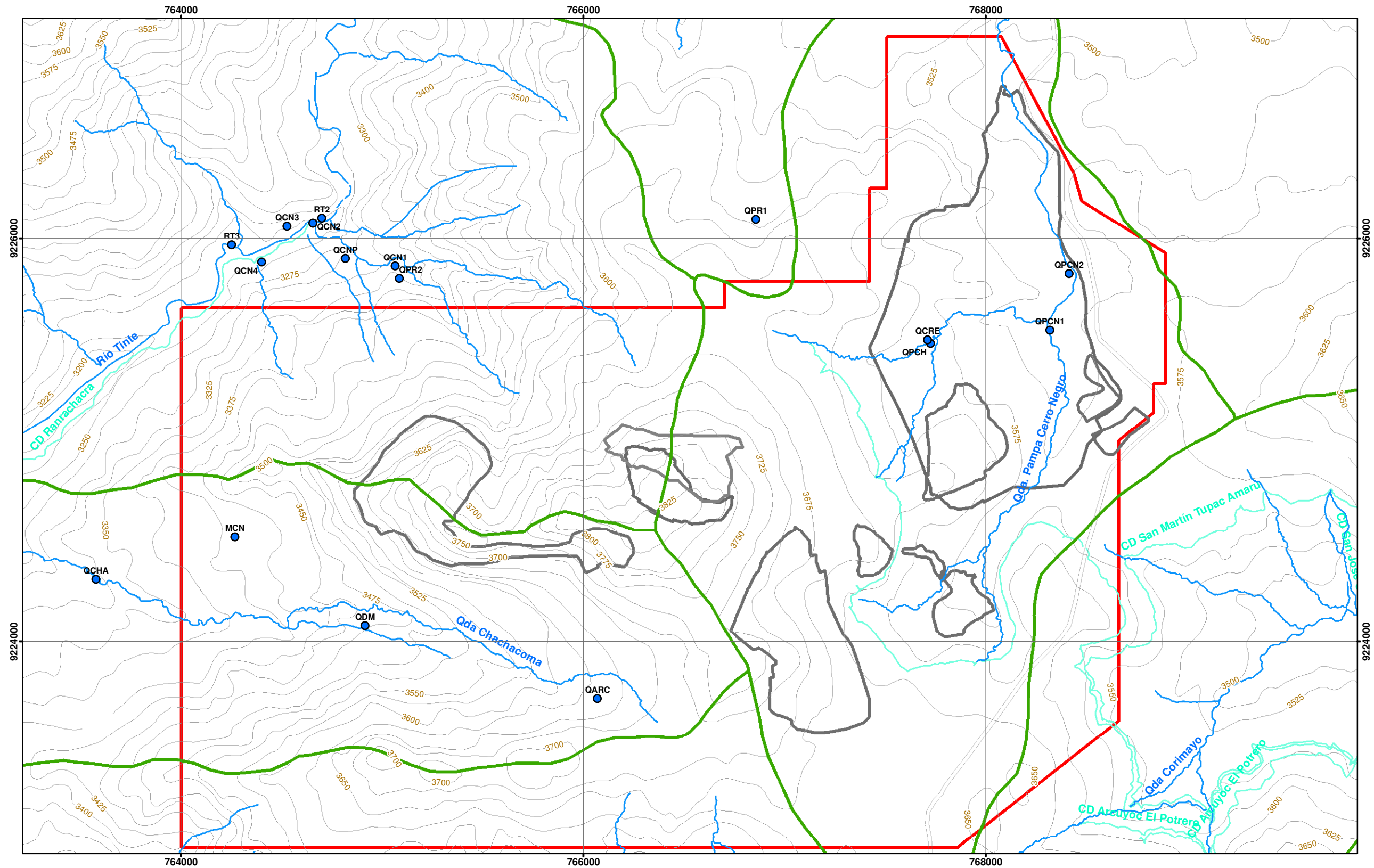
- Cover. Cobertura, suelo.
- SG : Silice Granular
- SM : Silice Masiva
- SV : Silice Vuggy
- SA : Silice - Alunita
- SC : Silice-Arcilla
- C : Alteración Argílica
- OP : Opalino
- PRO : Alteración Propilítica
- FR : Roca Fresca
- SRN : Roca metamórfica Skarn/ Calco-Silicatado
- Sell/III-Pyr: Sericita/IIIita - Pyrofillita
- MAR : Marmol



DATUM: UTM PSAD56 ZONE: 17S

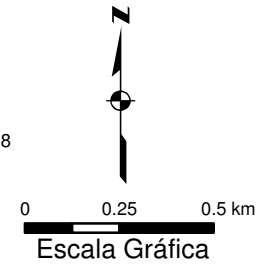
	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>			
	FACULTAD DE INGENIERÍA			
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca				
Plano: Tipos de alteración en el área del yacimiento Cerro Negro			Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
Fecha: Julio 2023		Tesisista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango		Fuente: MYSRL
				Escala: 1/10 000
				<b>2.2</b>

\\Srv003\im\proyectos\5456\_Yanacocha\300\_Data\330\_GIS\MXD\_Tercera\_Actualizacion MEIA - CNO\_Feb2011\2-3\_CN\_CatchmentHistoricStream\_ES.mxd



- Leyenda**
- Punto de monitoreo superficial histórico
  - Carretera
  - Límite de cuenca
  - Ríos y quebradas
  - Canal
  - Curvas de nivel
  - Límite del proyecto de modificación EIA Cerro Negro Oeste

- Tajo Cerro Negro Oeste
- Tajo Cerro Negro Este
- Desmonte Cerro Negro Oeste
- Cancha de Lixivación La Quinua Etapa 8
- Cantera Cerro Negro Oeste
- Canteras adicionales

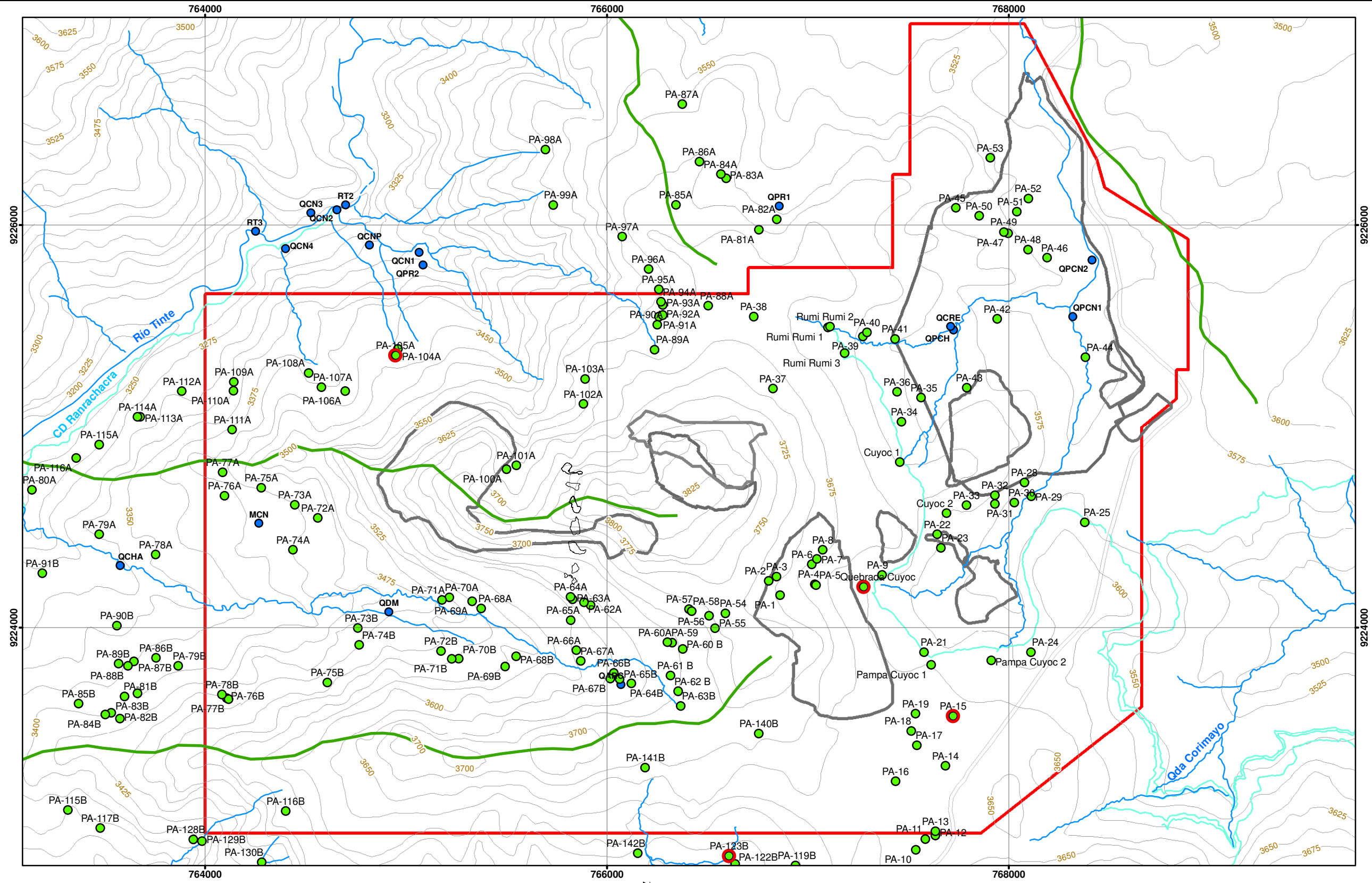


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca		Plano N°
Plano: Cuencas hidrográficas y estaciones de monitoreo histórico de caudales	Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	<b>2.3</b>
Fecha: Julio 2023	Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango	
	Fuente: MYSRL	Escala: 1/10 000

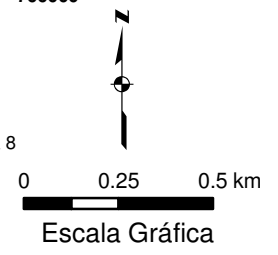
DATUM: UTM PSAD 56 ZONE:17S

\\Srv003\proj\proyectos\5456\_Yanacocha\300\_Data\330\_GIS\MXD\_Tercera\_Actualizacion MEIA - CNO\_Feb2011\2-4\_CN\_HistoricStreamAndNewSpring\_ES.mxd



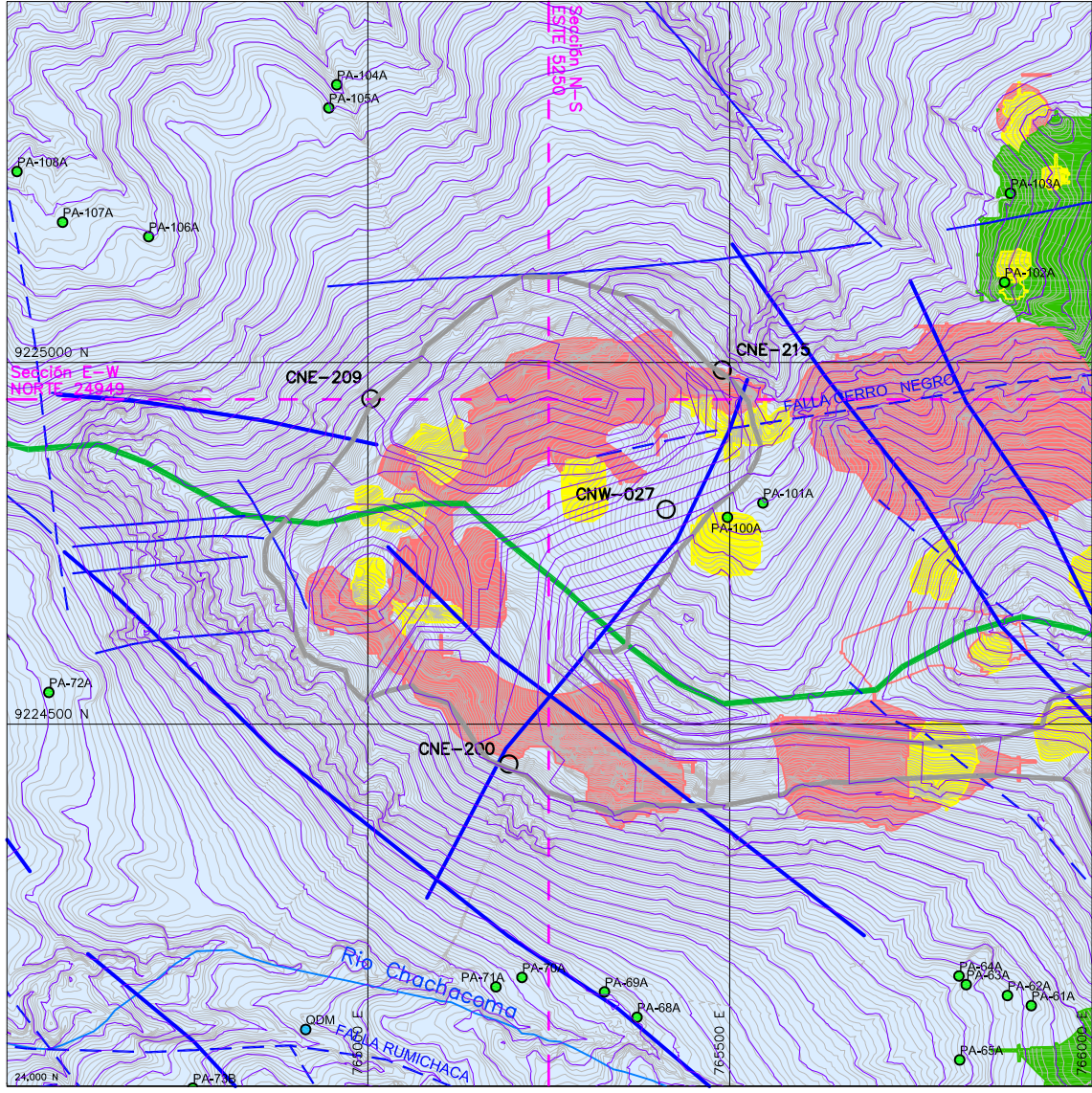
**Leyenda**

- Nuevos puntos de monitoreo
- Inventario de manantiales (Nov-09)
- Punto de monitoreo superficial histórico
- Límite de cuencas
- Límite del proyecto de modificación EIA Cerro Negro Oeste
- Ríos y quebradas
- Carretera
- Canal
- Curvas de nivel
- Tajo Cerro Negro Oeste
- Tajo Cerro Negro Este
- Desmonte Cerro Negro Oeste
- Cancha de Lixiviación La Quinua Etapa 8
- Cantera Cerro Negro Oeste
- Canteras adicionales



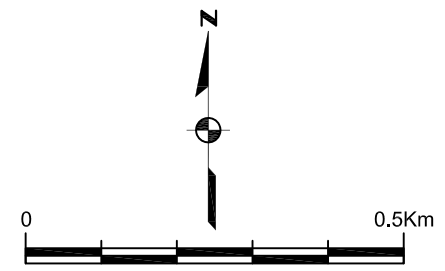
DATUM: UTM PSAD 56 ZONA:17S			
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca			
Plano: Puntos de monitoreo de caudales históricos e inventario de manantiales		Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
Fecha: Julio 2023	Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango	Fuente: MYSRL	Escala: 1/10 000
			2.4

I:\SRV003\IMPROYECTOS\050608\_MYSRL\_ACTUALIZACIÓN MEIA - CNO\500\_REPORT\MODIFICACION\_EIA\_CNO\_V3\FIGURAS\DWG\FIGURA 2-5\_SECCION HORIZONTAL 3630\_ES.DWG



- ### LEYENDA
- Topografía actual
  - Topografía 2017
  - Tajo final
  - Ríos y quebradas
  - Límite de cuenca
  - Fallas
  - Línea de sección
  - CNE-209 Piezómetro
  - QCRE Punto de monitoreo superficial
  - PA-42 Manantial

- ### TIPO DE ALTERACIÓN
- Alteración Argílica Avanzada y/o sin información
  - Silíce Masiva
  - Alteración Propilítica
  - Argílica



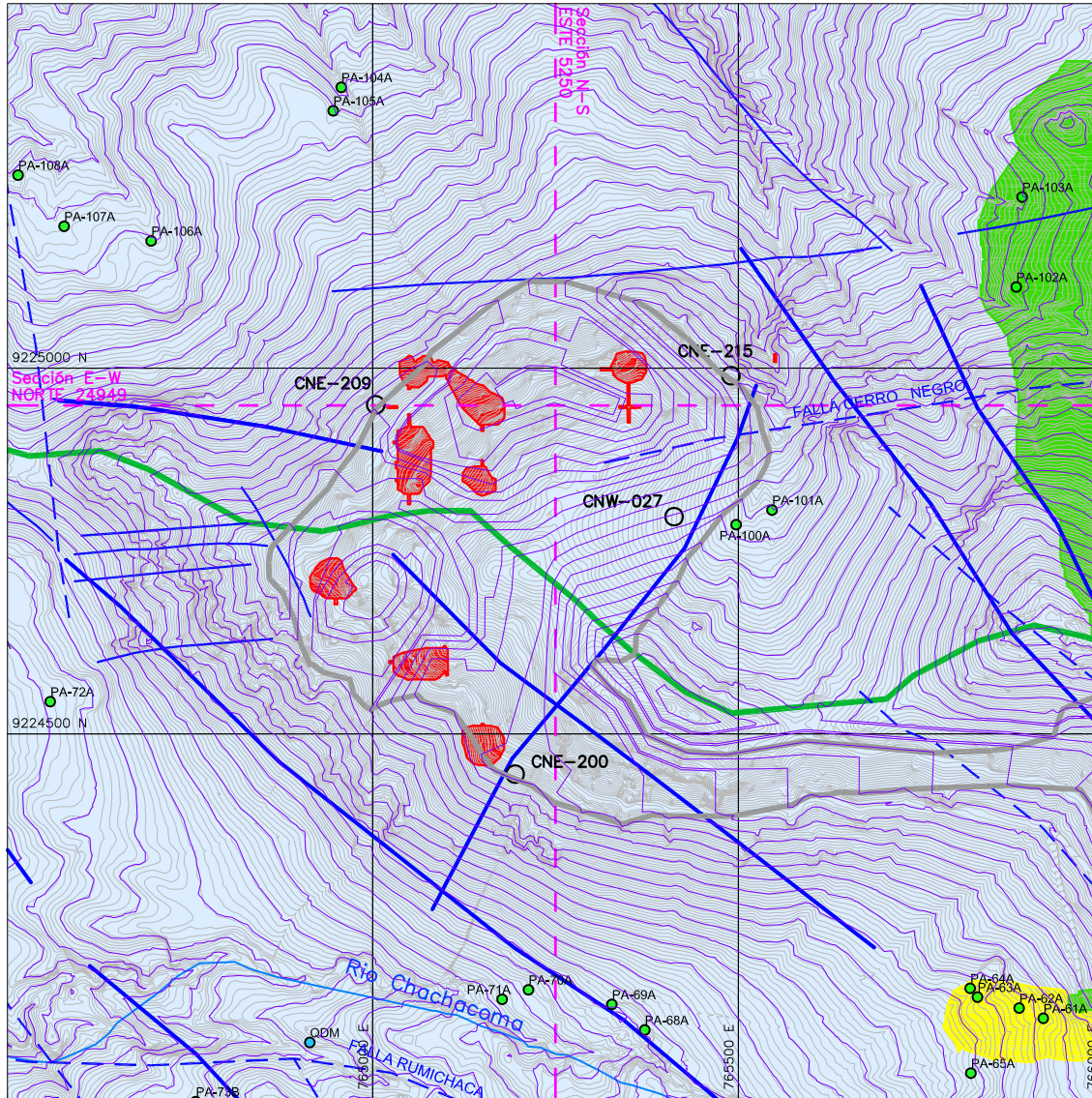
ESCALA  
1:10,000  
Datum: UTM PSAD56      Zona: 17S



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca		Plano N°
Plano: Tipos de alteración en el área de Cerro Negro Oeste a una cota de 3,630 m.s.n.m.		2.5
Fecha: Julio 2023	Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango	Fuente: MYSRL	Escala: 1/10 000

I:\SRV003\IMPROYECTOS\050608\_MYSRL\_ACTUALIZACIÓN MEIA - CNO\500\_REPORT\MODIFICACION\_EIA\_CNO\_V3\FIGURAS\DWG\FIGURA 2-6\_SECCION HORIZONTAL 3490\_ES.DWG

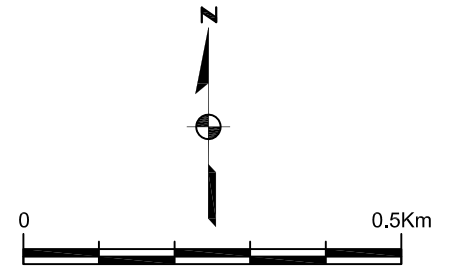


**LEYENDA**

- Topografía actual
- Topografía 2017
- Tajo final
- Ríos y quebradas
- Límite de cuenca
- Fallas
- Línea de sección
- CNE-209 Piezómetro
- QCRE Punto de monitoreo superficial
- PA-42 Manantial

**TIPO DE ALTERACIÓN**

- Alteración Argilica Avanzada y/o sin información
- Silice Masiva
- Alteración Propilítica
- Argilica



ESCALA  
1:10,000

Datum: UTM PSAD56 Zona: 17S



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca

Plano: Tipos de alteración en el área de Cerro Negro Oeste a una cota de 3,490 m.s.n.m.

Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani

Plano N°

Fecha: Julio 2023

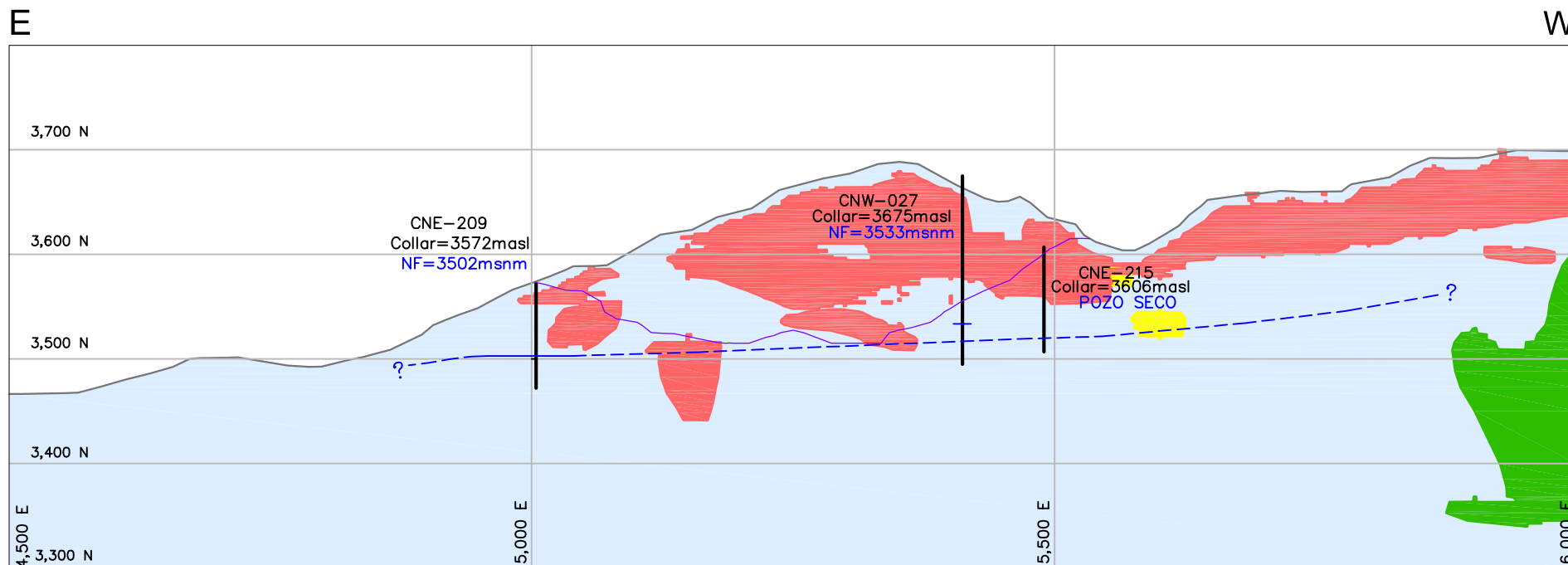
Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango

Fuente: MYSRL

Escala: 1/10 000

**2.6**

\\SRV003\IMP\PROJECTS\050608\_MYSRL\_ACTUALIZACIÓN MEIA - CNO\500\_REPORT\MODIFICACION EA\_CNO\_V3\FIGURAS\DWG\FIGURA 2-7\_SECCION E-W\_ES.DWG



**LEYENDA**

- Topografía actual
- Topografía 2017
- Nivel de agua subterránea inferido

**TIPO DE ALTERACIÓN**

- Silice Masiva
- Argílica
- Alteración Argílica Avanzada y/o sin información
- Alteración Propilítica



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca

Plano: Sección hidrogeológico del área Cerro Negro Oeste: Norte = 24949

Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani

Fecha: Julio 2023

Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango

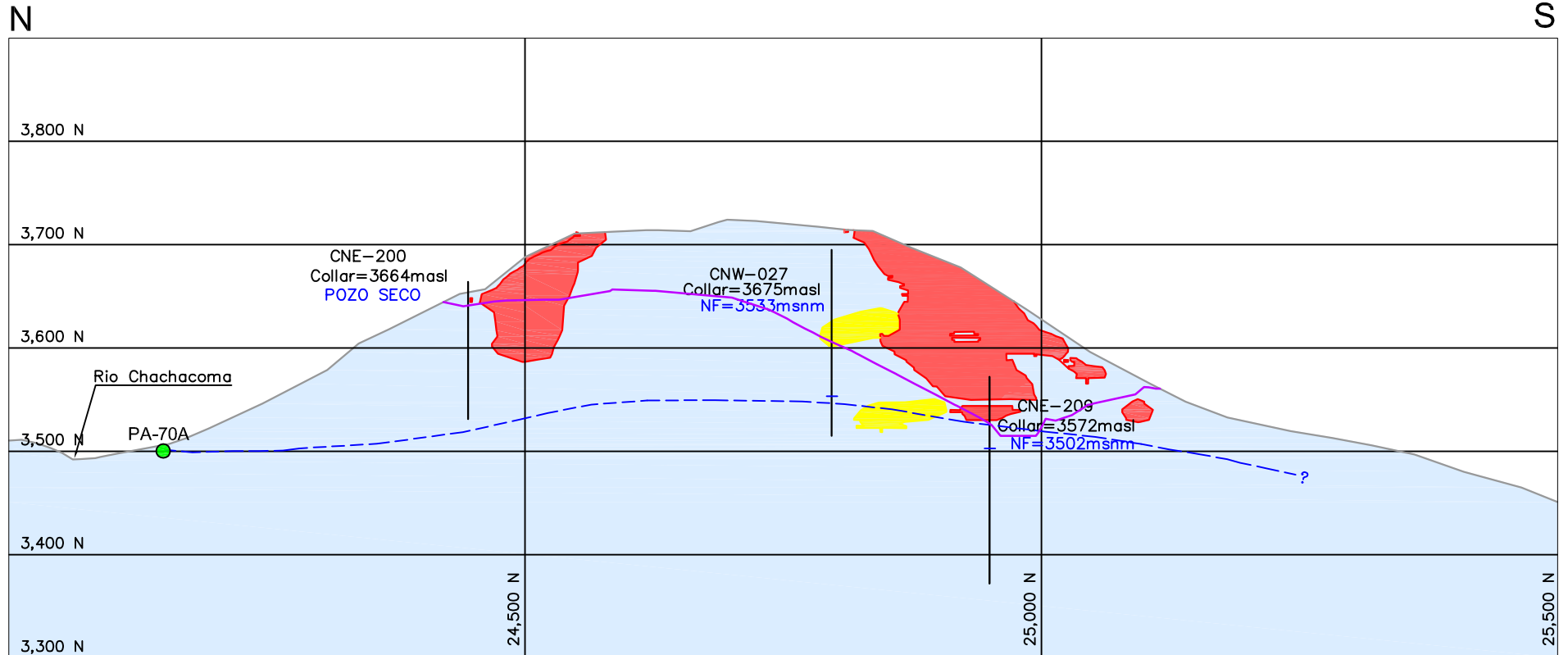
Fuente: MYSRL

Escala: 1/10 000

S.H-N°

**01**

\\SRV003\IMP\PROJECTS\050608\_MYSRL\_ACTUALIZACIÓN MEIA - CNO\5000\_REPORT\MODIFICACION EIA\_CNO\_V3\FIGURAS\DWG\FIGURA 2-8\_SECCION N-S-5250\_ES.DWG



**LEYENDA**

- Topografía actual
- Topografía 2017
- Nivel de agua subterránea inferido
- Manantial PA-70A

**TIPO DE ALTERACIÓN**

- Silice Masiva
- Argilica
- Alteración Argilica Avanzada y/o sin información



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca

S.H-N°

Plano: Sección hidrogeológico del área Cerro Negro Oeste: Este = 5250

Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani

Fecha: Julio 2023

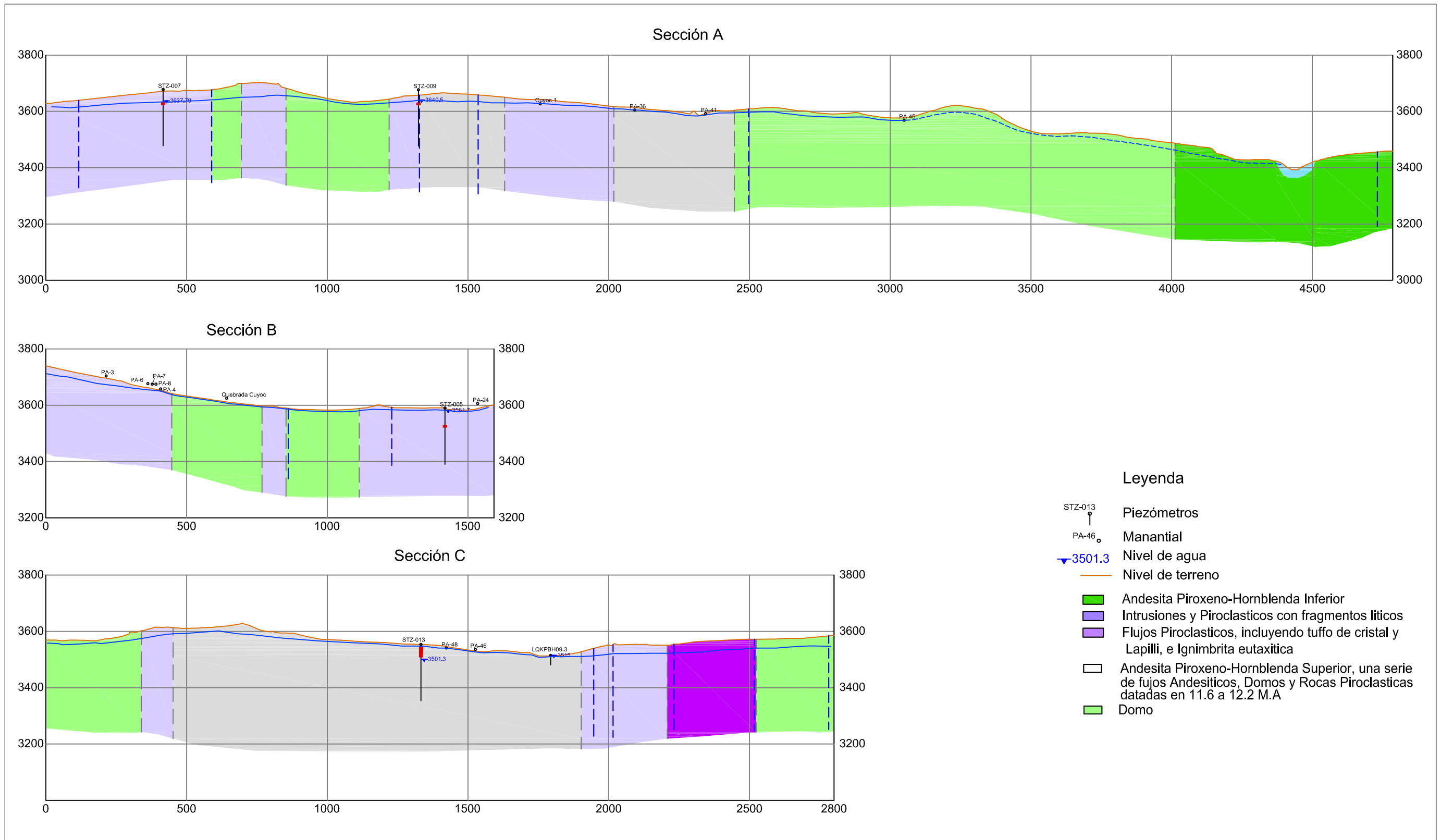
Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango

Fuente: MYSRL

Escala: 1/10 000

**02**

I:\SRV\003\IMPROJECTS\056608\_MYSRL\_ACTUALIZACIÓN MEIA - CNO\500\_REPORT\MODIFICACION\_EIA\_CNO\_V3\FIGURAS\DWG\FIGURA 2.9\_SECCIONES HIDROGEOLOGICAS CONCEPTUALES.DWG



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca

Plano: Secciones hidrogeológicas conceptual en el sector del botadero y pad

Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani

Fecha: Julio 2023

Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango

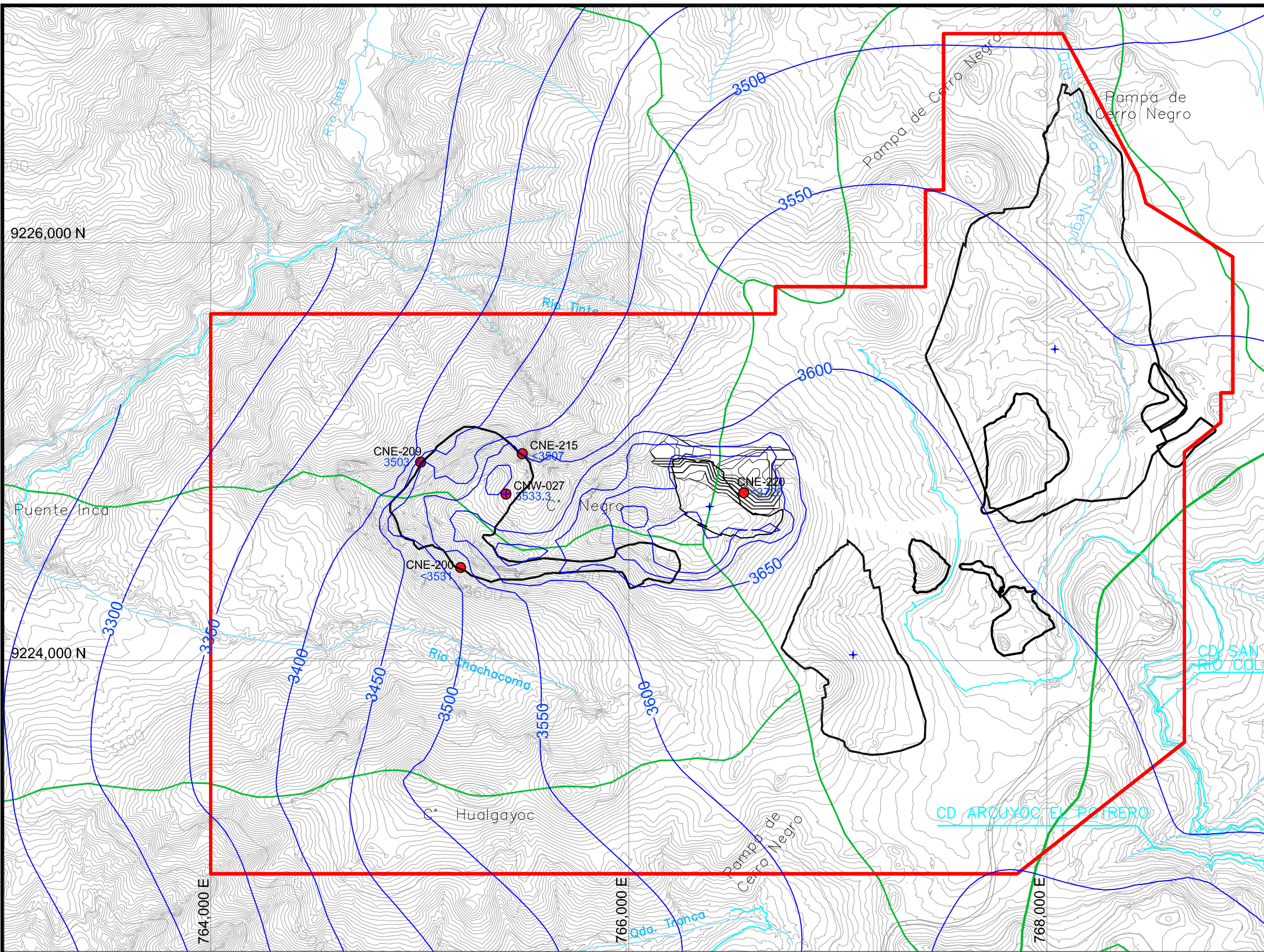
Fuente: MYSRL

Escala: 1/10 000

S.H-Nº

03

I:\SRV\03\IMP\PROJECTS\056608\_MYSRL\_ACTUALIZACIÓN MEIA - CNO\500\_REPORT\MODIFICACION EIA\_CNO\_V3\FIGURAS\DWG\FIGURA 2-10\_GROUNDWATER\CONTOURS\_ES.DWG



**LEYENDA**

- Canal
- Ríos y quebradas
- Curvas de nivel
- Carreteras
- Límite de cuenca
- Curvas de nivel de agua subterránea
- Límite del proyecto de modificación EIA Cerro Negro Oeste
  
- Piezómetro CNE-215 <3506.82
- Tajo Cerro Negro Oeste
- Tajo Cerro Negro Este
- Desmonte Cerro Negro Oeste
- Cancha de Lixiviación La Quinua Etapa 8
- Cantera Cerro Negro Oeste
- Canteras adicionales



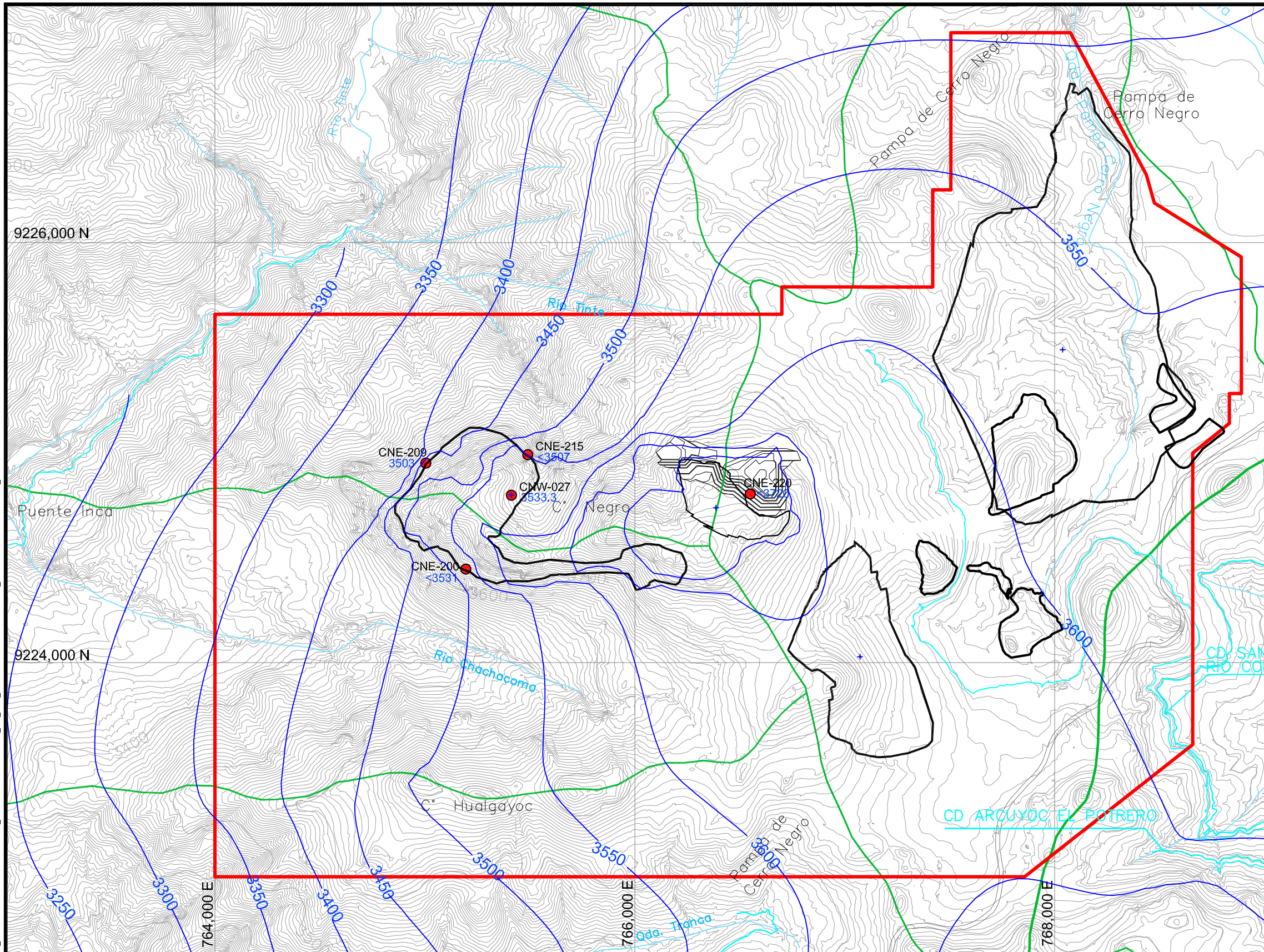
DATUM: UTM PSAD56 ZONE: 17S



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

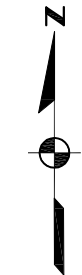
Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca		Plano N°
Plano: Contornos de niveles de agua subterránea simulados por el modelo Época Húmeda -2010	Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	<b>2.7</b>
Fecha: Julio 2023	Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango	
	Fuente: MYSRL	Escala: 1/10 000

I:\SRV\03\IMP\PROJECTS\056608\_MYSRL\_ACTUALIZACIÓN MEIA - CNO\500\_REPORT\MODIFICACION EIA\_CNO\_V3\FIGURAS\DWG\FIGURA 2-11\_GROUNDWATERCONTOURS\_ES.DWG



**LEYENDA**

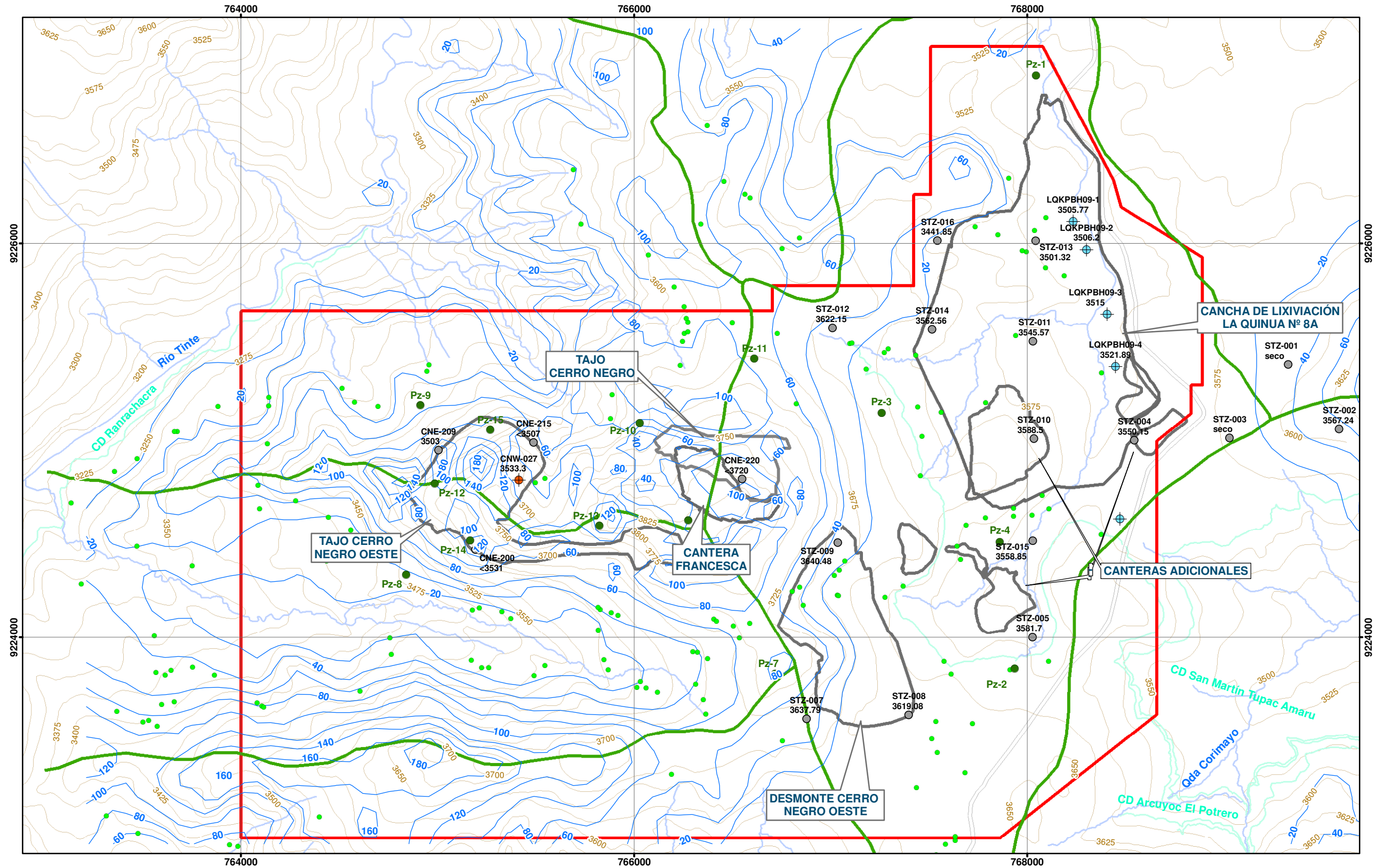
- Canal**
- Ríos y quebradas**
- Curvas de nivel**
- Carreteras**
- Límite de cuenca**
- Curvas de nivel de agua subterránea**
- Limite del proyecto de modificación EIA Cerro Negro Oeste**
- Piezómetro**  
**Nivel de agua**
- Tajo Cerro Negro Oeste**
- Tajo Cerro Negro Este**
- Desmante Cerro Negro Oeste**
- Cancha de Lixivación La Quinoa Etapa 8**
- Cantera Cerro Negro Oeste**
- Canteras adicionales**



DATUM: UTM PSAD56 ZONE: 17S

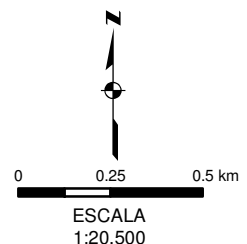
	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>		<b>Plano N°</b> <b>2.8</b>
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca			
Plano: Contornos de niveles de agua subterránea simulados por el modelo Época Seca-2010		Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
Fecha: Julio 2023	Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango	Fuente: MYSRL	Escala: 1/10 000

\\Srv003\proj\proyectos\5456\_Yanacocha\300\_Data\330\_GIS\MXD\_Tercera\_Actualizacion MEIA - CNO\_Feb2011\Figura 2-12\_CN\_Isoprofundidades\_Wet2010\_ES.mxd



**Leyenda**

<span style="color: green;">●</span> Manantiales	Carretera	Tajo Cerro Negro Oeste
Piezómetro geotécnico (Knight Piesold)	Límite de cuenca	Tajo Cerro Negro Este
Piezometro histórico	Límite del proyecto de modificación	Desmonte Cerro Negro Oeste
Piezometro nuevo	Ríos y quebradas	Cancha de Lixiviación La Quinua Etapa 8
	Canal	Cantera Cerro Negro Oeste
	Curvas de nivel	

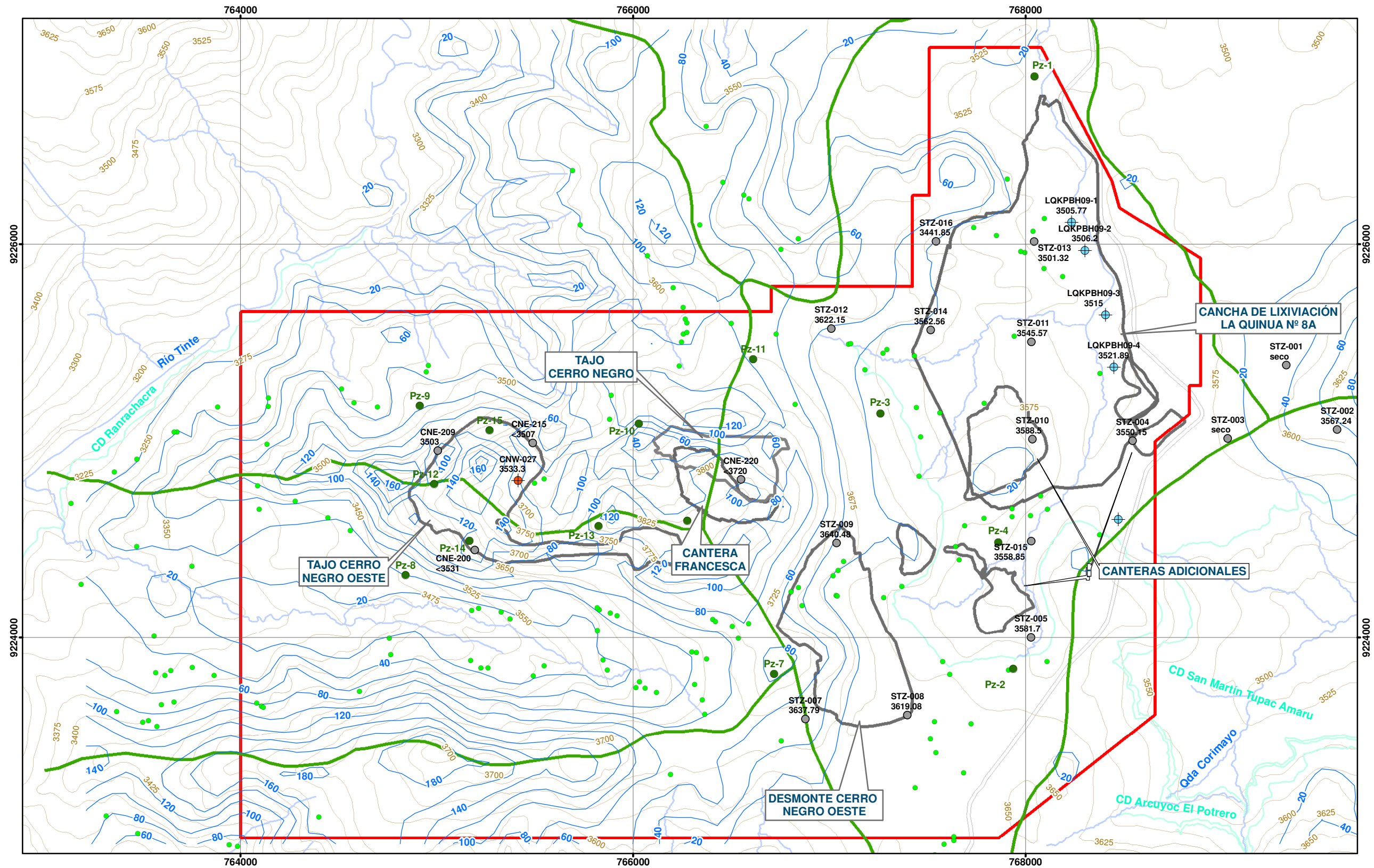


DATUM: UTM PSAD 56 ZONE:17S

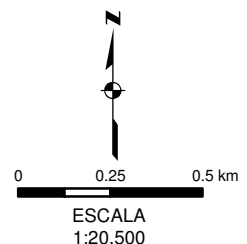
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca		Plano N°
Plano: Isoprofundidades Época Húmeda - Año 2010	Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
Fecha: Julio 2023	Tesisista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango	<b>2.9</b>
	Fuente: MYSRL	Escala: 1/20 500

\\Srv003\im\proyectos\5456\_Yanacocha\300\_Data\330\_GIS\MXD\_Tercera\_Actualizacion MEIA - CNO\_Feb2011\Figura 2-13\_CN\_Isoprofundidades\_Dry2010\_ES.mxd

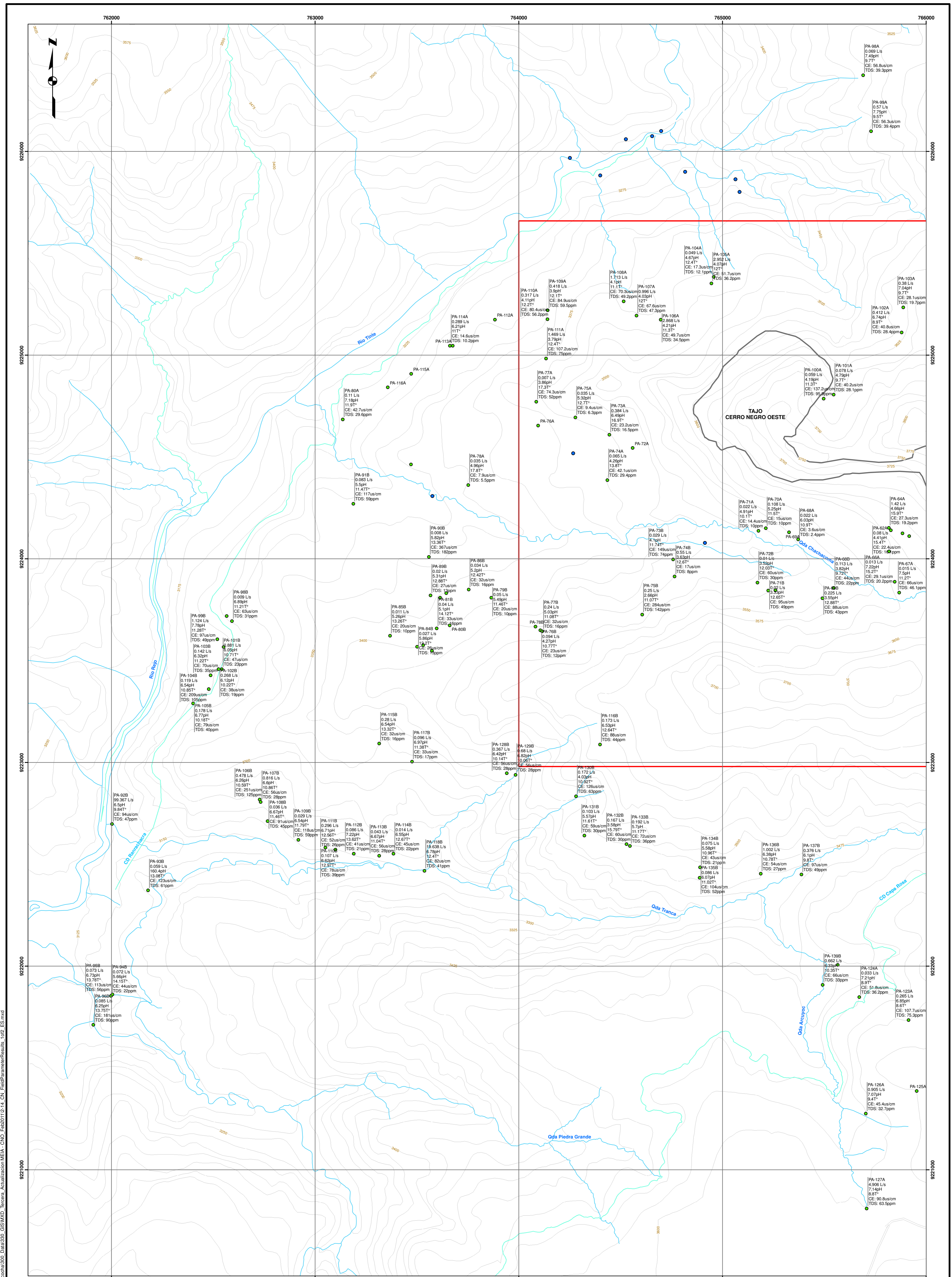


Leyenda	
<span style="color: green;">●</span> Manantiales	Carretera
Piezometro geotecnico (Knight Piesold)	Limite de cuenca
Piezometro historico	Limite del proyecto de modificacion
Piezometro nuevo	Rios y quebradas
	Canal
	Curvas de nivel
Tajo Cerro Negro Oeste	
Tajo Cerro Negro Este	
Desmonte Cerro Negro Oeste	
Cancha de Lixiviación La Quinua Etapa 8	
Cantera Cerro Negro Oeste	

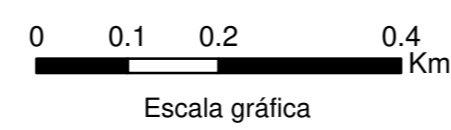


<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca			
Plano: Isoprofundidades Época Seca - Año 2010		Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	
Fecha: Julio 2023	Testista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango	Fuente: MYSRL	Escala: 1/20 500
			Plano N° 2.10

DATUM: UTM PSAD 56 ZONE:17S



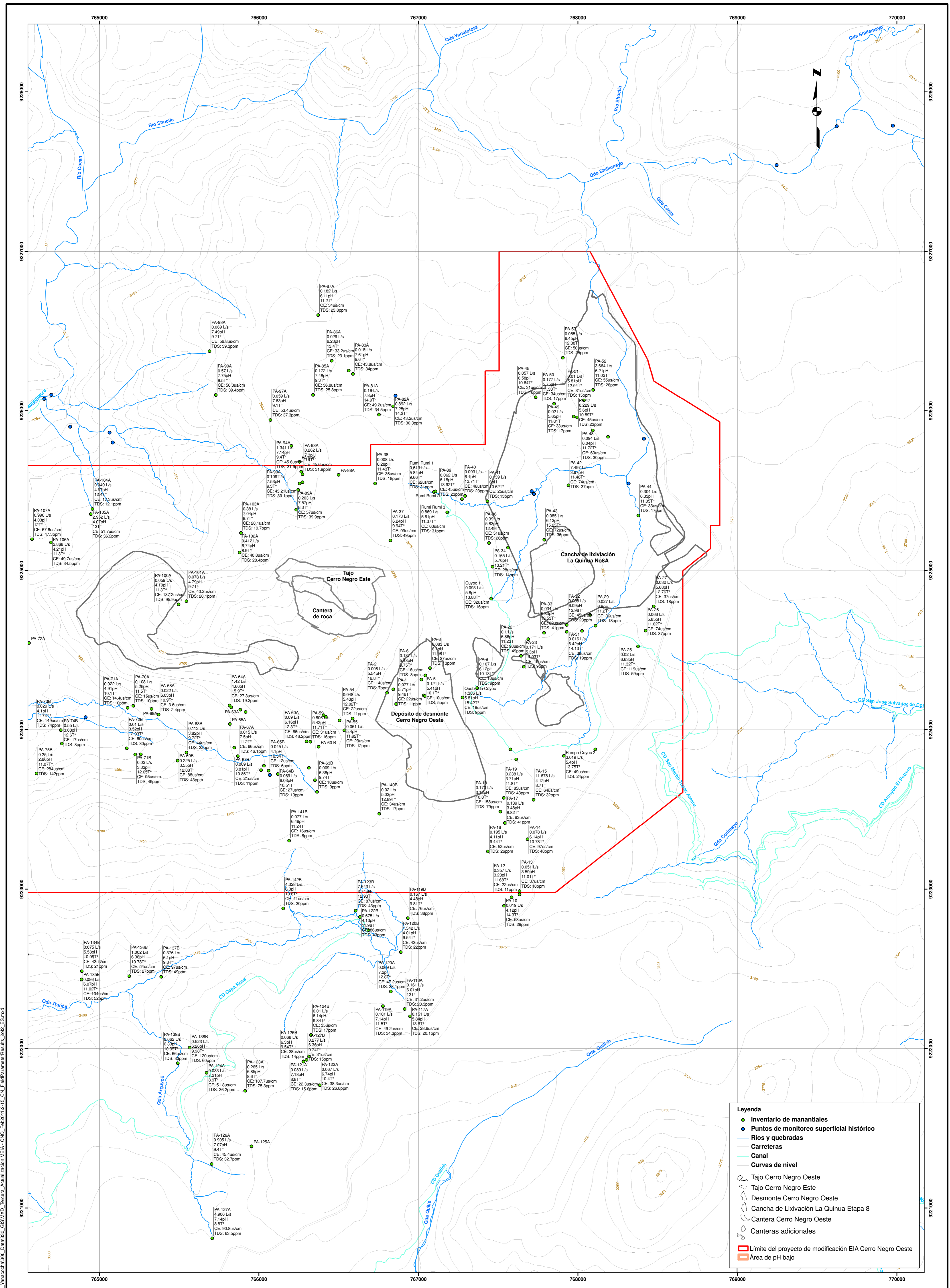
- Legenda**
- Inventario de manantiales
  - Punto de monitoreo superficial histórico
  - Ríos y quebradas
  - Carretera
  - Canal
  - Curvas de nivel
  - Áreas de pH bajo
  - Límite del proyecto de modificación EIA Cerro Negro Oeste



I:\Srv\003\proyectos\5456\_Yanacocha\000\_Datos\330\_GIS\MXD\_Tercera\_Actualización\MEIA\_CNO\_Feb2011\2-14\_CN\_FieldParameterResults\_1of2\_ES.mxd

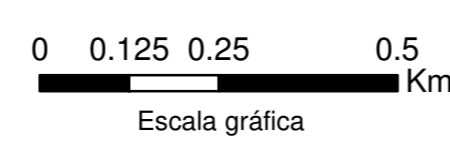
Schlumberger Private

DATUM: UTM PSAD 56 ZONA-17S



**Legenda**

- Inventario de mantiales
- Puntos de monitoreo superficial histórico
- Ríos y quebradas
- Carreteras
- Canal
- Curvas de nivel
- Tajo Cerro Negro Oeste
- Tajo Cerro Negro Este
- Desmonte Cerro Negro Oeste
- Cancha de Lixiviación La Quina Etapa 8
- Cantera Cerro Negro Oeste
- Canteras adicionales
- ▭ Límite del proyecto de modificación EIA Cerro Negro Oeste
- ▭ Área de pH bajo



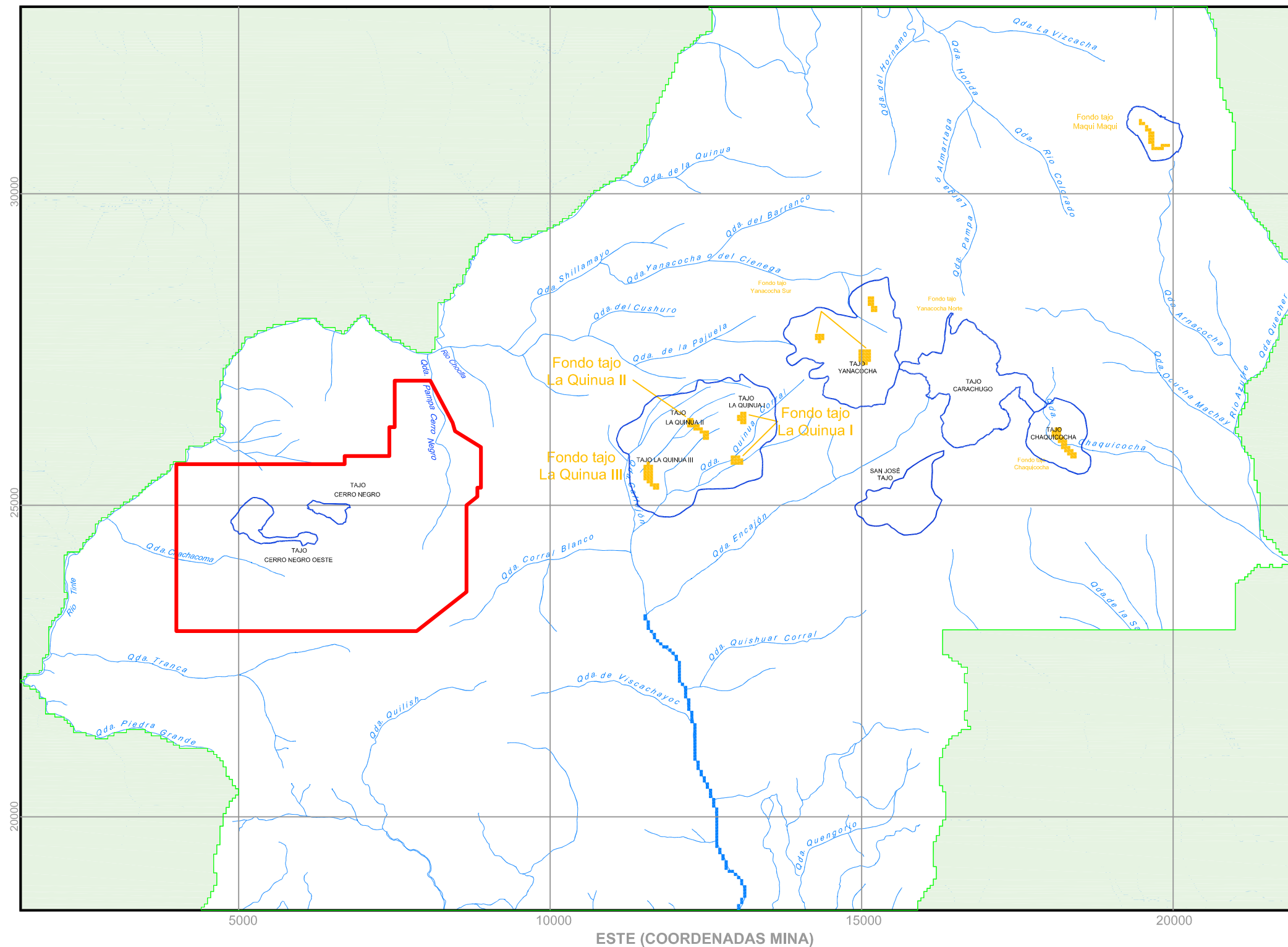
I:\Srv\03\proyectos\6456\_Yanacocha\000\_Datos\330\_GIS\MXD\_Tercera\_Actualización\MEIA\_CNO\_Feb2011\12-15\_CN\_FieldParametersResults\_2012\_ES.mxd

Schlumberger Private

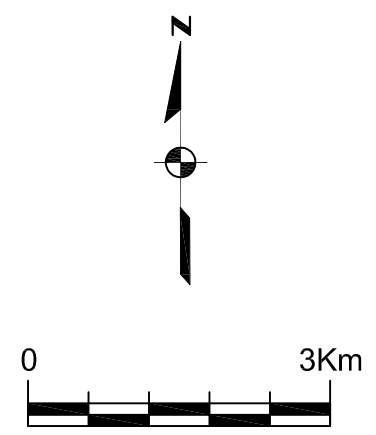


\\SRV003\I\PROJECTS\05608\_MYSRL\_ACTUALIZACIÓN MEIA - CNO\500\_REPORT\MODIFICACION\_EIA\_CNO\_V3\FIGURAS\DWG\FIGURA 3.10\_UBICACIÓN DE LAS CELDAS DE DRENES QUE REPRESENTAN EL DRENADAJE.DWG

NORTE (COORDENADAS MINA)



- LEYENDA**
- Celdas tipo dren en fondos de tajo
  - Celda Inactiva
  - Límite del modelo
  - Límite del tajo
  - Límite del proyecto de modificación EIA Cerro Negro Oeste



**ESCALA**  
1:75'000

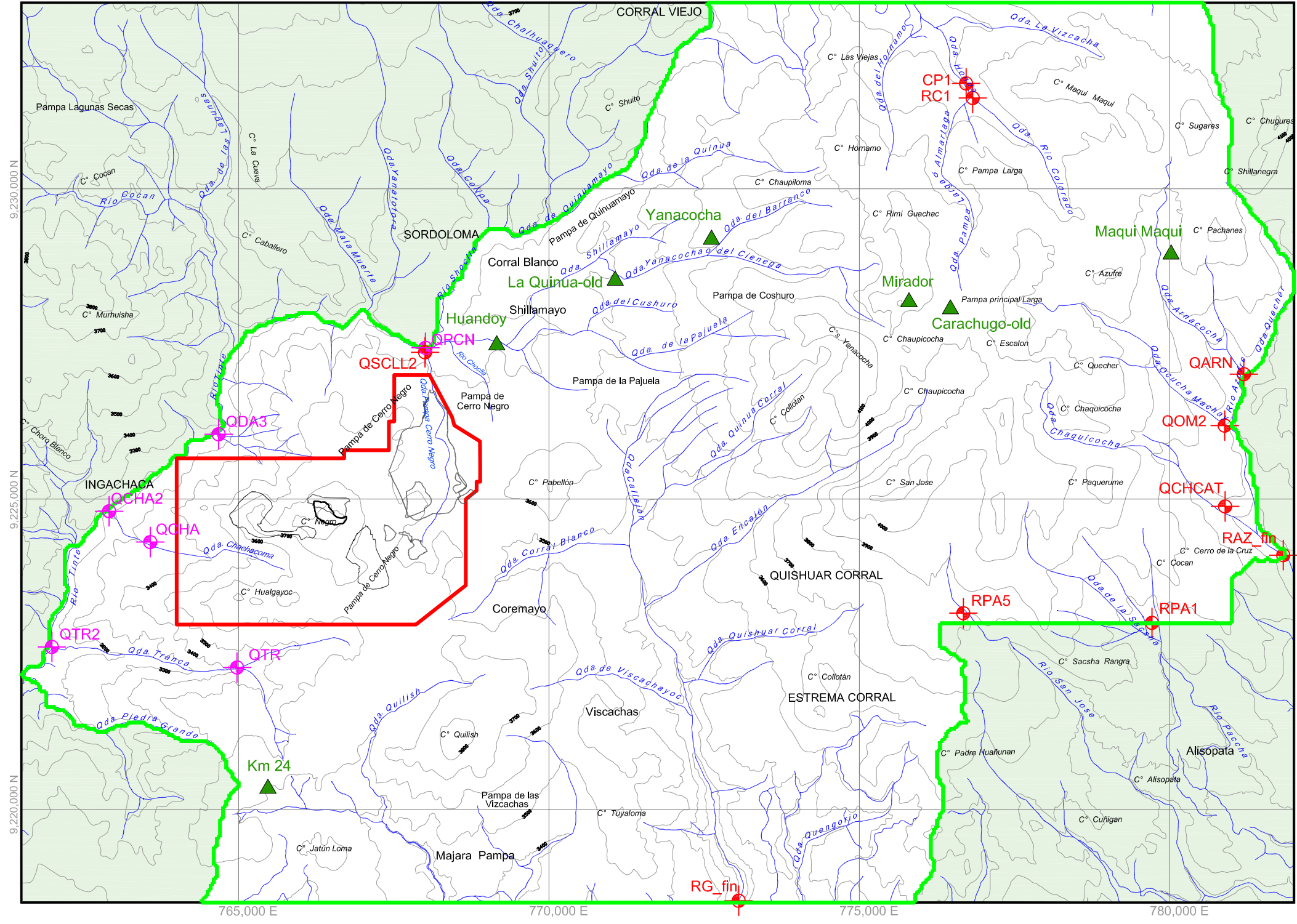


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

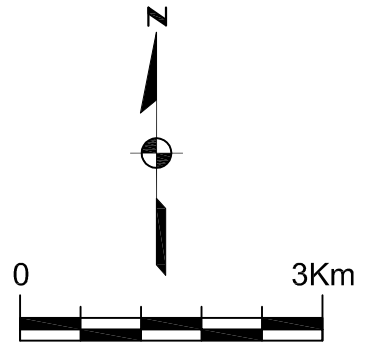
Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca

Plano: Ubicación de las celdas de drenes que representan el drenaje de los tajos activos	Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	Plano N°
Fecha: Julio 2023	Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango	<b>3.2</b>
	Fuente: MYSRL	Escala: 1/75 000

\\SRV003\IMP\PROYECTOS\05608\_MYSRL\_ACTUALIZACIÓN MEIA - CNO\500\_REPORT\MODIFICACION\_EIA\_CNO\_V3\FIGURAS\DWG\FIGURA 4.1\_UBICACION DE LOS PUNTOS DE CONTROL PARA LA ESTIMACION DE LOS



- LEYENDA**
- Curvas topográficas
  - Quebrada
  - Límite del modelo
  - Zona inactiva
  - ▲ Estación meteorológica
  - Límite del proyecto de modificación EIA Cerro Negro Oeste
  - ⊕ QOM2 Puntos de control de agua superficial
  - ⊕ QPCN Puntos de control del modelo numérico
  - ⊔ Tajo Cerro Negro Oeste
  - ⊔ Tajo Cerro Negro Este
  - ⊔ Depósito de desmonte Cerro Negro Oeste
  - ⊔ Cancha de lixiviación La Quinua Etapa 8
  - ⊔ Cantera de roca Cerro Negro Oeste
  - ⊔ Canteras adicionales



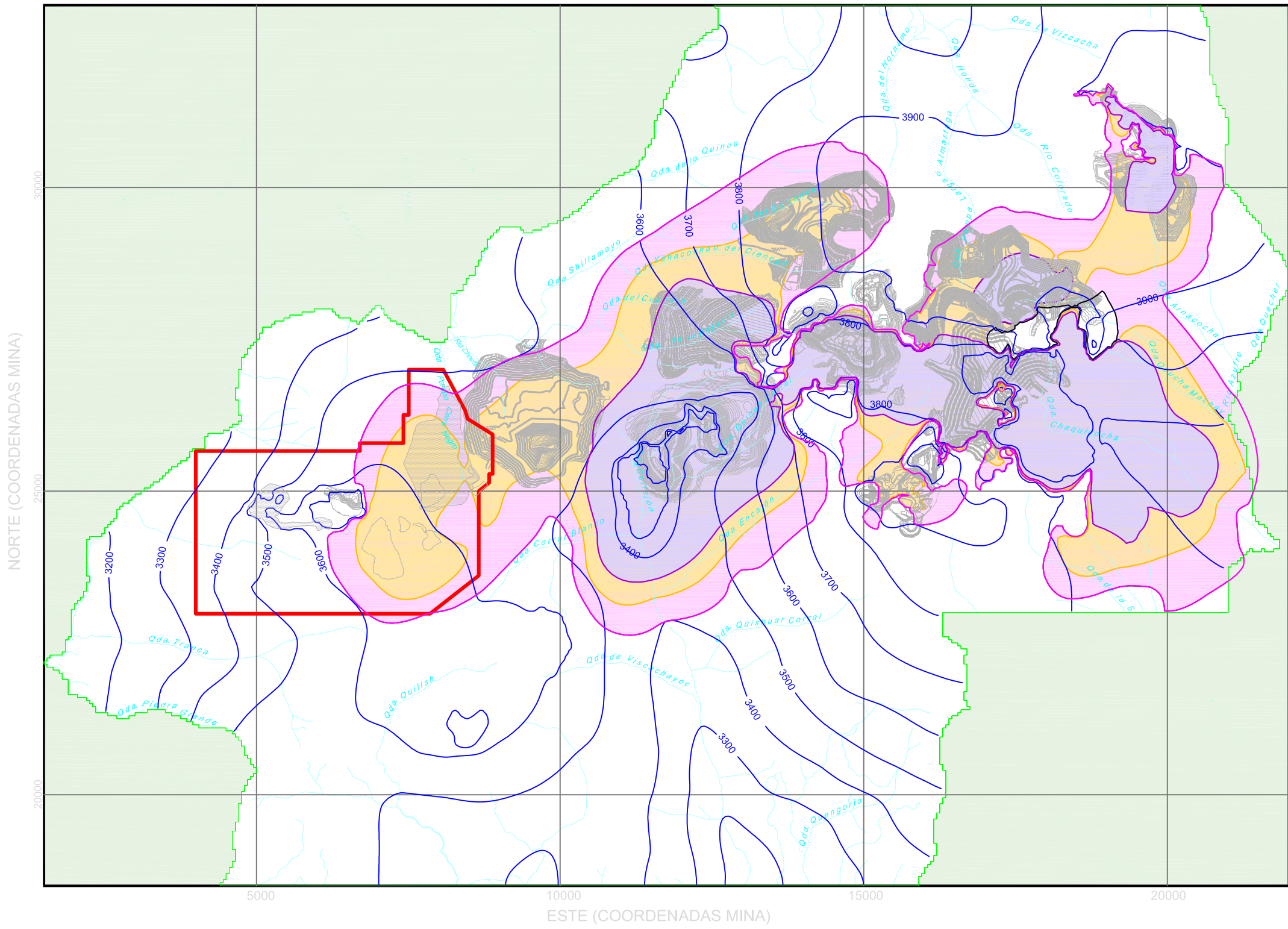
**ESCALA**  
1:75'000  
DATUM: UTM PSAD56 ZONA: 17S



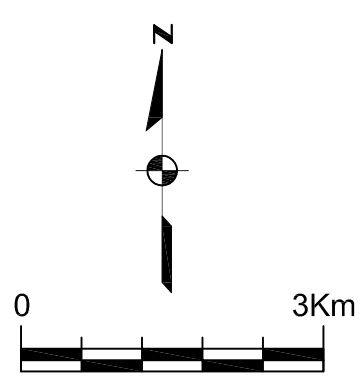
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca		Plano N°
Plano: Puntos de control para la estimación de los impactos sobre el flujo base	Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	<b>4.1</b>
Fecha: Julio 2023	Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango	
	Fuente: MYSRL	Escala: 1/75 000

I:\SRV\03\IMP\PROJECTS\056608\_MYSRL\_ACTUALIZACIÓN MEIA - CNO\500\_REPORT\MODIFICACION\_EIA\_CNO\_V3\FIGURAS\DWG\FIGURA 4.2\_CURVAS ISOFREÁTICAS SIMULADAS PARA FINES DE 2017\_ES.DWG

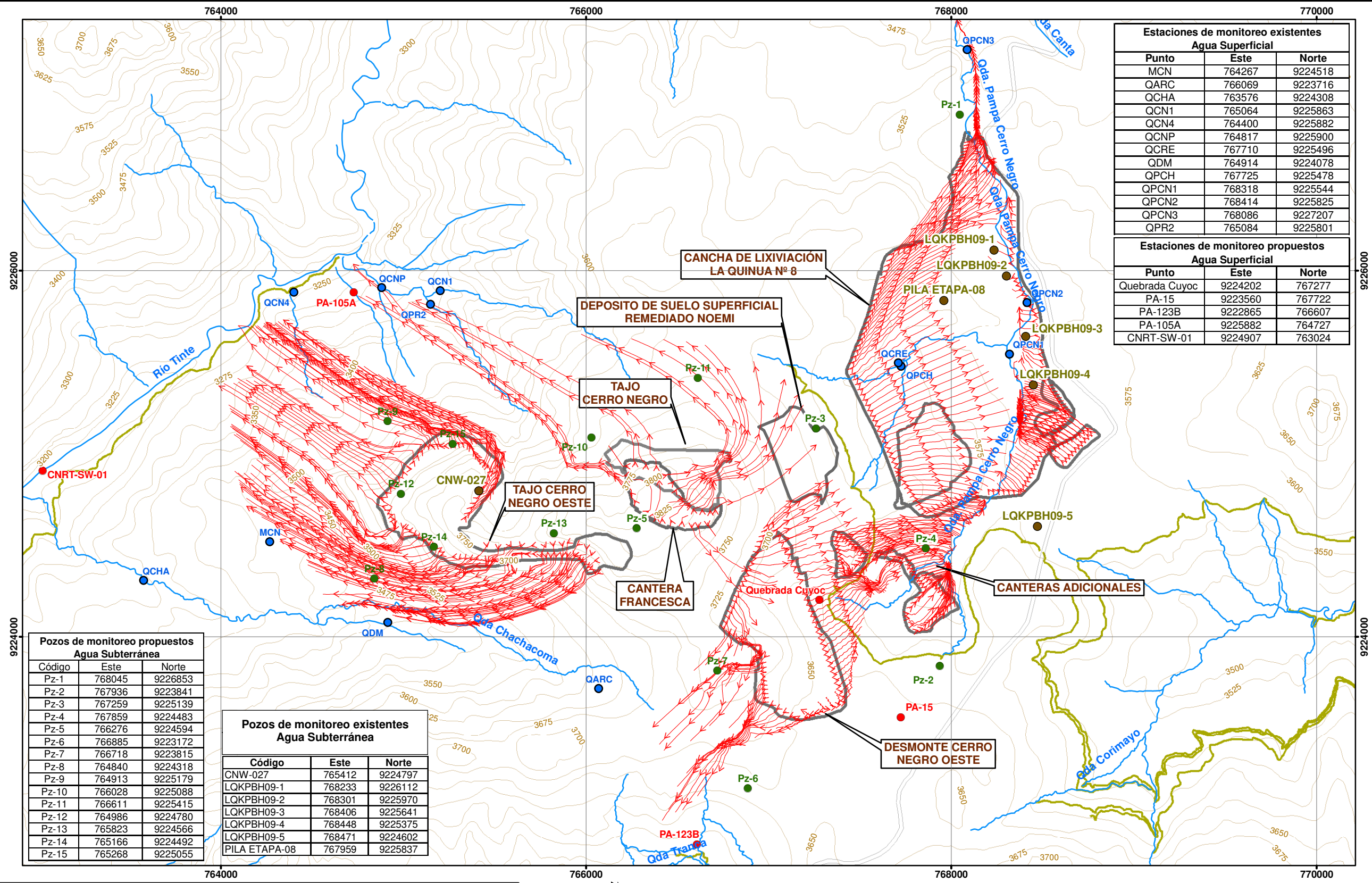


- LEYENDA**
- Curva isofreática (msnm)
  - Curva isodescenso 5 m
  - Curva isodescenso 10 m
  - Curva isodescenso 20 m
  - Descenso entre 5 y 10 m.
  - Descenso entre 10 y 20 m.
  - Descenso mayor a 20 m.
  - Zona inactiva
  - Limite del modelo
  - Limite del proyecto modificación EIA Cerro Negro Oeste
  - Instalaciones proyectadas



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>				<b>Plano N°</b> <b>4.2</b>
	FACULTAD DE INGENIERÍA				
	ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA				
Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca					
Plano: Curvas isofreáticas y descenso simulados para fines de 2017			Asesor: Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani		
Fecha: Julio 2023	Tesisista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango	Fuente: MYSRL	Escala: 1/75 000		

\\svr003\lim\proyectos\5456\_Yanacocha\300\_Data\330\_GIS\MXD\_Tercera\_Actualizacion MEIA-CNO\_Feb2011\Figura 4.5\_Simulación de rastreo de partículas\_v6.mxd



Estaciones de monitoreo existentes Agua Superficial		
Punto	Este	Norte
MCN	764267	9224518
QARC	766069	9223716
QCHA	763576	9224308
QCN1	765064	9225863
QCN4	764400	9225882
QCNP	764817	9225900
QCRE	767710	9225496
QDM	764914	9224078
QPCH	767725	9225478
QPCN1	768318	9225544
QPCN2	768414	9225825
QPCN3	768086	9227207
QPR2	765084	9225801

Estaciones de monitoreo propuestas Agua Superficial		
Punto	Este	Norte
Quebrada Cuyoc	9224202	767277
PA-15	9223560	767722
PA-123B	9222865	766607
PA-105A	9225882	764727
CNRT-SW-01	9224907	763024

Pozos de monitoreo propuestos Agua Subterránea		
Código	Este	Norte
Pz-1	768045	9226853
Pz-2	767936	9223841
Pz-3	767259	9225139
Pz-4	767859	9224483
Pz-5	766276	9224594
Pz-6	766885	9223172
Pz-7	766718	9223815
Pz-8	764840	9224318
Pz-9	764913	9225179
Pz-10	766028	9225088
Pz-11	766611	9225415
Pz-12	764986	9224780
Pz-13	765823	9224566
Pz-14	765166	9224492
Pz-15	765268	9225055

Pozos de monitoreo existentes Agua Subterránea		
Código	Este	Norte
CNW-027	765412	9224797
LQKPBH09-1	768233	9226112
LQKPBH09-2	768301	9225970
LQKPBH09-3	768406	9225641
LQKPBH09-4	768448	9225375
LQKPBH09-5	768471	9224602
PILA ETAPA-08	767959	9225837

**Leyenda**

Hidrología	Estaciones de Monitoreo de Agua Superficial	Tajo Cerro Negro Oeste
Carretera	Estaciones de monitoreo propuestas	Tajo Cerro Negro Este
Canales	Estaciones de monitoreo existentes	Botadero Cerro Negro Oeste
Curvas de nivel	Pozos de monitoreo propuestos de Agua Subterránea	Pad de Lixiviación La Quinua Etapa 8
Trayectoria de partículas	Pozo de monitoreo existente	Canteras Cerro Negro Oeste
	Pozos de monitoreo propuestos	

N

0 0.5 1 km

1:22,000



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Tesis Profesional: Caracterización Hidrogeológica Del Proyecto Cerro Negro Oeste - Cajamarca

Plano: Simulación de rastreo de partículas Cerro Negro Oeste	Asesor: Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani	<b>4.3</b>
Fecha: Julio 2023	Tesista: Bach. Ricardo Ispilco Chuquimango	

Plano Nº

Escala: 1/22 000

DATUM: UTM PSAD 56 ZONA:17S