

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA
SECCION DE POSGRADO



EVALUACION Y PROPUESTA DE MITIGACION DE
EFLUENTES DE AGUAS ACIDAS DE CANTERA DE CAOLIN

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN:

MINERIA Y MEDIO AMBIENTE

PRESENTADO POR:

MARIA CARMEN TUIRO SALVADOR

LIMA – PERÚ

2010

DEDICADO

***A mi hija Laura Sofía fuente de mi fuerza
para seguir adelante.***

Agradezco a mi Alma Mater profesores y mi familia que hicieron posible este trabajo.

INDICE DE TESIS

EVALUACION Y PROPUESTA DE MITIGACION DE EFLUENTES DE AGUAS ACIDAS DE CANTERA DE CAOLIN

INTRODUCCION

CAPITULO I

CARACTERISTICAS AMBIENTALES GEOQUIMICAS	1
1.1 <i>Ubicación</i>	1
1.2 <i>Geología regional</i>	3
1.2.1 <i>Hidrografía</i>	3
1.2.2 <i>Clima – Vegetación</i>	3
1.2.3 <i>Geomorfología</i>	7
1.2.4 <i>Estratigrafía</i>	9
1.2.5 <i>Geología Estructural</i>	21
1.3 <i>Geología local</i>	22
1.4 <i>Características de los yacimientos de la zona</i>	32
1.5 <i>Alteración</i>	34
1.5.1 <i>Formación de Caolín</i>	34
1.5.2 <i>Formación del drenaje ácido</i>	38

CAPITULO II

PROCESO DE MONITOREO	45
2.1 <i>Monitoreo de aguas y sólidos</i>	45
2.2 <i>Resultado de los análisis de muestras de aguas</i>	50
2.3 <i>Resultado de los Análisis de sedimentos y compósito de Mineral</i>	52

CAPITULO III

IMPACTOS AMBIENTALES	54
3.1 <i>Impactos de las aguas</i>	55
3.2 <i>Impactos de los sedimentos</i>	55

CAPITULO IV

TECNOLOGIAS DE NEUTRALIZACION DE LAS AGUAS ACIDAS	58
4.1 <i>Definición de etapas del proceso de generación de drenaje ácido.</i>	58
4.2 <i>Procesos de Neutralización de las aguas ácidas</i>	60
4.3 <i>Pruebas de Neutralización de las aguas ácidas con cal</i>	64
4.4 <i>Parámetros de prueba de la neutralización de las aguas ácidas.</i>	66
4.5 <i>Eficiencia del tratamiento</i>	67

CAPITULO V

DISEÑO DE PLANTA DE NEUTRALIZACION	69
5.1 <i>Parámetros de diseño</i>	70
5.2 <i>Tratamientos de lodos de neutralización</i>	72
5.2.1 <i>Diseño y zona de disposición de lodos generados por la Neutralización</i>	73
5.2.2 <i>Plan de cierre de disposición de lodos</i>	74
5.3 <i>Costos</i>	74
5-4 <i>Planos</i>	75
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	80
INDICE DE TABLAS	81
ANEXO	

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se ha desarrollado en base a un problema de contaminación ambiental a causa de efluentes de aguas ácidas emitidas en forma natural en una zona de caolinización de cerca de 1,5 Has. donde existen tres puntos emisiones de aguas ácidas, las cuales fueron halladas al realizar tajos de exploración preliminar por caolín en la zona de Huando- Huancavelica, entre los límites de los cuadrángulos 26-m y 26-n.

La caracterización geoquímica de las aguas y sedimentos monitoreados, indicaron que pueden causar grandes impactos sobre las aguas, suelos y flora y fauna por lo que se hace la propuesta de un proyecto de tratamiento de estos efluentes por el proceso de neutralización con cal cuyos resultados dieron aguas de calidad potable que cumplen en demasía con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Aguas (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM) llegando a lograr eficiencias de remoción mayores a 90 %. Todo el trabajo de Tesis lo realicé en el Laboratorio de ESPECTROMETRIA y el INSTITUTO DE MINERIA Y MEDIO AMBIENTE de la FIGMM-UNI

El trabajo incluye además la definición de las características de diseño de las pozas de tratamiento de los efluentes de acuerdo a las características de la zona; diseño de la zona de disposición de los lodos productos de la neutralización, así como el plan de cierre del mismo y los costos de cada etapa como un proyecto alternativo para la mitigación de este problema ambiental.

ABSTRACT

This research work has been developed based on an environmental pollution problem caused by acid water effluents emitted naturally in kaolinization area of about 1.5 hectares. There are three points where emissions of acid water, which were found to carry out preliminary exploration pits in the area kaolin Huando-Huancavelica, within the limits of the quads 26-m 26-n. The geochemical characteristics of monitored waters and sediments indicated that can cause major impacts on water, soil and flora and fauna as the proposal is a draft of the wastewater treatment by lime neutralization process whose results were drinking quality water too much to meet National Environmental Quality Standards Water (Supreme Decree N ° 002-2008-MINAM) arriving to achieve removal efficiencies above 90%. All thesis work is undertaken at the Laboratory of Mass Spectrometry and the INSTITUTE OF MINING AND ENVIRONMENT of FIGMM-UNI

The work includes defining the design characteristics of the pools of effluent treatment according to the characteristics of the area, zone design of the sludge disposal of the neutralization product and the end of the plan and costs of each stage as an alternative to mitigate this environmental problem.

INTRODUCCIÓN

Los hallazgos de drenajes de aguas ácidas en la naturaleza se han reportado desde hace siglos como procesos naturales. Actualmente se conoce su causa y los factores que dan lugar a que ocurra este evento geoquímico de oxidación, hidrólisis y la cinética del proceso. Sin embargo, los procesos de mitigación no se pueden restringir a un procedimiento estándar, ya que cada uno presenta un origen y características químicas únicas. Tal es el caso de esta zona de Nueva Esperanza en las punas de Huancavelica que ofrece una formación bastante extensa de caolín producida por los procesos de alteración hidrotermal de rocas ricas en feldespatos, pero que a su vez presenta un drenaje de aguas ácidas debido a los minerales sulfurados, depositados por dicho proceso.

Para el aprovechamiento de esta cantera se hace necesario un proyecto que en conjunto controle estas emisiones ácidas y que a la vez les dé un uso que beneficie a los pobladores de esta zona después de su tratamiento. Es por esto que nace el presente trabajo de tesis de evaluación geoquímica de las emisiones aguas ácidas y el estudio para proponer un proceso viable de litigación de ellas cumpliendo los estándares de calidad ambiental de aguas y los protocolos de control de residuos del tratamiento.

CAPITULO I

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES GEOQUÍMICAS

1.1 UBICACIÓN

El área de estudio se emplaza dentro de un cuadrado de 0.5 x 0.5 Km²., en los cuadrángulos 26m (Conayca) y 26n (Huancavelica) cuyo centro de gravedad se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas (WGS84):

Latitud : 12°36'20.41" S

Longitud : 74°00'00.50" W

Elevación : 4,024 msnm

Que corresponden a las siguientes coordenadas UTM (Datum PSAD56):

Zona : 18L

C_Este : 499,985 m

C_Norte : 8'606,455 m

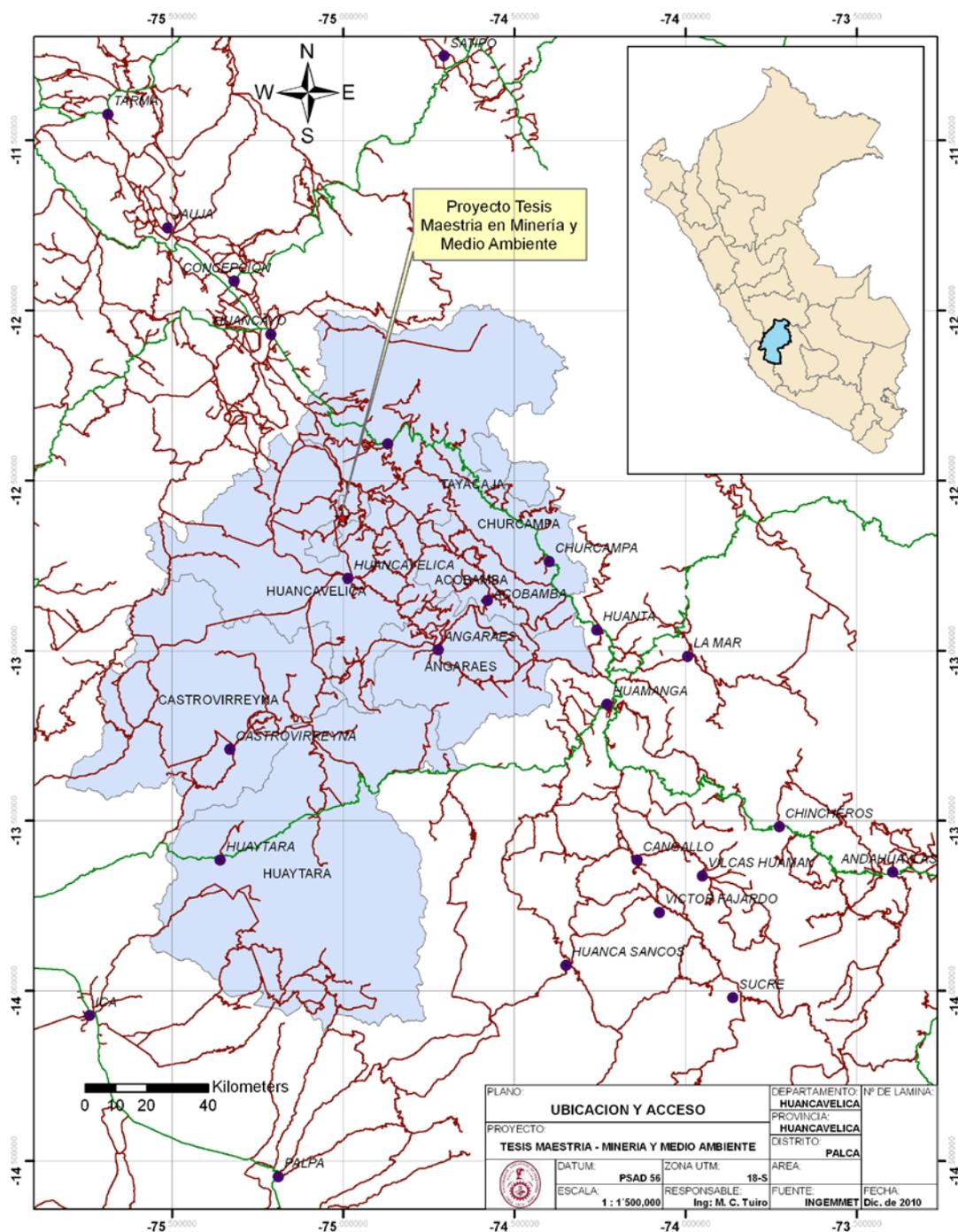
Elevación : 4,024 msnm

Se accede a la Zona del Proyecto de Tesis por vía terrestre en el siguiente recorrido:

Tramo	Tipo Vía	Distancia (km)
Lima – Huancayo	Carretera Asfaltada	298.80
Huancayo – Huando	Carretera Afirmada	103
Huando - Cantera nueva Esperanza	Carretera Afirmada y trocha	35

Ver Plano de Ubicación y Acceso (Ver plano N° 01).

De Huando se continua en carretera asfaltada que va para Huancavelica unos 22 Km y luego se sale hacia la derecha en una trocha hacia la puna donde no hay carretera hacia la cantera Nueva Esperanza.



Plano N° 01: Ubicación y Acceso

1.2 GEOLOGÍA REGIONAL

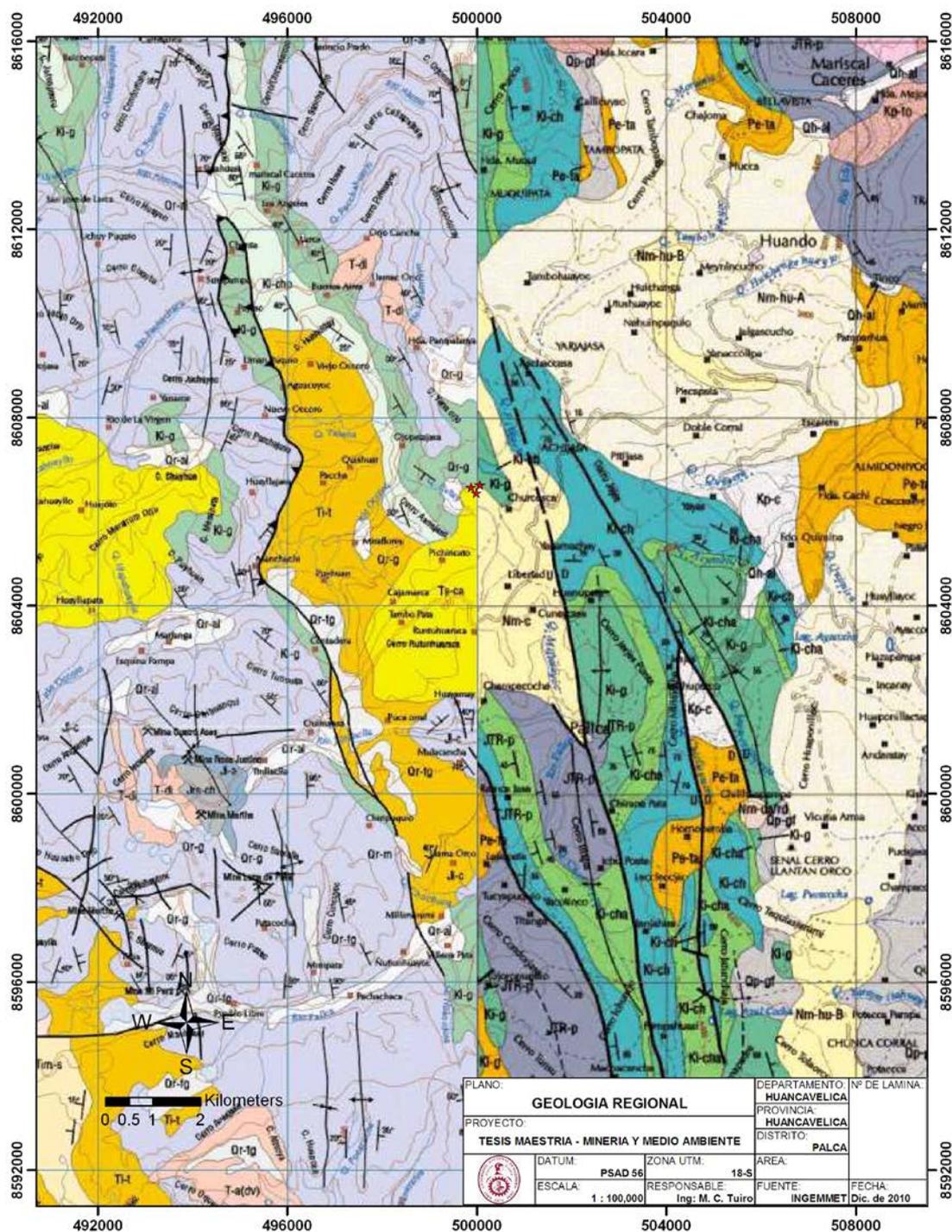
El estudio geológico se ha tomado del cuadrángulo de Huancavelica de la Carta Geológica Nacional a escala 1/100.000, del INGEMMET, teniendo en cuenta los cuadrangulos 26m y 26n. (ver plano N° 02)

1.2.1 Hidrografía

A nivel regional se tienen tres ríos principales como el río Mantaro en el extremo NE, y los ríos Ichu y Lircay, que son los más importantes en la zona, los cuales forman pequeñas subcuencas desembocando en ellos los numerosos riachuelos que tienen sus nacientes en las quebradas, laderas y mesetas altas. El área de estudio se encuentra lejos del río Ichu pero dentro de su cuenca. El Río Ichu es uno de los importantes ríos que en su recorrido discurre por las localidades de Huancavelica y Yauli hasta llegar a desembocar en el río Mantaro con tramos que presentan relieves escarpados y formas de cañón, como también valles estrechos con un caudal considerable de agua, teniendo el aporte de numerosos tributarios. Su recorrido en el cuadrángulo es de 44 km. aproximadamente.

1.2.2 Clima

El clima de esta región está caracterizado por una alternancia de estaciones, y que están controladas por la topografía y la altitud. A continuación se resume las subregiones climáticas tomando como base los estudios realizados por la OEA (1961) en forma general de esta región. El área de estudio se encuentra a 4024 msnm la cual es considerada entre terrenos de climas fríos y superficies altas de las mesetas en la Cordillera.



Plano N° 02: Geología Regional

Leyenda cuadrangulo 26n

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	ROCAS IGNEAS		
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos Aluviales			
		PLEISTOCENO	Travertinos y coluviales			
			Dep. Glaciofluviales			
		NEOGENO	PLIOCENO	Fm Omaconga		
				Fm Huando		
				Fm Rumihuasi		
	MIOCENO		Formación Sta. Barbara			
		Formación Acobamba				
		Formación Huanta				
	PALEOGENO	OLIGOCENO	Formación Julcani			
			Formación Caudalosa			
		EOCENO	Formación Rumichaca			
Formación Tantarà						
PALEOCENO		Formación Casapalca				
		Formación Chùlec				
MESOZOICO	CRETACEO	Formación Chayllacatana				
		Grupo Goyllarizquizga				
		Formación Chunumayo				
	JURASICO	Formación Pucarà				
		Formación Mito				
	TRIASICO	SUPERIOR				
INFERIOR						
PALEOZOICO	PERMIANO	SUPERIOR				

Leyenda cuadrangulo 26 m

ERA	SIST	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	ROCAS INTRUSIVAS													
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Dep. fluvioglaciares	Gr-fg	Intrusivos Menores <table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>T-gd</td> <td>Granodiorita</td> <td>T-a</td> <td>Andesita</td> </tr> <tr> <td>T-mdi</td> <td>Monzodiorita</td> <td>T-a/db</td> <td>Andesita Diabasa</td> </tr> <tr> <td>T-di</td> <td>Diorita</td> <td>T-r</td> <td>Riolita</td> </tr> </table>	T-gd	Granodiorita	T-a	Andesita	T-mdi	Monzodiorita	T-a/db	Andesita Diabasa	T-di	Diorita	T-r	Riolita
			T-gd	Granodiorita		T-a	Andesita										
			T-mdi	Monzodiorita		T-a/db	Andesita Diabasa										
	T-di	Diorita	T-r	Riolita													
	Dep. glaciares	Gr-g															
	Dep. aluviales	Gr-al															
	TERCIARIO	PLIOCENO	Fm. Astobamba	Ts-as													
			Fm. Huichinga	Ts-h													
		MIOCENO	Fm. Auquivilca	Ts-a													
			Fm. Caudalosa	Ts-ca													
Fm. Castrovirreyña			Ts-c														
OLIGOCENO		Gpo. Sacsaquero	Tim-s														
EOCENO		Fm. Tantará	Ti-t														
	Fm. Casapalca	KsTi-c															
MESOZOICO	CRETÁCEO	SUPERIOR	Fm. Jumasha	Ks-j													
			Fms. Chulec-Paríatambo	Ki-chp													
	INFERIOR	Gpo. Goyllanequírga	Ki-g														
		MEDIQ	Fm. Chunumayo	Jm-ch													
	Fm. Cercapuquio		Jim-c														
	INFERIOR		Gpo. Pucará	Fm. Condorsinga	Jl-c												
		Fm. Armachay		Jl-a													
		Fm. Chambará		Jrs-ch													
	TRIAS	SUPERIOR															

Occidental y algunas depresiones que están situadas sobre los 4000 m de altitud, con climas de intenso frío con temperaturas que varían entre 0 °C a 6 °C, la precipitación anual es de 500 a 1000 mm, la época de mayor intensidad y frecuencia de las precipitaciones está comprendida entre los meses de Diciembre a Marzo y, por encima de los 4500m de altura la precipitación es generalmente de nieve y granizo, sea en estación seca ó lluvias.

Mas abajo se tienen los valles andinos a las superficies puna, es decir zonas de mediana altura que tiene su inicio en los 3200 m con rangos variables hasta los 4000m de altitud aproximadamente, abarcando las pendientes medianas que se encuentran en torno a las cuencas abiertas y estrechas que son formadas por los ríos Mantaro, Ichu y Lircay. El promedio anual de las temperaturas varían de 6 °C a 12 °C con precipitaciones de 500 a 1800 mm al año.

- Vegetación

La vegetación del área en su mayoría está constituida por pastos típicos de la zona como los Ichus (*stipa obtusa*), musgos y líquenes. Por debajo de los 3,900 m.s.n.m. en los valles, se aprecian los árboles de eucaliptus, quinuales y otras variedades.

1.2.3 Geomorfología

La geomorfología del área es el resultado de los efectos degradatorios y agentes de la meteorización asociados con el levantamiento general de los Andes, y a nivel regional se han diferenciado cuatro unidades.

- Valles y quebradas

Corresponde a los valles interandinos constituidos por los ríos Mantaro, Ichu, Lircay y sus tributarios que se encuentran distribuidos entre la faja y las estribaciones de la cordillera occidental se formaron como consecuencia de la acción erosiva de los cursos de agua que nacen en las partes altas de la

región con fondos de valle con desniveles de hasta 1,000m aproximadamente, en ciertas partes del recorrido mostrando flancos con pendientes fuertes que están cubiertos por material coluvial de poco transporte, y otros como producto de deslizamientos. Las quebradas generalmente se encuentran como afluentes de los ríos principales que a veces presentan pequeñas zonas de cultivo.

- Laderas

Son los relieves de altitudes de 2300 a 4000 m.s.n.m que presentan pendientes moderadas y pronunciadas que ascienden gradualmente hacia las superficies altas. Las laderas en los valles formados por los ríos Ichu y Lircay tienen cambios bruscos de las pendientes originando laderas empinadas, en partes presentando saltos pronunciados.

- Altas mesetas

Por encima de los 4000 m.s.n.m, está constituida por zonas de topografía suave y ondulada tienen apariencias redondeadas y alargadas y han sido modeladas generalmente sobre las secuencias sedimentarias, estando en algunas partes atravesadas por los ríos.

- Las áreas glaciadas

Son áreas reducidas que corresponden a partes altas de la Cordillera Occidental, al sur de la zona de monitoreo y presentan rasgos topográficos

impresos por la glaciación cuaternaria originando una morfología de picos y cumbres bastante agrestes, así como la presencia de circos y valles glaciales con perfiles en forma de “U”, además de lagunas glaciales y restos de depósitos morrénicos que se encuentran dispersos en las partes altas.

1.2.4. Estratigrafía

En el cuadrángulo de Huancavelica se han estudiado los diversos afloramientos de las unidades litoestratigráficas cuyas edades van del Paleozoico al Cuaternario, las cuales se muestran en la columna estratigráfica, donde se gráfica la disposición de las diversas unidades y sus relaciones. La columna regional está compuesta por rocas metamórficas, sedimentarias, volcánicas, volcano - sedimentarias e intrusivas.

- Rocas del paleozoico

Existen rocas del Paleozoico inferior al nor - este del área de estudio y junto al río mantaro y al sur este como Grupo Excelsior. Se tiene todo el grupo del Carbonífero y Permiano del Paleozoico Superior alrededor del paleozoico inferior antes indicado.

Paleozoico inferior – Grupo Excelsior

Corresponde a series gruesas de sedimentos marinos tipo flysch o turbiditas del Devoniano. En el sur - este aflora entre la Hacienda Pachaclla constituyendo el núcleo de un anticlinal, cuya prolongación llega hasta la zona de Tucspampa y Coriscancha, con un alineamiento aproximado de N a

S. En el sector nor - este está expuesto a lo largo del Río Mantaro, continuando hacia arriba en Pampas hasta el Perú central. Es allí, donde hacia la parte central de un anticlinal se puede observar la transición de las lutitas y areniscas a diferentes facies metamórficas debido a un régimen de metamorfismo dinámico regional, produciendo las facies de pizarras, filitas, esquistos cloríticos y micaceos, hasta anfibolitas y gneises. La litología en ambos casos está constituida por una centena de alternancias rítmicas de lutitas pizarrosas con areniscas y limolitas cuarcíferas

Paleozoico superior - Carbonífero

El Paleozoico superior se encuentra en el sur del cuadrángulo, representado por limolitas carbonosas y areniscas calcáreas con calizas lenticulares afectadas por la Tectónica Tardihercínica de los Grupos Ambo al sur de minas Julcani constituido por series conglomerádicas en la parte inferior, alcanzando espesores de más de 200m en el cuadrángulo adyacente de Huachocolpa, seguidos por areniscas, limolitas pardas verdosas, y limoarcillitas algo carbonosas en alternancia rítmica; Grupo Tarma y Copacabana de calizas en capas medias y delgadas.

Permiano inferior

Se observan dos secuencias sedimentaria de nor - este al sur - este del área de estudio alrededor del paleozoico (pasando por el pueblo de Huanca Huanca) y al sur - este sobre el devoniano sedimentario en su mayoría. La litología está constituida del techo a la base, por estratos delgados de lutitas

gris violáceas, areniscas grisáceas, Subyace discordantemente al Grupo Mitu y a los volcánicos del Neógeno.

Permiano superior – Grupo Mitu

Es ampliamente conocido en la Cordillera Oriental está constituido principalmente por gruesas secuencias de Capas Rojas (conglomerados, areniscas y lutitas) y manifestaciones de un volcánismo alcalino, interpretado como resultado de una probable zona de fracturamiento continental. Moderadamente plegada en la parte oriental y central, cuenta en la parte superior con secuencias de derrames y brechas volcánicas, así como tobas soldadas que aumentan en espesor hacia el lado oriental. Las rocas quedan bien expuestas a lo largo del río Opamayo (o Huachocolpa), y en los valles de Lircay y Acobamba. Sobreyacen en discordancia erosiva a las rocas metamorizadas y plegadas del Grupo Excelsior y del Paleozoico superior (Ambo, Tarma, Copacabana), y están cubiertas por las calizas del Grupo Pucará.

- Rocas del mesozoico

Triasico superior – Jurasico inferior

Como consecuencia de una transgresión que aparentemente ha permanecido en forma ininterrumpida desde el Noriano - Retiano al Bajociano, se encuentran en el área de estudio potentes secuencias caracterizadas por una sedimentación netamente marina, que está

conformada por el Grupo Pucará y la Formación Churumayo. Grupo Pucará está constituido por las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga. Formación Chambará está compuesta por calizas y areniscas en parte bituminosas, que muchas veces contienen abundante chert. Constituye la base del Grupo y sobreyace a rocas del Grupo Mitu en discordancia local. Aflora bien expuesto a lo largo del valle de Lircay al sur este. Formación Aramachay está constituida por lutitas, margas, areniscas calcáreas y calizas bituminosas de coloración gris oscura. El espesor máximo en el flanco oriental del valle de Lircay (al sur - este) es de 150m aproximadamente; se encuentra también intercalaciones de lutitas verduzcas, interpretados como depósitos diagenetizadas de cenizas volcánicas y también estratos de derrames lávicos, todos en conjunto indicando actividad volcánica coetánea. Formación Condorsinga está constituida de calizas grises oscuras en bancos medianos y calizas claras con nódulos de chert, alcanzando un espesor aproximado de 400 m. En conjunto el Grupo Pucará en esta área tiene un grosor de 1200 m.

En el grupo existen Intercalaciones volcánicas en ambos lados del valle de Lircay afloran estratos de rocas volcánicas bien características por su coloración roja, como intercalaciones dentro de la Formación Aramachay. El espesor máximo de mas de 120 m se observa en el flanco oriental al frente del pueblo de Anchonga. Están constituidos por derrames lávicos oscuros afaníticas vesiculares hasta porfiríticas. Están acompañados por la ocurrencia de intercalaciones de cenizas volcánicas en las calizas sub - y

sobreyacentes. Las lavas son andesitas basálticas y andesitas de texturas ofíticas hasta porfiríticas.

Formación Chunumayo

Sobre la secuencia del Grupo Pucará se encuentran las calizas de la Formación Chunumayo, la formación aflora en ambos márgenes del río Huachocolpa constituyendo el núcleo de un anticlinal, presentando una morfología escarpada. Está constituida por la intercalación de calizas micríticas con calizas de grano medio a fino, ambas de coloración grisáceo y con un espesor de mas o menos 150 m., continuando la secuencia calcárea con una coloración gris a marrón claro, intercalándose algunos delgados horizontes arcillosos. En la parte media presenta nódulos de chert y bancos medianos de calizas areniscosas y un mayor contenido arcilloso, tienen un grosor aproximado de 80 m.

Cretáceo inferior y superior

Consta esencialmente de secuencias terrígenas (Grupo Goyallarisquizga), mientras que las secuencias del Albiano son mayormente calcáreas (Formación Chúlec). Bien marcado es el volcanismo cretáceo (Chayllacatana) al final del Grupo Goyallarisquizga e inicio de la Formación Chulec, observado en la franja central del plano que involucra el área de estudio. Durante el Jurásico superior el área de estudio permanecía emergida hasta principios del Valanginiano, tiempo durante el cual probablemente empezó la sedimentación detrítica del Grupo Goyllarisquizga y de los volcánicos piroclásticos de la Formación Chayllacatana, los que

posteriormente fueron cubiertos por mares Albianos con una sedimentación carbonatada en el Chulec.

Cretáceo superior – paleogeno

Se considera en este rango de edad a la secuencia de Capas Rojas que afloran en el flanco Oriental de la Cordillera Occidental y con una orientación andina NO - SE, las mismas que también se les denomina como Formación Casapalca y están asociados a ambientes fluviales - lagunares corroborados por las estructuras sedimentarias. Presentan algunas variaciones en litología y espesor, debido a las características paleogeográficas habidas a fines del Mesozoico, y a las características litológicas del substrato rocoso que sirvió como fuente de alimentación. la base es predominantemente conglomerádica, siendo los clastos subredondeados de tamaños decimétricos, los clastos están dentro de una matriz arenosa - arcillosa, siendo ellos compuestos de fragmentos de areniscas cuarcíferas y calizas.

- Rocas del cenozoico

Paleógeno – neógeno

En el área de estudio, el Cenozoico está constituido por varios eventos como expresión de un vulcanismo relacionado a la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo el continente sudamericano. En el transcurso del tiempo se puede diferenciar varios pulsos discretos de la actividad volcánica, llevando a la deposición de grandes volúmenes de brechas, derrames de lavas y piroclásticos, sobre las cuales se depositaron unos amplios horizontes de ignimbritas. Después de un hiato caracterizado por secuencias

sedimentarias menores, de origen continental y fases de plegamiento durante el Mioceno inferior, se observa nuevamente varios ciclos de actividad volcánica durante el Mioceno superior que culminan en el Mio - Plioceno con la erupción de grandes volúmenes de ignimbritas, las que no han experimentado movimientos tectónicos de mayor importancia. En términos generales se puede observar cierta migración de los focos eruptivos con el tiempo desde el SO hacia el NE.

Formación Tantará

Representa una unidad volcánica sobreyaciendo a las Capas Rojas de la Formación Casapalca, aflorando en el centro del cuadrángulo. Está constituida por decenas de derrames lavicos, con intercalaciones subordinadas de estratos piroclásticos, el espesor total alcanza más de 400 m. Son de composición basáltica, con fenocristales de olivino, clinopiroxeno y plagioclasa dentro de una matriz de grano fino.

Neogeno mioceno - Formación Rumichaca

Representa una unidad volcánica - sedimentaria en el oeste del mapa. Ha sido descrita en la localidad de Rumichaca, de la cual se deriva su nombre. Aflora en la zona de estudio con una orientación de norte a sur al oeste de Lircay. Consta de tres unidades litológicas bien marcadas: En la base el miembro inferior está compuesto esencialmente por sedimentos lacustres, tobas y flujos piroclásticos en parte redepositados de hasta 30 a 50 cm de grosor e interestratificados con capas delgadas de travertino de 10 a 15 cm

de grosor. El miembro intermedio está caracterizado por presentar escarpas y ha sido formado predominantemente por precipitación de travertinos. Mayormente se encuentran bancos netamente de precipitaciones calcáreas de travertinos en grosores de 10 a 20 m, El miembro superior es íntegramente conglomerádico, constituido por clastos subredondeados a subangulosos polimícticos, dentro de una matriz arcillosa algo rojiza.

Grupo Huachocolpa

El Grupo Huachocolpa, comprende a las formaciones volcánicas de posición horizontal a subhorizontal, que afloran como franja volcánica cruzando el cuadrángulo con rumbo NO - SE. Característica para las formaciones del Grupo Huachocolpa es su emplazamiento posterior a los mayores movimientos tectónicos de la fase Quechua I, los que afectaron todavía a la secuencia volcano - sedimentaria de la Formación Rumichaca del Mioceno inferior. Las primeras unidades volcánicas de este Grupo en posición subhorizontal están representadas por ignimbritas en el norte de la laguna (Choclococha) al centro y Sur del cuadrángulo, datadas en 12 - 14 m.a. e interpretadas como miembro inferior de la Formación Caudalosa.

Formación Caudalosa

La Formación Caudalosa se encuentra al sur y suroeste de Huancavelica, estando constituida esencialmente por lavas andesíticas y flujos de brechas que meteorizan a un color rojizo, así como por lavas brechoides, que en gran parte se encuentran cubiertas por depósitos morrénicos. Muestras representativas y frescas han sido obtenidas sobretudo en los volcánicos

alrededores. Presentan composiciones predominantemente andesíticas basálticas hasta andesíticas.

Formación Julcani

Esta formación se ha descrito en los alrededores del asiento minero Julcani de la cual deriva su nombre; se encuentra formando una agrupación de centros volcánicos dacíticas hasta riodacíticas, orientados en una franja de ONO - ESE, cubriendo así una superficie de mas de 40 km². El emplazamiento está relacionado a las estructuras tectónicas regionales, sobretodo al lineamiento Lircay de rumbo ONO - ESE y las diversas fallas con rumbo N - S, como p. ej. el lineamiento Tucsipampa. Los volcánicos de la fase principal de la Formación Julcani están datadas en 10.4 m.a. y de corta duración.

Formación Huanta

Afloran lutitas, areniscas y conglomerados en un área limitada en el sector nor - oriental del cuadrángulo, con afloramientos de hasta 30 m de espesor en el valle al SE de Paucarbamba. Constituyen las series de Capas Rojas, cuyos afloramientos se puede trazar al cuadrángulo adyacente de Huanta (Mégard y Paredes 1972, López et al. 1986). Representan la extensión mas septentrional del miembro intermedio de la Formación Huanta.

Formación Acobamba

Esta formación aflora como un relleno sedimentario de Capas Rojas en los alrededores del pueblo de Acobamba en el SE del cuadrángulo. Se

encuentra en ambos lados del valle del Río Urubamba, profundamente disectado. Está constituida esencialmente por areniscas, lutitas y conglomerados de color rojo ladrillo y a veces naranja, que adoptan buzamientos leves de menos de 30°, además se incluye dentro de esta formación en la parte superior unos horizontes de cenizas volcánicas blancas . Su espesor se estima en 200 m o más.

Formación Santa Bárbara

Con este nombre se describe a un gran complejo de centros volcánicos al sur de la ciudad de Huancavelica. Se ha podido diferenciar principalmente un ciclo inicial eruptivo depositando una secuencia tobácea piroclástica brechoide, seguida por un ciclo efusivo con la producción de grandes volúmenes de derrames de brechas y lavas, distinguiendo así dos miembros: El miembro inferior aflora ampliamente en el Sureste de Huancavelica, la litología se puede observar claramente en los cortes de la carretera de Huancavelica a Julcani. El miembro superior se aprecia mejor en el SO de la mina Santa Bárbara, está constituido en su base por lavas columnares andesíticas basálticas en alternancia con estratos piroclásticos (cenizas, escorias).

Neogeno superior

Contituido por la Formación Omacunga donde afloran gruesos flujos piroclásticos de más de 300 m de espesor. En la secuencia se puede distinguir un miembro superior constituido por sedimentos tobáceos

retrabajados, y limoarcillitas blancas, los que representan una facies lacustrina posterior al emplazamiento de las ignimbritas. La Formación Huando aflora en la parte nor - occidental del cuadrángulo como secuencias de flujos piroclásticos (ignimbritas) sobreyacido en los probables áreas de erupción por flujo de lavas finales. Están constituidos por múltiples flujos piroclásticos dácíticos hasta ríodácíticos de espesores entre 10 hasta 50 m, y derrames andesíticos hasta dacíticos en los probables centros eruptivos. Cubriendo en discordancia y en posición subhorizontal a los volcánicos de la Formación Tantará.

La Formación Rumihuasi

Es una formación de origen de un volcanismo explosivo y violento. En el área de estudio se encuentran los piroclásticos ampliamente distribuidos en el sector SE, constituidos por tobas lapillíticas rosado blanquecinas (ignimbritas) y tobas piroclásticas gris blanquecinas representando flujos piroclásticos de dimensiones más pequeñas.

- Rocas del cuaternario

Se distinguen 2 tipos de depósitos cuaternarios, los glaciofluviales y aluviales y la precipitación y acumulación de travertinos. Aunque en el área de estudio se presentan acumulaciones poco significativas.

Depósitos glaciofluviales

Son depósitos constituidos por materiales acarreados por los hielos en movimientos en parte fluviales los que han sido acumulados como morrenas laterales o frontales. Se ubican en los fondos de las quebradas y flancos de los valles. Presenta una litología de constitución polimíctica y mal seleccionados con clastos y guijarros angulosos, subredondeados en una matriz arcillosa.

Depósitos aluviales

Están constituido por los materiales arrastrados por los ríos y depositados a lo largo de su trayecto formando los lechos, terrazas y llanuras de inundación. En el área de estudio se encuentran cubriendo gran parte de los afloramientos rocosos con espesores variables, concentrándose mayormente en los flancos y valles glaciares lo que algunas veces alcanzan varios metros de espesor. Por erosión forman pequeñas terrazas, se caracterizan por la uniformidad litológica siendo en la mayoría de las veces limos y arcillas.

Travertino y aguas termales

Es notoria la influencia del basamento mesozoico calcáreo (Grupo Pucará, Formación Chúlec) en la composición de las rocas con alteraciones predominantemente carbonáticas y en menor grado silicificaciones. Las evidencias actuales de estos procesos son las aguas geotermales calientes enriquecidas en H_2CO_3 y la precipitación de travertino ($CaCO_3$), de manantiales fríos aflorando a lo largo de algunas fallas principales. Ejemplos

espectaculares de grandes terrazas de travertinos de hasta 300 m de diámetro se encuentra en los alrededores de la ciudad de Huancavelica , así como cerca de Huapa (central eléctrica de Julcani). Los manantiales son aprovechados como baños termales y la piscina municipal de Huancavelica.

2.2.5 Geología estructural

Las estructuras geológicas existentes en el área de estudio están estrechamente relacionadas a los dos ciclos evolutivos de las Tectónicas Hercínica y Andina.

La fase Eohercínica ha jugado un papel importante en la sedimentación posterior, pues tal hecho se aprecia en la limitada exposición de rocas permotriásicas las que se circunscriben en el centro de la hoja. Verosimilmente la facie tardihercínica en esta zona ha sido muy importante, ya que como se aprecia en toda la hoja de estudio la sedimentación del Cretáceo ha sido muy restringida al sector occidental con una continuación extensa hacia el centro y norte del Perú.

Posteriormente a la fase Peruana ocurrió la sedimentación de las Capas Rojas y el volcanismo de la Formación Tantará, las que fueron plegadas y falladas durante la fase Incaica ocurrida al fin del Paleógeno. Las fases tectónicas que se ubica entre el Mioceno inferior y el Plioceno se manifiestan con suaves plegamientos amplios de bajo ángulo, fracturamientos y/o posibles reactivaciones de fallas antiguas.

Los rasgos estructurales están dominados por fallas y lineamientos con rumbo andino (NO - SE) y antiandino (NE - SO). Además se puede diferenciar lineamientos con rumbo N - S, sobretodo en las rocas del basamento mesozoico. Bien marcada es la zona de deflexión en la parte NE del cuadrángulo.

Los eventos tectónicos han jugado un rol importante en el modelado del relieve conjuntamente con los agentes geodinámicos externos, como se puede apreciar en la red de drenaje orientado a lo largo de los lineamientos principales, resaltando la textura tectónica de la región.

Sin relación con alguna fase tectónica regional hasta ahora definida, pero en estrecha relación a lineamientos de rumbo andino, se emplaza el magma andesítico - dacítico en el Sur de Huancavelica (lava Yanamina), generando diques y derrames de lavas datadas en 3.3. m.a.

1.3 GEOLOGÍA LOCAL

El área de estudio se encuentra emplazada entre dos sistemas de fallas, al este se tiene dos fallas de NS que separan estructuras del terciario y cretácico y al occidente una gran discordancia que separa el terciario mioceno con el cuaternario fluvio-glacial al sur y aluvial y glacial hacia el NO principalmente. La cantera de caolín cubre un área de 1.5 Has

aproximadamente y está compuesta de caolín con óxidos de hierro y diseminación de granos muy finos y escasos de pirita.



Foto N° 01: Tajo de exploración preliminar de la Cantera Nueva Esperanza mostrando afloramiento de roca volcánica fuertemente caolinizada.

La cantera de caolín se emplaza al extremo superior sobre la formación caudalosa de volcánicos andesíticos de textura porfirítica donde predominan brechas y piroclastos en estratos lenticulares con zonas oxidadas color marrón.

En el área se tiene como marco geológico rocas del cretáceo inferior del Grupo Goyllarisquizga compuesto de areniscas y lutitas seguido de andesitas verdosas con tonalitas, dioritas y calizas grises de la Fm. Chulec que afloran al norte y cubriendo el este por completo.

Al oeste tenemos rocas basaltos y andesitas del grupo Tantar sobre el que sobreyace la zona de estudio.



Foto N 02: Zona de mineralización en plena cantera mostrando caolinización y óxidos de hierro

El marco estructural lo constituyen fallas regionales con dirección NO - SE concordantes a la cordillera (Rumbo andino) que han separado las diferentes estructuras en paralelos, también se observan muchas plegamientos fallamientos inversos y normales al norte y este que han afectado a las rocas del terciario. Localmente se puede diferenciar las siguientes unidades litológicas.

Grupo Goyllarisquizga

El miembro inferior está constituido por areniscas marrones con intercalaciones de estratos de limoarcillitas. La presencia de estratos carboníferos, hallazgos de troncos fosilizados y detritus poco trabajados sugieren un ambiente continental. En el miembro medio destacan las areniscas blanquesinas cuarzosas en estratos delgados que hacia el techo se presentan en estratos gruesos. El miembro superior está constituido por una serie de lutitas alternando con areniscas de colores amarillentos hasta rojos - violáceos, como se puede apreciar en el perfil a lo largo del río Ichu entre Huancavelica y Yauli. La secuencia areniscosa tienen un espesor variable llegando hasta 200m aproximadamente. Estructuralmente forma parte de una serie de plegamientos con ejes N - S.

Las areniscas blancas del Grupo Goyllar (inferior) son la roca caja principal de la mineralización mercurífera de la región Huancavelica, precipitándolo en los espacios intergranulares de los granos de cuarzos.

Formación Chayllacatana

En esta unidad se puede diferenciar derrames de lavas ofíticas hasta porfiríticas con estructuras amigdaloides (vesiculares) de colores violáceos. Se les encuentra ampliamente distribuidos y plegados en el lado occidental del cuadrángulo con su mejor desarrollo en la zona minera Santa Bárbara al sur de Huancavelica y en la hacienda Acobambilla, al norte de Huancavelica. Consiste de una secuencia volcánica sedimentaria de derrames basálticos de olivino de coloración predominante gris verdoso a verde olivo y gris

violáceo interestratificadas con areniscas amarillentas - rojizas. Estratigráficamente se encuentra concordante en la parte superior del Grupo Goyllarisquizga constituyendo el tope de las secuencias de areniscas rojizas, sin embargo todavía se le encuentra en alternancia con capas delgadas de estas areniscas, y subyace concordantemente a la Formación Chúlec. Se estima un espesor máximo superior de 200m. En el valle del río Ichu se observa derrames de lavas semejantes de la Formación Challacatana intercaladas todavía en las calizas Chúlec.

Formación Chúlec

A esta formación se le encuentra formando gran parte de la franja Cretácea en la parte occidental del cuadrángulo, sobreyaciendo en concordancia a las areniscas del Grupo Goyllarisquizga y los volcánicos Challacatana. Litológicamente está constituida por lutitas calcáreas, en la base, pasando hacia arriba a margas interestratificadas con horizontes de calizas delgadas con una coloración amarillenta y con espesores inferiores a 50 cm.

En la parte media de la secuencia se encuentra calizas micríticas de color gris claro con alto contenido de nodulos de chert las que continúan hacia al techo en bancos gruesos de color gris azulados con algunos horizontes de margas calcáreas, conteniendo fragmentos de conchillas en posición caótica. En los estratos macizos se encuentran venillas de calcita y fosiles. La Formación Chúlec por su litología y la fauna sugiere que ella se depositó en medio de un ambiente de aguas saladas poco profundas. Los estratos

margosos de la unidad inferior son importantes horizontes mineralizados por mercurio. Estos estratos, que han favorecido la precipitación del cinabrio, contuvieron los depósitos de Botija Punco y otras minas.

- Cretaceo paleoceno

Formación Casapalca

Se trata de molasas continentales conformadas por una secuencia de lutitas rojas con intercalaciones de conglomerados y areniscas rojas y subordinadamente de arcillas, yeso, carbonatos, del límite Cretaceo - Paleógeno en consecuencia son productos de la erosión posterior a la fase tectónica Peruana. Están asociados a ambientes fluviales - lagunares corroborados por las estructuras sedimentarias. Presentan algunas variaciones en litología y espesor, debido a las características paleogeográficas habidas a fines del Mesozoico, y a las características litológicas del substrato rocoso que sirvió como fuente de alimentación. También se presentan niveles delgados de calizas intercalados entre los niveles de lodolitas, presentando en conjunto un característico color rojizo. Se ubica aparentemente en concordancia por debajo de la Formación Tantará.

Los derrames lávicos de la Formación Tantará sobreyacente aparecen en aparente concordancia, y experimentaron los mismos movimientos tectónicos como las Capas Rojas. Las observaciones en los diferentes afloramientos permiten sugerir para la Formación Casapalca un espesor de hasta 200 m aproximadamente.

- PALEÓGENO - NEÓGENO

En el área de estudio, el Cenozoico está constituido por varios eventos como expresión de un vulcanismo relacionado a la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo el continente sudamericano.

En el transcurso del tiempo se puede diferenciar varios pulsos discretos de la actividad volcánica, llevando a la deposición de grandes volúmenes de brechas, derrames de lavas y piroclásticos, sobre las cuales se depositaron unos amplios horizontes de ignimbritas.

Después de un hiato caracterizado por secuencias sedimentarias menores, de origen continental y fases de plegamiento durante el Mioceno inferior, se observa nuevamente varios ciclos de actividad volcánica durante el Mioceno superior que culminan en el Mio - Plioceno con la erupción de grandes volúmenes de ignimbritas, las que no han experimentado movimientos tectónicos de mayor importancia. En general se puede observar cierta migración de los focos eruptivos con el tiempo desde el SO hacia el NE.

Formación Tantará

Representa una unidad volcánica sobreyaciendo a las Capas Rojas de la Formación Casapalca, aflorando en el sector Noroeste del área de estudio. Está constituida por decenas de derrames lávicos, con intercalaciones subordinadas de estratos piroclásticos, el espesor total alcanza mas de 400m. Las lavas gris - oscuras de texturas porfiríticas con zonas de

vesicularidad notoria, llenadas por amígdalas de calcita, sobreyacen concordantemente las Capas Rojas. Son de composición basáltica, con fenocristales de olivino, clinopiroxeno y plagioclasa dentro de una matriz de grano fino.

En su composición petrográfica y geoquímica son muy parecidas a los basaltos del Grupo Mitu, Grupo Pucará y del Grupo Goyllarisquizga, indicando la predominancia de un magmatismo basáltico por mucho tiempo en esta zona.

Grupo Huachocolpa

El Grupo Huachocolpa, comprende a las formaciones volcánicas de posición horizontal a subhorizontal, que afloran como franja volcánica cruzando el área con rumbo NO - SE. Característica para las formaciones del Grupo Huachocolpa es su emplazamiento posterior a los mayores movimientos tectónicos de la fase Quechua I, los que afectaron todavía a la secuencia volcánico - sedimentaria de la Formación Rumichaca del Mioceno inferior.

La distribución de los centros volcánicos parece estar controlada por la estructura tectónica regional, como muestra la predominancia de los alineamientos de los focos (o cuellos) volcánicos con rumbo NO - SE (andino).

En términos generales, las formaciones del Grupo Huachocolpa empiezan consecuencias volcánico - sedimentarias (flujos piroclásticos, ignimbritas) con escasos niveles lávicos, manifestando intensas fases explosivas tempranas. Siguen sucesiones predominantemente efusivas de derrames de lavas y brechas andesíticas en capas prominentes, constituyendo una multitud de grandes estratovolcanes de marcado espesor con morfología abrupta, cuyo lugar más conspicuo está por la zona minera Sta. Bárbara en el Sur de Huancavelica (Formación Sta. Bárbara). Existen secuencias más explosivas de brechas y flujos piroclásticos, sobretodo en las formaciones más jóvenes, uno de cuyos ejemplos resaltantes es el centro volcánico Huando en el NE del cuadrángulo.

Formación Caudalosa

Con este nombre se describe a un conjunto de rocas volcánicas lávicas que tiene algunas intercalaciones de piroclásticos, que se exponen ampliamente en los alrededores de la mina Caudalosa. Esta formación constituye la base de una franja de estructuras volcánicas con una multitud de centros de erupciones alineados a grosso modo con dirección NO - SE (rumbo andino) paralelo a la fosa peruana - chilena. La Formación Caudalosa se encuentra al sur y suroeste de Huancavelica, estando constituida esencialmente por lavas andesíticas y flujos de brechas que meteorizan a un color rojizo, así como por lavas brechoides, que en gran parte se encuentran cubiertas por depósitos morrénicos. Muestras representativas y frescas han sido obtenidas sobretodo en los volcánicos de los alrededores. Presentan composiciones

predominantemente andesíticas basálticas hasta andesíticas. Estas características son similares a los volcánicos que se encuentran al Este de la mina Marta (Conayca), predominando allí lavas brechoides, piroclásticos tobáceos en estratos lenticulares de capas delgadas, las que intercalan con bancos gruesos formando escarpas de considerable altura y de posición subhorizontal. La coloración es gris blanquecina a verdoso. En el sector de Huancavelica sobreyace discordantemente a la Formación Casapalca y formaciones más antiguas, y está cubierto por los depósitos glaciofluviales morrénicas.

Formación Rumihuasi

Es una formación de origen de un volcanismo explosivo y violento. En el área de estudio se encuentran los piroclásticos ampliamente distribuidos en el sector SE, constituídos por tobas lapillíticas rosado blanquecinas (ignimbritas) y tobas piroclásticas gris blanquecinas representando flujos piroclásticos de dimensiones más pequeñas, que sobreyacen en discordancia a las Capas Rojas de la Formación Acobamba. Su lugar típico y de mayor exposición se ubica en la Hacienda Rumihuasi al Norte del pueblo de Acobamba, de donde proviene su nombre.

Rocas Ígneas

En el área de estudio existen cuerpos intrusivos tanto plutónicos como subvolcánicos que corresponden a las fases magmáticas del Permo - Triásico y del Cretácico - Terciario. El principal y más grande cuerpo

plutónico se encuentra en Pampas, y varios intrusivos en forma de stocks de tamaños de pocos km² en el NO y NE, alineados a lo largo de grandes fallas regionales. El emplazamiento de estos intrusivos frecuentemente ha dado lugar a un metamorfismo en las rocas sedimentarias y volcánicas. Además aflora un pequeño stock subvolcánico de forma algo circular cortando las vulcanitas del Grupo Mitu. Tiene una composición tonalítica con plagioclasa, clinopiroxeno, ± biotita y apatita, de textura holocristalina - hipidiomorfa.

Se asigna a estos intrusivos una edad Cenozoico por las relaciones con el Grupo Mitu y Casapalca, el débil grado de alteración supérgena y su composición calco - alcalina, rico en potasio, lo último característico para las rocas magmáticas relativamente jóvenes melanocratos con abundancia de xenolitos comagmáticos, muy parecidos entre ellos, siendo la tonaita de Sachamarca de composición algo más básica. Se presentan intruyendo a la calizas de la Formación Chúlec y otras formaciones más antiguas y está cubierto en parte por los volcánicos de las lavas y secuencias piroclásticas de las formaciones Tantará y Huando.

1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS YACIMIENTOS DE LA ZONA

La región del cuadrángulo de Huancavelica, se enmarca en la provincia metalogénica polimetálica del Perú, con los yacimientos de los minerales de Zn, Pb, Ag, Cu, Au y Hg relacionados genéticamente a los diferentes eventos geológicos ocurridos durante su formación y evolución territorial.

Las intrusiones coetáneas de subvolcánicos de naturaleza dacítica, acompañadas por sistemas hidrotermales, probablemente fueron los causantes de la mineralización. Por lo consiguiente en ésta región, se encuentran las distintas áreas mineralizadas mayormente polimetálicas de minerales de Ag, Pb, Zn, Cu, Au, Hg y otros. Resaltan las áreas mineras de Huancavelica (Sta. Bárbara) y Julcani.

Asímismo se puede considerar la existencia de minerales no metálicos dentro de la gran variedad de recursos naturales, que están representados por sal, yeso, caliza, travertino, y baritina y caolín. Mediante un análisis de aproximadamente 190 ocurrencias de mineralización, entre minas y prospectos que existen en el cuadrángulo, se han determinado áreas con asociaciones mineralógicas.

Las manifestaciones mineralógicas más antiguas están emplazadas generalmente en rocas calcáreas del Tríasico - Jurásico del Grupo Pucará (metalotecto conocido), el cual alberga yacimientos de Zn y Pb del tipo Mississippi Valley. Estos se presentan en forma de mineralizaciones estratoligadas y mantos emplazados en horizontes calcáreos y dolomíticos, en otros tipos de depósitos la mineralización se encuentra como cuerpos de reemplazamiento que están asociados a los filones y mantos. En la secuencia de rocas sedimentarias cretácicas y los volcánicos del Paleógeno se encuentran manifestaciones mineralógicas de mercurio, principalmente en las cercanías de la localidad de Huancavelica, siendo el yacimiento más

conocido en la historia la mina Santa Bárbara. Allí las ocurrencias mineralógicas tienen una paragénesis generalizada de cinabrio, pirita, arsenopirita, rejalgar, galena y esfalerita. En las rocas volcánicas del Neógeno en general, se conocen varios yacimientos polimetálicos y prospectos con predominancia de Pb, Zn, Ag en algunos casos con o sin presencia de Cu, Au, W, Bi; asociados al emplazamiento de subvolcánicos y domos andesíticos hasta dacíticos.

Ocurrencia de no metálicos

En el área del cuadrángulo, las ocurrencias no metálicas están representadas por sedimentarios debido a la formación de cuencas por invasión del mar en algunas edades, formándose yacimientos de yeso, caliza, travertinos, sal gema, baritina los cuales están distribuidos indistintamente en forma reducida.

1.5 ALTERACIONES

Las rocas volcánicas constituyen una parte importante del cuadrángulo, en espacio y también en tiempo durante la evolución geológica de la región. Los eventos tectónicos dan lugar a los procesos geoquímicos de alteraciones ya sea por efecto del mismo magma y las soluciones hidrotermales o por agentes de meteorización.

1.5.1 Formación del caolín

Las primeras manifestaciones de evolución geológica son los volcánicos permotriásicos (Grupo Mitu), seguido por un volcanismo intermitente durante el Jurásico (Grupo Pucará inferior), el Cretaceo (al fin del Grupo

Goyllarizquisga, inicio de la Formación Chúlec), en el Paleógeno y finalmente en el Mioceno - Plioceno. Se nota claramente la separación en los dos grupos magmáticos, que es sorprendente en el caso de los basaltos, considerando la erupción del mismo tipo de magma aparentemente por un lapso de mas de 200 millones de años y el cambio brusco a partir del Mioceno.

Los volcánicos del Permotriásico hasta el Oligoceno/Mioceno inferior son basaltos hasta andesitas basálticas de olivino de carácter alcalino con altos contenidos de TiO_2 , K_2O y Zr, caracterizándolos como productos de un magmatismo “intra - placa”, probablemente asociado a un ambiente tectónico de distensión y atenuación de la corteza .

Durante el Mioceno y Plioceno se tiene un magmatismo muy distinto, típico de carácter calco - alcalino asociado a un régimen de compresión tectónica. Presenta una cierta tendencia de diferenciación magmática con un enriquecimiento subsecuente en potasio desde las andesitas calco - alcalinas de la Formación Caudalosa hasta las lavas y tobas de composiciones andesíticas basálticas hasta riodacíticas ricas en potasio de las formaciones Sta. Bárbara, Julcani, Huando, Omacunga, y Rumihuasi, que representan los focos magmáticos principales en la región a lo largo de una franja volcánica mio - pliocénica. Los controles estructurales, en ésta región son los fallamientos longitudinales con rumbos preferenciales de tendencias andinas NO - SE, que han afectado a las diversas unidades

litoestratigráficas que por lo consiguiente han controlado las zonas de fracturamiento, alteración y la posterior mineralización en toda esta región.

Las alteraciones hidrotermales de la intrusiones volcanicas en el Terciario - Mioceno - Plioceno, causaron la alteración de las formaciones en la zona de Nueva esperanza, formando una loma de alteración caolinítica que quedó expuesta.

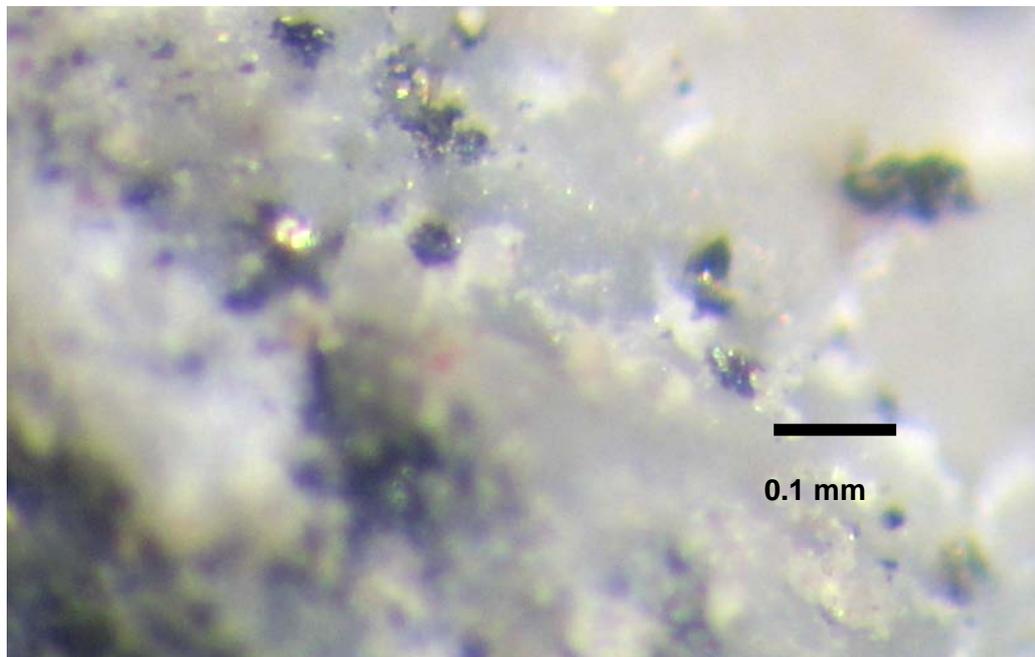


Foto N° 03: Fragmento de roca caolinizada y silicificado con disseminación de pirita fina

La alteración a caolín se ha dado en la zona básicamente porque la matriz sobre la cual ocurrió el evento geoquímico fueron rocas volcánicas ricas en feldespatos y la extensión del yacimiento de caolín formado fue muy amplia. (1.5 Has. Aprox.)

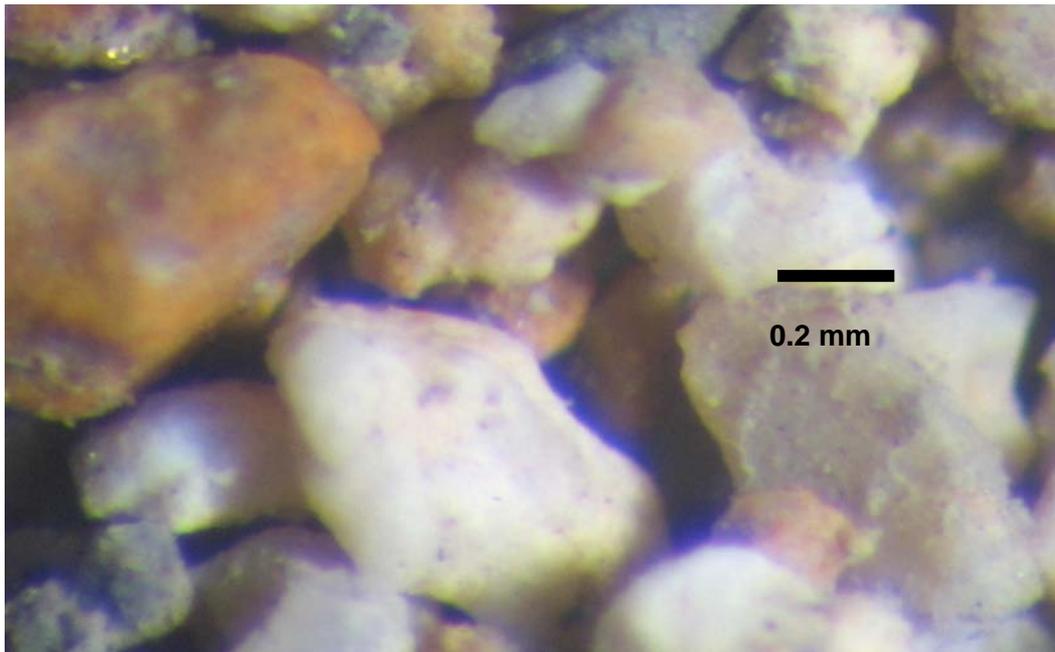
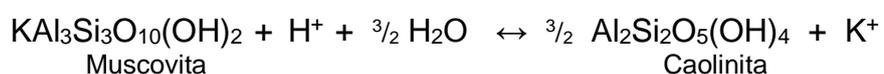


Foto N° 04: Material granular con feldespatos caolinizados y óxidos de hierro

Las alteraciones que dan lugar a la caolinización ocurren por procesos de alteración hidrotermal por medio de las reacciones de hidrólisis ácida característica de estos medios. A este tipo de alteraciones se denomina argílica avanzada, donde todos los feldespatos son convertidos en dikitas, kaolinitas, pirofillitas alunitas u otras fases ricas en alúmina. Las pirofillitas en ambientes ricos en potasio del proceso volcánico, pasan a muscovitas liberando agua y silice, posteriormente la muscovita pasa a caolín por hidrólisis ácida. La estabilidad de los feldespatos potásicos y muscovitas está determinada por las siguientes reacciones por hidrólisis ácidas de los fluidos hidrotermales que ocurren alrededor de 300°C.:



1.5.2. Formación del drenaje ácido

Además las 2 grandes fallas y los plegamientos tan cercanos han expuesto a los polimetálicos a la erosión natural al entrar por los diclasamientos estructurales y por las escorrentias de la napa freática, lo que ha llevado a oxidar e hidrolizar internamente a los minerales sulfurados en la zona y que broten en oquedades alrededor de la loma de caolín en forma espontánea con una emisión de aguas ácidas cargadas con iones de Cu, Pb, Fe, Zn, As Mn etc, característico de nuestros polimetálicos.

Muchos autores describen como aguas ácidas de mina a los drenajes con un pH comprendido entre 2 y 4, y altos contenidos de metales disueltos. Esto es debido a que en forma natural las aguas también pueden ser ácidas hasta pH de 4.5 como se observan en aguas subterráneas que atraviesan zona carbonatadas o aguas de deshielo que atrapan gases como CO₂ al formarse los hielos dando lugar a la formación de ácido carbónico, sin embargo estas aguas no tienen una carga metálica ni sulfatos como las aguas ácidas de mina y por lo tanto no se consideran contaminantes en su medio. El Drenaje Ácido de Mina o DAR se refiere a la solución contaminante que resulta de la oxidación de minerales sulfurados y la lixiviación de los metales asociados a estos. Todo esto sucede cuando estos minerales son expuestos al aire (oxígeno) y al agua. La fuente del drenaje ácido, son los minerales sulfurados más comunes como la pirita, pirrotita, y marcasita y dependiendo de su estructura se observará diferentes velocidades de oxidación. También tenemos a

los minerales asociados a cuerpos mineralizados, como la calcopirita, enargita, galena, esfalerita, variados sulfuros de As, Sb, y otros. En nuestra zona de estudio tenemos una matriz de polimetálicos de este tipo acompañados además casi siempre de minerales de manganeso. Así, la oxidación y lixiviación de estos minerales, da como resultado la generación de ácido sulfúrico y de metales disueltos como iones con varios estados de oxidación en el agua ácida.

El desarrollo del drenaje ácido es un proceso que involucra varias etapas geoquímicas de oxidación, hidrólisis y lixiviación con diversas cinéticas y de fenómenos físicos relacionados para que suceda.

Etapas de formación del drenaje ácido

En función del pH característico del medio y estudiando las etapas de formación con respecto al tiempo (ver figura N° 01) podemos caracterizar o definir en qué etapa se encuentra nuestro drenaje ácido en la zona de estudio, después del monitoreo y resultado de los análisis.

Etapas I. La acidez es generada por el oxígeno y el agua mientras se produce la oxidación de los minerales sulfurosos, y la hidrólisis del Fe^{2+} , producido hasta aquí existe suficiente alcalinidad disponible como para neutralizar la acidez y precipitar el hierro en forma de hidróxido.



El ácido sulfúrico es un ácido fuerte por lo que se encuentra totalmente disociado y el grado de acidez es alto.

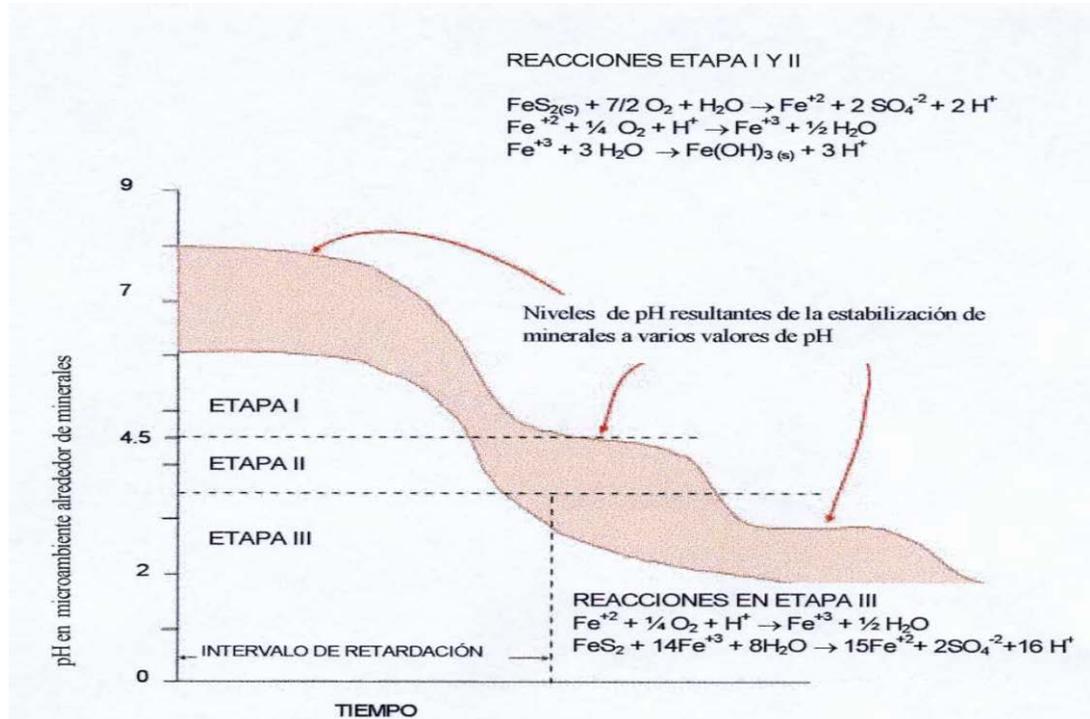
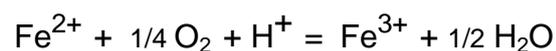


Figura N° 01: Etapas de formación del Drenaje de ácido de Mina. (MEM)

Esta reacción provoca un incremento en el total de sólidos disueltos y un aumento de la acidez, que irá asociado a una disminución del pH. Si el ambiente circundante es lo suficientemente oxidante, entonces muchos iones ferrosos se oxidarán a iones férricos.



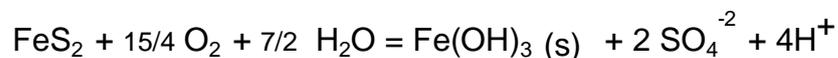
El oxígeno es el oxidante principal, y se produce sulfato y acidez a partir de la oxidación de los minerales sulfurosos. Los minerales carbonatados, como la calcita (CaCO_3) presente en la roca, neutralizan esta acidez y mantienen condiciones que van de neutras a alcalinas ($\text{pH} > 7$) en el agua que fluye sobre la roca. También se podría detectar un contenido elevado de calcio (y magnesio u otros metales, dependiendo de las rocas consumidoras de ácido

presentes), como resultado de la disolución de los minerales carbonatados, debido al consumo de ácido.

La oxidación química del hierro ferroso Fe^{2+} es rápida a pH neutro y casi todo el hierro férrico Fe^{3+} se precipita rápidamente de la solución como un hidróxido férrico aumentando la acidez.



Por lo que la velocidad de oxidación química de la pirita es relativamente baja, comparada con las etapas posteriores de oxidación, ya que el hierro férrico no contribuye como oxidante.



En esta etapa, el agua de drenaje se caracteriza generalmente por niveles elevados de sulfato, con pH cercano al neutro hasta 4,5 ligados a precipitados en forma de hidróxidos rojizos y cierta carga de metales si existen minerales de zinc asociados con los sulfuros de hierro.

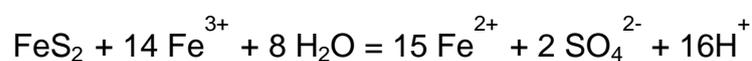
Etapas II. A medida que continúa la generación de ácido y se agotan o se vuelven inaccesibles los minerales carbonatados, el pH del agua disminuye y el proceso se encamina hacia su segunda etapa. Cuando el pH del microambiente disminuye ocurren reacciones de oxidación tanto química como biológica.

Al agotarse todo el potencial de neutralización, se presentarán valores de pH hasta 3,5 con concentraciones elevadas de hierro ferroso y sulfatos. Se observa una acidez relativamente alta, aún cuando las concentraciones de

metales en la solución puedan ser bajas. Es una etapa intermedia en que el Fe^{3+} comienza a actuar como oxidante sobre los sulfuros.

Etapa III. A medida que los minerales alcalinos se consumen o recubren, o bien, se produce acidez a mayor velocidad que alcalinidad, el pH se vuelve ácido. Las reacciones dominantes se transforman de oxidación química a principalmente oxidación biológicamente catalizada.

De las reacciones de oxidación sulfurosa, se produce hierro ferroso, que se oxida biológicamente y se convierte en hierro férrico, las bacterias catalizan y aceleran la oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} en varios órdenes de magnitud. Es entonces cuando la reacción de oxidación de la pirita es principalmente por el Fe^{3+} (reemplaza el oxígeno como el oxidante principal) siendo esta la causa de la rápida oxidación de la pirita a pH ácido. Los productos ácidos resultantes pueden ser arrastrados por la infiltración del agua llegando hasta pH de 0,5 como en el caso de la zona de Cerro de Pasco.



La bacteria *Thiobacillus ferrooxidans* es la principal encargada de esta reacción, pero también oxida a los sulfuros como las trioxidasa y la sulfolobus. En esta etapa, la velocidad de oxidación es considerablemente más rápida y como se indica en la figura N° 01 el descenso del pH incrementa la velocidad de oxidación. No hay estudios científicos definitivos

para cuantificar la aceleración de las velocidades de oxidación debido a la oxidación catalizada biológicamente; sin embargo, en la literatura existen informes sobre la observación del aumento de velocidades de 10 a un millón de veces más que aquéllas generadas por oxidación química. En esta etapa, el agua de drenaje es generalmente ácida, caracterizada por sulfatos y metales disueltos en concentraciones elevadas.

En el futuro, décadas y - posiblemente - siglos después del inicio de la generación de estos ácidos, la velocidad disminuirá con la oxidación completa de los sulfuros más reactivos y el pH se incrementará hasta que la roca se torne sólo ligeramente reactiva y el pH del agua de drenaje no sea afectado. El tiempo para cada etapa sucesiva puede variar de un período de días a un período de cientos de años, dependiendo de los factores que controlen la generación de ácido.

La oxidación de la pirita se ve favorecida en áreas mineras debido a la facilidad con la que el aire entra en contacto con los sulfuros a través de las labores mineras de acceso, diaclasamientos en las rocas, por los poros existentes en las estructuras y residuos así como al incremento de la superficie de contacto de las partículas. Se considera que los factores que más afectan a la generación ácida son el volumen, la concentración, el tamaño de grano y la distribución espacial de la pirita.



Foto N° 05: Drenaje ácido

Factores que intervienen en el proceso de generación de drenaje ácido de la mina

- La oxidación de pirita y otros sulfuros
- La oxidación e hidrólisis del hierro (II) disuelto y otros metales
- La capacidad neutralizadora de la ganga mineral y roca encajonante
- La capacidad neutralizadora de las aguas bicarbonatadas
- La disponibilidad de oxígeno
- La disponibilidad de agua líquida o en forma vapor
- La localización y forma de zonas permeables en relación con las vías de flujo
- Las variaciones climáticas (diarias, estacionales o episodios de tormentas)
- La formación de eflorescencias y su redisolución
- El calentamiento por conducción y radiación del calor generado en diversas reacciones exotérmicas (oxidación de la pirita, disolución de sales solubles y la dilución de un ácido concentrado)

CAPITULO II

PROCESO DE MONITOREO

El reconocimiento del contexto ambiental y muestreo de aguas, sedimentos y mineral del tajo se realizó el mes de Julio del 2009, teniendo en cuenta los factores de diseño de un programa de monitoreo que son:

- Estudios de referencia y definición de los antecedentes del medio. Puede darnos información valiosa sobre la calidad de las aguas superficiales y subterráneas y las emisiones sólidas de la zona.
- Características de los desechos en la zona. (Los cuales no se tienen).
- Medio ambiente. Las condiciones ambientales de la zona juegan un papel muy importante en la migración, transporte y destino de los contaminantes.
- Posibles vías de migración. Un reconocimiento de toda la zona vadosa de los suelos y el reconocimiento de los flujos superficiales hacia corrientes de aguas que se desplazan por gravedad y lagos.

Se determino realizar en 3 puntos el monitoreo donde las emisiones son características y representativas en volumen.

2.1 MONITOREO DE MUESTRAS DE AGUA Y SÓLIDOS

Ubicación de puntos de monitoreo de muestras de agua

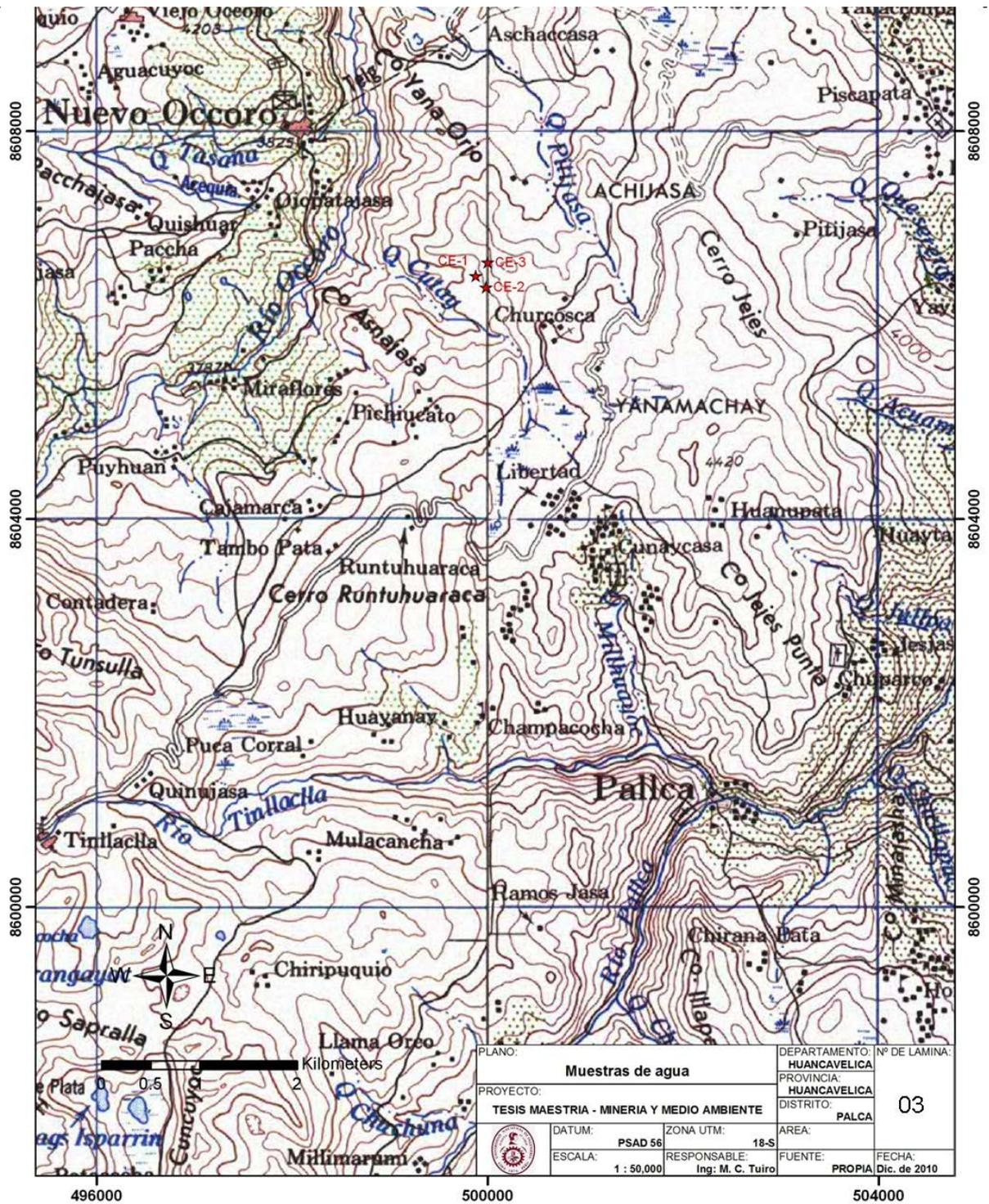
Muestras	Ubicación	Coordenadas *Sistema del Datum Referencial: PSAD 56
CE - 1	Extremo Norte del tajo	499 884 E; 8 606,513N
CE - 2	Extremo Sur del tajo	499,989 E; 8 606,395 N 4024 msnm
CE - 3	Zona del tajo	500,007 E; 8 606,650 N



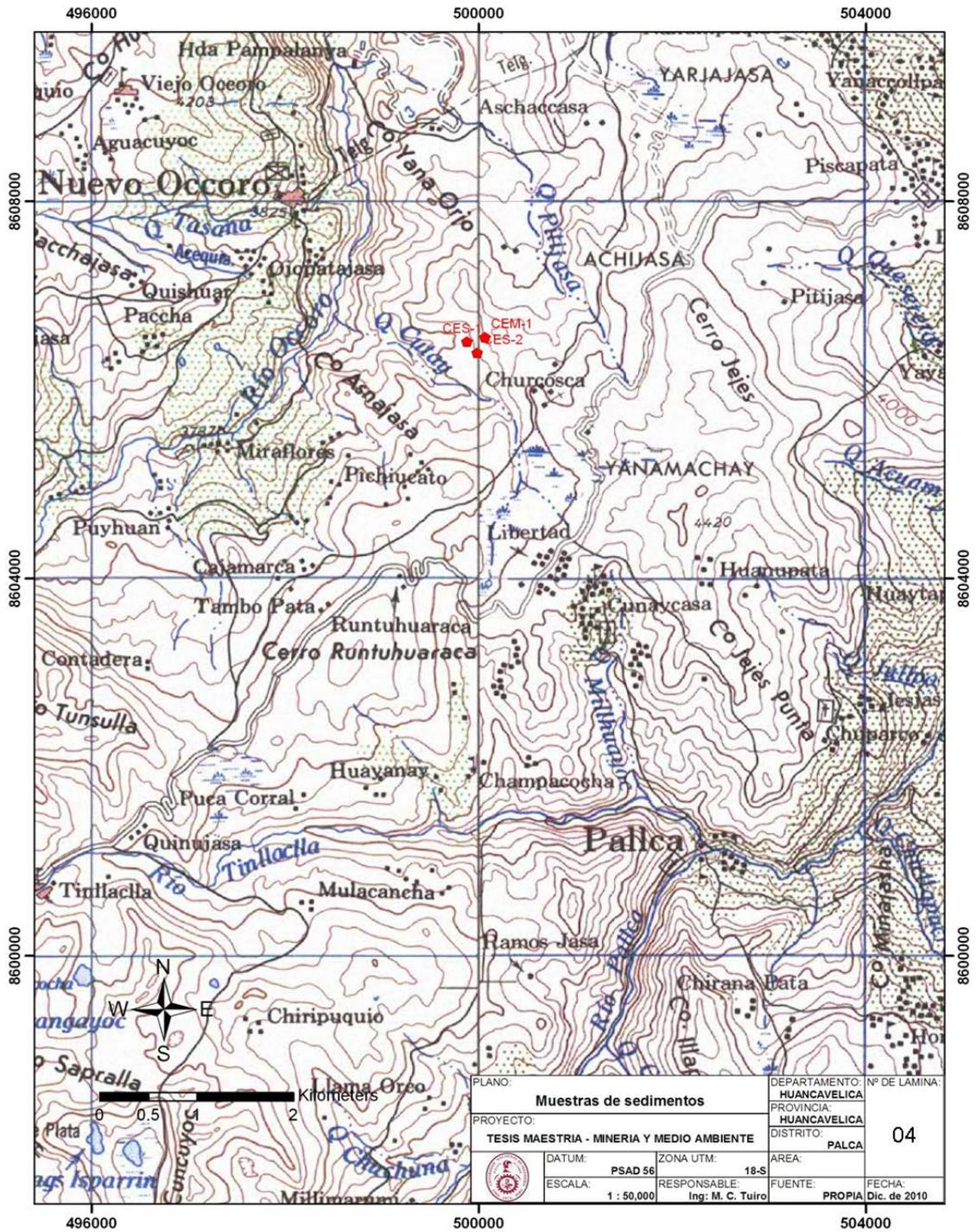
Foto N° 06: Estación de muestreo emplazada en la parte baja del tajo donde se ha tomado la muestra de agua CE - 1 sedimentos CES - 1 en la poza de acumulación de las escorrentías de agua.

Monitoreo de sedimentos y compósito de mineral de cantera

Muestras	Ubicación	coordenadas
CES - 1	Extremo Norte del tajo (sedimento)	499 8848E; 8 606,513 N
CES - 2	Extremo Sur del tajo (sedimento)	499 989 E; 8 606,395 N
CEM - 1	Zona del tajo (mineral)	500, 071E; 8 606,562 N



Plano N° 03: Puntos de monitoreo de aguas



Plano N° 04: Puntos de monitoreo de sedimentos y mineral



Foto N° 07: Estación de muestreo en poza ubicada en el extremo Oeste y parte baja del Tajo donde se han tomado las muestras de agua CE - 2 y sedimentos CES - 2



Foto N° 08: Estación de muestreo CE - 3 en afloramiento de agua al costado del tajo

2. 2 RESULTADO DEL ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA

Se define por calidad natural del agua al conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que presenta el agua en su estado natural en los ríos lagos, manantiales, en el subsuelo o el mar. Calidad de agua no es un término absoluto, es algo que se dice en relación con el uso o actividad a que se destina, calidad para beber, para riego, etc. Por consiguiente el agua que puede resultar contaminada para un cierto uso puede ser perfectamente aplicable a otro. De ahí que se fijen criterios de calidad del agua según los usos a que se destinen, como lo hace la LEY GENERAL DE AGUAS. Los contaminantes del agua naturales o derivados de la actividad humana son compuestos que modifican su composición o estado, disminuyendo su aptitud para alguna de sus posibles utilizaciones.

Tabla N° 01: Indicadores de contaminación de aguas

Contaminantes	Indicadores de contaminación según uso
<p>Sólidos en suspensión (suelos minerales subproductos industriales)</p> <p>Elementos que modifican el color</p> <p>Compuestos inorgánicos (ácidos, iones metálicos ,otras sales,)</p> <p>Nutrientes (compuestos de nitrógeno fosforo y potasio)</p> <p>Residuos que demanden nitrógeno (materia orgánica putrescible reducidas por bacterias aeróbicas, que requieren oxigeno disuelto.</p> <p>Compuestos orgánicos tóxicos (detergentes , plaguicidas, subproductos industriales)</p> <p>Contaminantes biológicos (bacterias y virus)</p>	<p>Uso domestico: pH, turbidez, sólidos disueltos, tóxicos metálicos y otros y doliformes.</p> <p>Industria : pH sólidos disueltos y en suspensión</p> <p>Riego : Sólidos disueltos, conductividad, Na⁺ ,K⁺, Mg²⁺</p> <p>Recreo: Turbidez, tóxicos, coliformes.</p> <p>Vida acuática: pH, oxigeno disuelto, compuestos organoclorados.</p>

Tabla N° 02: Resultados de parámetros físico - químicos

	CE - 1	CE - 2	CE - 3	*ECAs
pH	2,3	2,2	3,8	6,5 – 8,5
Sólidos Suspendidos totales (mg/L)	2350	2100	30	
Sulfatos (mg/L)	256,5	509,5	15,7	250
Conductividad uS/cm	1972	1573	77	1500
Potencial redox (mV)	500	497	410	
Caudal (L/minutos)	0,5	0,5	0,5	
Observaciones	Turbio	Turbio	Transparente	

Tabla N° 03: Resultados del análisis de metales totales en aguas

	CE - 1	CE - 2	CE - 3	*ECAs
Cu(mg/L)	0,619	5,941	0,005	2
Pb(mg/L)	0,144	0,121	0,006	0,01
Zn(mg/L)	0,289	6,343	0,023	3
Cd(mg/L)	0,037	0,049	0,005	0,003
Mn(mg/L)	0,232	0,338	0,023	0,1
Fe(mg/L)	187,8	324,9	0,065	0,3
As(mg/L)	1,833	1,393	0,001	0,01

*Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua-DS N° 002 - 2008 - MINAM
Clase A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

Se observa que en las muestras CE - 1 y CE - 2 tienen un pH que está en el límite de movilidad del Fe^{3+} por lo que se tiene gran cantidad de $Fe(OH)_3$ coloidal que se encuentra en suspensión junto con las arcillas. La carga metálica es muy alta principalmente en arsénico y está por encima de los L.M.P. presentando todas las características de un drenaje ácido:

- Valores de pH por debajo de 7 hasta 1.5
- Alcalinidad decreciente y acidez creciente
- Concentraciones elevadas de sulfato
- Concentraciones elevadas de metales (disueltos o totales)
- Concentraciones elevadas de sólidos disueltos totales.

En cambio la muestra CE - 3 tiene un pH más alto y no contiene Fe en solución ni coloidal, tampoco sólidos en suspensión, siendo el mayor problema el pH. Este afloramiento al costado del tajo de exploración se encuentra en la explanada, por lo que podría tener influencia de la napa freática que diluye la emisión y eleva el pH, dando lugar a un agua con baja carga metálica. Cabe señalar que los pobladores que llegan a pasar por allí utilizan eventualmente estas aguas.

2.2 RESULTADO DEL ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS Y COMPÓSITO DE MINERAL

De acuerdo a las normas las emisiones sólidas deben ser evaluadas para determinar si generarán drenaje ácido o no, con la prueba estática del POTENCIAL NETO DE NEUTRALIZACIÓN (PNN). El análisis de metales contaminantes indicará sus características para estabilidad geoquímica.

Tabla N° 04: Resultado del potencial neto de neutralización

Muestra	pH	%S	PN	PA	PNN
Sedimento CES - 1	5,5	0,01	3,75	0,31	3,44
Sedimento CES - 2	6,3	0,01	10,00	0,31	9,69
Compósito Mineral CEM - 1	1,8	0,98	-56,87	33,63	-87,50

Muestra	Predomina	PN/PA	PNN KgCaCO ₃ /TM	Drenaje Ácido
Sedimento CES-1	Silicatos	12,1	3,44	Incierto
Sedimento CES-2	Silicatos	32,3	9,69	Incierto
Compósito Mineral CEM-1	Sulfuros	0,0	-87,50	Si

Los sedimentos CES - 1 y CES - 2 están dentro del rango de los inciertos, sin embargo, no tienen minerales carbonatados y sulfurados por lo cual podemos afirmar que realmente no generarán drenaje ácido con el tiempo y su pH en pasta no presenta mayores problemas.

El compósito de mineral de La cantera CEM - 1 presenta un pH ácido de 1,8 y se puede decir que ya está generando ácido y que va a seguir, porque contiene minerales sulfurados y no tiene minerales carbonatados.

Tabla N° 05: Resultado del análisis de metales en sedimentos y mineral.

Muestras	%Ca	%Fe	%Mn	%Cu	%Pb	%Zn	Cd (ppm)	As (ppm)
Sedimento CES - 1	0,05	0,75	0,003	0,004	0,003	0,003	3	110
Sedimento CES - 2	0,07	2,37	0,060	0,001	0,002	0,009	2	106
Compósito Mineral CEM - 1	0,08	6,50	0,002	0,015	0,005	0,015	6	319

De acuerdo a las normas europeas para sedimentos estos están un poco altos para metales, siendo los valores críticos en Arsénico. El mineral CEM-1 también presenta un valor muy alto en arsénico. El % calcio nos da referencia con respecto a los minerales carbonatados que están ausentes.

CAPITULO III

IMPACTOS AMBIENTALES

Se define un impacto ambiental cuando una actividad o acción que produce una alteración favorable o desfavorable en el medio o en alguno de los componentes del medio ambiente. Debe notarse que un Impacto no implica negatividad ya que también podría ser positivo. Normalmente el impacto de un proyecto sobre el medio ambiente es la diferencia su situación en un futuro modificado como consecuencia del proyecto realizado y la situación del medio ambiente futuro tal como habría evolucionado sin el desarrollo del proyecto.

En la zona de la cantera de caolín, el Impacto Ambiental se ha producido por una actividad natural, por una serie de procesos geológicos y de intemperismo como ya se estudio antes, por lo tanto la aplicación de un proyecto bien dirigido podría hacer que el impacto en la zona resultará positivo.

Tabla 06 Tipología de los impactos Ambientales

POR LA VARIACIÓN DE LA C.A.	Impacto positivo
	Impacto negativo
POR LA INTENSIDAD (GRADO DE DESTRUCCIÓN)	impacto noble o muy alto
	Impacto mínimo o muy bajo
POR EXTENSIÓN	Impacto puntual
	Impacto parcial
	Impacto extremo
	Impacto total
	Impacto de ubicación crítica
POR EL MOMENTO EN QUE SE MANIFIESTA	Impacto latente(corto, medio y largo plazo)
	Impacto inmediato
	Impacto de momento crítico

POR SU PERSISTENCIA	Impacto temporal
	Impacto permanente
POR SU CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN	Impacto irrecuperable
	Impacto irreversible
	Impacto reversible
	Impacto mitigable
	Impacto recuperable
	Impacto fugaz
POR LA RELACIÓN CAUSA - EFECTO	Impacto directo
	Impacto indirecto o secundario
POR LA INTERRELACIÓN DE ACCIONES Y/O EFECTOS	Impacto simple
	Impacto acumulativo
	Impacto sinérgico
POR SU PERIODICIDAD	Impacto continuo
	Impacto discontinuo
	Impacto periódico
	Impacto de aparición irregular
POR LA NECESIDAD DE APLICACIÓN DE MEDIDAS CORRECTIVAS	Impacto ambiental crítico
	Impacto ambiental severo
	Impacto ambiental moderado

3.1 IMPACTOS DE LAS AGUAS

Las aguas al moverse pueden alterar la cubierta terrestre y la cubierta vegetal, al entrar al sistema de drenaje natural puede alterar el balance hídrico las recargas naturales, la calidad de las aguas subterráneas y superficiales aledañas.

3.2 IMPACTOS DE LOS SEDIMENTOS

Bajo dos formas pueden moverse los sólidos, uno es por los vientos que trasladan los finos y cubren los suelos cercanos, afectando las coberturas vegetales y otro es su movilización por las lluvias que escurren y transportan estos materiales ocasionando otro recubrimiento. Los impactos debidos a estas emisiones o focos de contaminación, no solo actúan sobre el medio

natural como la tierra, suelo, flora y fauna, sino también sobre el medio socioeconómico ya que la zona pertenece a comunidades en el entorno que quieren negociar y explotar la zona.

Como se definió por el monitoreo en el capítulo anterior que los impactos ambientales son causados básicamente por las aguas de drenaje ácido y por los materiales sólidos que podrían generar drenaje ácido. El impacto en la zona de estudio se define de acuerdo a la tipología de impactos como MUY FUERTE, PUNTUAL, LATENTE, por su persistencia es PERMANENTE, por su capacidad de recuperación es MITIGABLE, por su relación causa - efecto es DIRECTO, por su periodicidad es CONTINUO, por su necesidad de medidas correctivas es MODERADO ya que los pobladores se encuentran muy lejos de la zona de estudio, que tampoco es utilizada como zona de pastoral.

Tabla 07: Impactos ambientales

EN EL MEDIO NATURAL	EN EL MEDIO SOCIOECONOMICO
<p>Tierra y suelo. Erosión ,alteración de uso agrícola por recubrimientos, de las características del suelo, permeabilidad compactación y asientos, problemas de estabilidad física</p> <p>Agua. Las aguas contaminadas afectan el balance hídrico, las recargas, calidad de aguas subterráneas y superficiales.</p> <p>Flora Se afecta la cubierta vegetal, la diversidad de especies interesantes o en peligro de extinción, estabilidad de comunidades vegetales.</p> <p>Fauna. Afecta la biodiversidad, biomasa especies endémicas, especies interesantes o en peligro, la estabilidad de las cadenas tróficas.</p>	<p>Usos del territorio. Espacios naturales, uso agrícola y ganadero, uso industrial y extractivo, uso residencial, forestal, conservación, infraestructura. Red de servicios y transportes y comunicaciones energía eléctrica, edificaciones etc.</p> <p>Humanos Calidad de vida salud y seguridad de las comunidades cercanas.</p> <p>Economía y población. Se afecta la estructura de la población activa por su decrecimiento ante la fuga por mejores condiciones de vida.</p>

Después de estudiar los resultados del monitoreo y los impactos ambientales, podemos definir que en esta zona de estudio el impacto ambiental principal causado por el drenaje de aguas ácidas se encuentra en los inicios de la Etapa III de formación de drenaje ácido donde el proceso es irreversible y además en una extensión tan amplia que no se puede acceder para una remoción del contaminante.

CAPITULO IV

TECNOLOGÍA DE NEUTRALIZACIÓN DE LAS AGUAS ÁCIDAS

4.1 DEFINICIÓN DE ETAPAS DEL PROCESO DE GENERACIÓN DEL DRENAJE ÁCIDO

Dependiendo de la etapa en que se encuentre en el proceso de generación del drenaje ácido se determinará la tecnología apropiada para la vigilancia y el control de la contaminación.

En la etapa I, puede ser factible el control de las condiciones necesarias para las reacciones de generación de ácido. Se puede prevenir el impacto del drenaje contaminado sobre el ambiente mediante un control efectivo del proceso de oxidación, eliminando el reactante principal necesario para que se produzca la reacción (es decir, el oxígeno). El monitoreo se centrará en los parámetros indicadores del inicio del DAR: sulfato, bicarbonato, hierro ferroso, zinc, etc.

Una vez que se establecen las reacciones de generación de ácido (Etapas II y III), el hierro férrico se convierte en el principal oxidante. En esta etapa, la oxidación está bien establecida y el control del DAR requiere la eliminación del mecanismo de transporte, con el fin de evitar que el contaminante sea liberado en el ambiente (es decir, el agua).

Para el caso en que la contaminación sea por aguas existen alternativas en las medidas preventivas y correctoras. De acuerdo a la tabla 7 nuestras emisiones encajan dentro de los dos primeros puntos, por lo tanto las medidas preventivas para contener la contaminación en cierto grado deben involucrar ambas.

Tabla N° 08: De medidas preventivas y correctoras para emisiones contaminantes sobre los cuerpos receptores acuosos

Aguas superficiales
<p>Reducción del volumen de vertidos y de su capa contaminante.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Separación de vertidos en origen. <p>Cubiertas y sellos para excluir la emisión</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recirculación de aguas usadas. - Cambios en los sistemas básicos de Flujo de agua. - Recuperación de subproductos. - Uso de bactericidas para controlar la oxidación bacteriana de los minerales. - No utilización de elementos o productos inhibidores en la depuración natural o artificial. <p>Implementación de instalaciones de tratamiento de las emisiones.</p> <p>Eliminación de aguas residuales sin recurrir a su tratamiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dilución - Concentración y consideración de transporte. - Inyección en el terreno. - Aplicación al suelo.
Aguas subterráneas
<p>Perímetros de protección.</p> <p>Normatividad para la construcción de pozos.</p> <p>Impermeabilización</p> <p>Drenaje somero.</p> <p>Control de residuos en el subsuelo mediante sondeos.</p> <p>Depuración natural o artificial.</p> <p>Reducción de los vertidos.</p> <p>Implementación de barreras de presión y depresión.</p> <p>Intercepción de contaminantes.</p> <p>Creación de barreras subterráneas.</p>

4.2 PROCESOS DE NEUTRALIZACIÓN DE LAS AGUAS ÁCIDAS

Para su tratamiento se pueden emplear dos grupos de técnicas: las activas y las pasivas. **Las técnicas activas** son aquellas que se basan en el procesamiento químico del drenaje ácido mediante la adición de reactivos neutralizantes como cal y caliza, se aplica en forma local y tiene un costo operativo. **Las técnicas pasivas** son las que se emplean para el tratamiento de grandes volúmenes, y se basan en la puesta en contacto con “reactivos” naturales o con condiciones adecuadas para evitar el desarrollo del proceso. Estas técnicas pueden ser muy variadas como **los humedales artificiales – (Wetlands), Humedales aerobios (aerobic wetlands), Drenaje Anóxico Calizo (Ald) (ver anexo)**

Dependiendo de los requerimientos de la calidad de agua, el tratamiento de neutralización debe conducir a lograr los cuatro objetivos:

- Neutralizar las aguas ácidas (pH = 6 – 9)
- Remover y reducir los sólidos en suspensión
- Remover y reducir los sólidos disueltos (metales contaminantes y otros).
- Remover y reducir los constituyentes orgánicos.

Los primeros tres objetivos se lograrán teniendo en cuenta las variaciones de pH en que precipitan cada uno de los iones metálicos que queremos remover para que salgan del medio acuoso, por ejemplo el Fe^{3+} es precipitado desde pH 2,5 sin embargo el Fe^{2+} lo es recién a pH 5,5, por otro lado el Cu^{2+} precipita a pH 6, el Mn^{2+} necesita un pH de 8 para precipitar y el Arsénico puede ser soluble tanto en medio ácido como en medio alcalino

formando arseniatos AsO_4^{3-} , AsO_3^{3-} por lo que su remoción requiere de ciertas características especiales del medio. A veces es necesaria la adición de un floculante para lograr todos los objetivos del proceso.

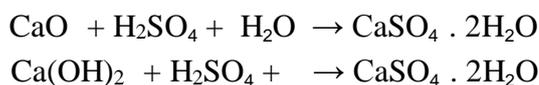
Los métodos aplicables de neutralización para efluentes de aguas ácidas dependen de las características fisicoquímicas del agua ácida como el pH y la carga metálica y del caudal de la emisión así como de la topografía de la zona, todo ello para permitir ya sea un tratamiento en planta o un tratamiento en flujo continuo que involucre neutralización. Los neutralizantes que más se utilizan por costo y manejo son la Caliza, Cal Hidratada y Cal viva, cada uno de los cuales presenta ciertas características en el punto de neutralización, los cuales serán expuestos a continuación.

a) Neutralización con caliza



El empleo de caliza produce yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ junto con los precipitados de metales y los sólidos en suspensión, formando un lodo y desprendimiento de CO_2 . La desventaja de utilizar sólo caliza es que no se disuelve a $\text{pH} > 6.5$ por lo tanto no puede llegar a neutralizar y precipitar los metales que tienen pH de precipitación más altos como el Zn, Pb, Mn, y As teniendo con esto un riesgo de no alcanzar, una buena neutralización de aguas ácidas.

b) Neutralización con cal



La cal viva y la cal hidratada también forman yeso pero no desprenden CO_2 la ventaja es que se disuelve mejor y el pH de neutralización puede llegar hasta valores 8,5 que es lo óptimo para una buena remoción de carga metálica. (para otros usos se llega a pH 11) . Para fines de neutralización la cal se utiliza en forma de lechada de cal, que se va añadiendo al medio de un tanque rotatorio que lo mantiene siempre en suspensión.

Como sabemos la cal es un producto que en comparación con la caliza es más cara, por lo tanto, hacer una neutralización con cal sola es más costoso pero a la par utilizar sólo caliza no solucionaría nuestro problema, debido al $\text{pH} = 6.5$ de neutralización, por lo tanto es mucho más seguro utilizar cal en el proceso, aunque sea más difícil de manejar. En algunos casos cuando el pH de las aguas ácidas es muy bajo se utiliza un método combinado en el cual se somete el drenaje ácido primero ante la caliza hasta elevar el pH a 5 y luego se utiliza cal hidratada para lograr una buena neutralización hasta pH de 8,5.

Función del aire en el proceso de neutralización

El proceso de aireación es muy importante en la neutralización ya que cumple con el objetivo de oxidar al ión Fe^{+2} en Fe^{+3} que es menos soluble precipita más rápidamente y produce un precipitado más grande que ayuda a coprecipitar a los otros elementos.

DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO

HDS – High Density Sludge ó Lodos de Alta Densidad y Slow Density Sludge o lodos de baja densidad

El proceso desarrollado en Canadá se basa en la elevación del pH para neutralizar el ácido libre y precipitar los metales disueltos; los precipitados obtenidos son coloidales y normalmente no densifican más allá de 1% de sólidos (**Slow Density Sludge o lodos de baja densidad**). Mediante una gran recirculación y oxidación de los precipitados, el HDS logra densidades de 20% de sólidos. Este proceso demanda tiempos de retención en el orden de 50 a 60 minutos. Como consecuencia, las plantas instaladas son voluminosas y requieren bastante energía. Su aplicación para este tratamiento en el país se ha realizado con la instalación de Plantas en la Refinería de Cajamarquilla (Lima) y en la Mina Quiruvilca (La Libertad). Esta última costó alrededor de 4 millones de dólares y maneja un caudal máximo de 83 l/s de efluente ácido. La diferencia en ambos diseños esta en el espesador al final del proceso como se observa en la figura 02.

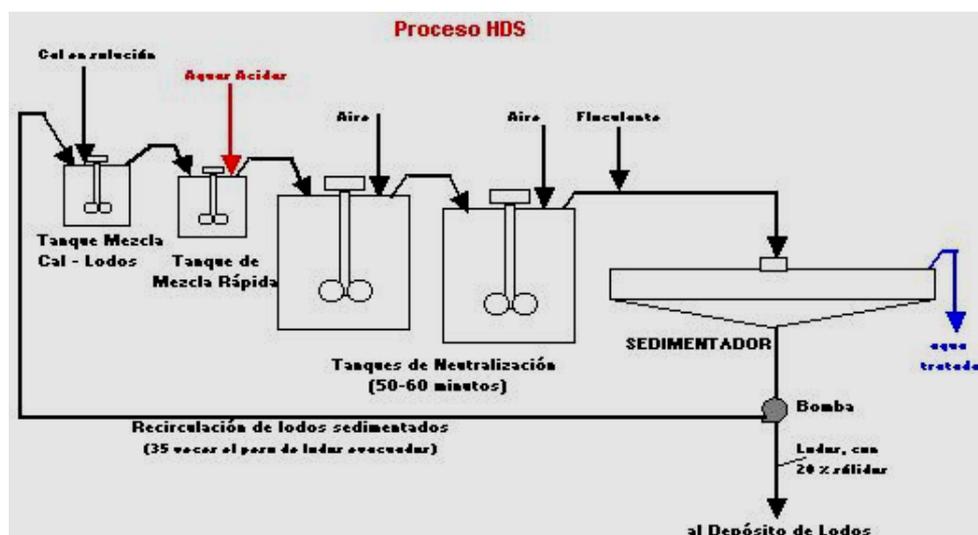


Figura N° 02: Proceso de neutralización de alta densidad

4.3 PRUEBAS DE NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS CON CAL

En cuanto a las medidas correctivas debido a las características de la emisiones acuosas se ha optado por el tratamiento de NEUTRALIZACIÓN CON CAL para lo cual se han realizado pruebas en laboratorio del proceso de neutralización, hasta encontrar las condiciones de tratamiento que logren los objetivos de estándares de calidad. A continuación se presentan los resultados de las pruebas de neutralización con cal en las tres emisiones acuosas.

Tabla N° 09: Resultados de parámetros físico - químicos después de la neutralización y sedimentación

	CE - 1	CE - 2	CE - 3	*ECAs
pH	8,3	8,3	8,3	6,5-8,5
Sólidos Suspendidos totales (mg/L)	0,012	0,014	0,010	
Sulfatos (mg/L)	230,4	491,6	12,8	250
Turbiedad (UNT)	0,9	0,8	0,5	5
Conductividad uS/cm	1386	1350	193	1500
Potencial redox (mV)	440	448	320	
Velocidad de sedimentación(cm/minutos)	0,80 *	3,21 *	0,46 *	
	1,25 +	5,45 +	2,62 +	
Lodos cm3/Litro	80	75	0,05	
Observaciones	Transparente	Transparente	Transparente	

* Sin Floculante

+ Con Floculante aniónico

Tabla N° 10: Resultados del análisis de metales totales después de la neutralización y sedimentación

	CE - 1	CE - 2	CE - 3	*ECAs
Cu(mg/L)	0,015	0,005	0,004	2
Pb(mg/L)	0,007	0,008	0,003	0,01
Zn(mg/L)	0,013	0,031	0,013	3
Cd(mg/L)	0,003	0,003	0,001	0,003
Mn(mg/L)	0,012	0,007	0,005	0,1
Fe(mg/L)	0,018	0,013	0,011	0,3
As(mg/L)	0,008	0,009	0,001	0,01

*Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua-DS N° 002 - 2008 - MINAM
Clase A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.



Muestra CE - 1
Turbio amarillenta

Muestra CE - 2
Turbio amarillo

Muestra CE - 3
Incolora

Foto N° 09: Muestras antes de la neutralización con cal



Muestra CE - 1
Lodo amarillento

Muestra CE - 2
Lodo amarillento

Muestra CE - 3
Lodo blanquecino

Foto N° 10: Muestras neutralizadas con cal

Los resultados del proceso de neutralización indican que se ha logrado remover la carga metálica en un su mayoría.

4.4 PARÁMETROS DE PRUEBA DE NEUTRALIZACIÓN DE LAS AGUAS ÁCIDAS

Los parámetros que se indican en la tabla siguiente se han obtenido neutralizando cada muestra de agua ácida con cal hasta pH de 8,5, obteniéndose sus respectivos lodos que son separados del agua agregando un floculante aniónico y finalmente agregar cloro a fin de obtener un agua potable con 0,5 mg/L de cloro residual.

Tabla N° 11: Parámetros de neutralización

	Tratamiento Agua CE - 1 Potable	Tratamiento Agua CE - 2 Clase III	Tratamiento Agua CE - 3
pH	8,3	8,3	8,3
Sólidos suspendidos después de la remoción	0,005 mg/L	0,006 mg/L	0,003 mg/L
Sulfatos	230,4 mg/L	491,6 mg/L	12,8 mg/L
Caudal	0,5 Litros/seg	0,5 Litros/seg	Incierto
Dosis de cal (61,8 % CaO) en	0,97 Kg/m ³ 46,6 Kg/día 1397 Kg/mes	1,60 Kg/m ³ 76,4 Kg/día 2304 Kg/m ³	0,09 Kg/m ³ 4,3 Kg/día 130 Kg/mes
Volumen en 24 horas (86400 seg)	43,2 m ³	43,2	43,2 m ³
Velocidad de sedimentación del lodo con floculante aniónico.	1,25 cm/min.	5,45 cm/min.	2,62 cm/min
Lodos	80 Litros/m ³	75 Litros/m ³	0,05 Litros/m ³
Volumen de Lodos en 24 horas	3,84 m ³	3,60 m ³	0,002 m ³
Dosis de floculante solución de 1g/L (Polímero aniónico poliacrilamida)	24 g/día 720 g/mes	24 g/día 720 g/Mes	24 g/día 720 g/mes
Dosis de cloro Preparado a 1g Cloro/Litro Residual de 0,5 mg/L	24 g/día 720 g/día	-----	24 g/día 720 g/día

4.5 EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO

Los resultados del proceso de neutralización indican que se ha logrado remover la carga metálica y los sólidos en suspensión más bajos que los límites permisibles. A continuación observamos la eficiencia en cada parámetro analizado.

Tabla N° 12: Datos de referencia

Muestra	CE - 1		CE - 2		CE - 3		*ECA
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
pH	2,3	8,3	2,2	8,3	2,8	8,3	6,5-8,5
SST (m/L)	2350	0,012	2100	0,014	30	0,010	
Cu(m/L)	0,619	0,015	5,941	0,005	0,005	0,004	2
Pb(m/L)	0,144	0,007	0,121	0,008	0,006	0,003	0,01
Zn(m/L)	0,289	0,013	6,343	0,031	0,023	0,013	3
Cd(m/L)	0,037	0,003	0,049	0,003	0,005	0,001	0,003
Mn(m/L)	0,232	0,012	0,338	0,007	0,023	0,005	0,1
Fe(m/L)	187,8	0,018	324,9	0,013	0,065	0,011	0,3
As(m/L)	1,833	0,008	1,393	0,009	0,001	0,001	0,01

*Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua - DS N° 002 - 2008 - MINAM

Clase A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

Tabla N° 13 : % Eficiencia de remoción de parámetros

Muestra	CE - 1		CE - 2		CE - 3		*ECA
	% Eficiencia	Final	% Eficiencia	Final	% Eficiencia	Final	
pH		8,3		8,3		8,3	6,5-8,5
SST (m/L)	99,99	0,012	99,99	0,014	99,96	0,010	
Cu(m/L)	97,57	0,015	99,91	0,005	20	0,004	2
Pb(m/L)	95,13	0,007	93,38	0,008	50	0,003	0,01
Zn(m/L)	95,50	0,013	99,51	0,031	43,47	0,013	3
Cd(m/L)	91,89	0,003	93,87	0,003	80	0,001	0,003
Mn(m/L)	94,82	0,012	97,93	0,007	78,26	0,005	0,1
Fe(m/L)	99,99	0,018	99,99	0,013	83,07	0,011	0,3
As(m/L)	99,56	0,008	99,35	0,009	-	0,001	0,01

*Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua - DS N° 002 - 2008-MINAM

Clase A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

Los resultados de los cuadros anteriores indican que la eficiencia de remoción es mayor a 90 % y los contenidos de metales descienden muy debajo de los límites de calidad de aguas. Además lo importante es que el gasto de cal es muy bajo, ya que se requieren de CAL (al 61,8% CaO) sólo 0,97Kg/m³ para CE - 1, 1,60Kg/m³ para CE - 2, 0,09Kg/m³ para CE - 3.

CAPITULO V

DISEÑO DE PLANTA DE NEUTRALIZACIÓN

El diseño de la planta de tratamiento, debe tener en cuenta las premisas ambientales de construcción por lo tanto las implicancias ambientales sobre diseño, formas textura y visibilidad como se explica a continuación.

Tabla N° 14: Premisas ambientales en el diseño de instalaciones de tratamiento

Sobre el diseño
<p>En función de la capacidad de acogida del lugar.</p> <p>Adaptación a las formas del medio.</p> <p>Estructuras que provoquen el mínimo corte visual.</p> <p>Escaquear estructuras en la topografía del medio.</p> <p>Respetar la tipología constructiva de la zona afectada.</p> <p>Localización de parques de Maquinarias en zonas de mínimo impacto.</p> <p>Ubicación de obras de manera que no se encuentren en la enfilada de vistas naturales o arquitectónicas de alto interés.</p>
Sobre las formas
<ul style="list-style-type: none"> • Geomorfológicas. <p>Plantaciones de vegetación con formas parecidas al paisaje existente y evitando demasiadas formas geométricas.</p> <p>Diseñar repoblaciones donde se mantenga la relación entre frondosas y coníferas, existentes en el medio ambiente.</p>

Sobre la textura y color
<p>Para facilitar la integración paisajista.</p> <p>Diseños cromáticos en las estructuras.</p> <p>Vegetación cubriendo terraplenes y aéreas de vegetación destruida por las emisiones.</p>
Sobre la visibilidad
<p>Plantaciones arbustivas para destacar las curvas en vías de acceso como autopistas.</p> <p>Plantaciones en isletas y desviaciones de las vías para resaltar entradas.</p> <p>Interposición de pantallas naturales o artificiales para ocultar elementos no integrados paisajísticamente.</p>

5.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

El diseño de la planta de tratamiento para un punto de emisión de agua ácida se desarrollo considerando el flujo de agua de emisión por día y de acuerdo a los parámetros de neutralización de la tabla 12. El proceso de tratamiento no involucra tanque de reacción, sino más bien un tratamiento en movimiento por un canal con saltos alternados para la aireación y luego una poza de sedimentación rápida con la utilización de un floculante.

En el diseño se estima la construcción de un canal de reacción de $1,5 \text{ m}^3$ ($10 \times 0,3 \times 0,5 \text{ m}^3$) para adicionar cal y floculante y control del pH final entre 8 - 8,5; seguido por una poza para decantación de los lodos de 48 m^3 de magnitud $\frac{1}{2}$ ($8 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$) + ($4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$). Luego del cual se tendrían dos canales; un canal se utilizará para adicionar cloro y lograr un $0,5 \text{ mg/L}$ de cloro residual; asimismo un tanque final para acumular agua potable seguido

por una línea hasta una pileta. El segundo canal de salida sería para agua sin clorar para uso de animales (Clase III).

Tabla N° 15: Parámetros para diseño de poza de tratamiento

	Tratamiento Agua CE - 1 Potable	Tratamiento Agua CE - 2 Clase III	Tratamiento Agua CE - 3
pH	8,3	8,3	8,3
Sólidos suspendidos después de la remoción	0,005 mg/L	0,006 mg/L	0,003 mg/L
Sulfatos	230,4 mg/L	491,6 mg/L	12,8 mg/L
Caudal de emisión	0,5 Litros/seg	0,5 Litros/seg	Incierto
Volumen en 24 horas	43,2 m ³	43,2	43,2 m ³
Dosis de cal (61,8 %CaO)	0,97 Kg/m ³ 46,6 Kg/día 1397 Kg/mes	1,60 Kg/m ³ 76,4 Kg/día 2304 Kg/m ³	0,09 Kg/m ³ 4,3 Kg/día 130 Kg/mes
Poza propuesta (Lxaxh) 48 m ³	½(8mx3mx2m) + (4m x 3m x 2m)	½(8mx3mx2m) + (4m x 3m x 2m)	½(8mx3mx2m) + (4m x 3m x 2m)
Canal de reacción Salto Hidráulico 1,5 m ³	10x 0,3x0,5 m ³	10x 0,3x0,5 m ³	10x 0,3x0,5 m ³
Velocidad de sedimentación del lodo con floculante aniónico.	1,25 cm/min.	5,45 cm/min.	2,62 cm/min
Lodos	80 Litros/m ³	75 Litros/m ³	0,05 Litros/m ³
Volumen de Lodos en 24 horas	3,84 m ³	3,60 m ³	0,002 m ³
Tiempo de residencia en poza	2,50 horas	0,56 horas	
Dosis de floculante solución de 1g/L (Polímero aniónico poliacrilamida)	24 g/día 720 g/mes	24 g/día 720 g/Mes	24 g/día 720 g/mes
Dosis de cloro Preparado a 1g Cloro/Litro	24 g/día 720 g/día	-----	24 g/día 720 g/día
Residual de cloro	0,5 mg/L		0,5 mg/L

REFERENCIA DEL POLÍMERO ANIÓNICO POLIACRILAMIDA PARA AGUA POTABLE
Proveedor: INNOVA ANDINA

Asimismo se emplazarán tres tanques, el primero de 200 litros para producir la lechada de cal, el cual debe tener un sistema de paletas para homogenizar con su válvula de dosificación, el segundo tanque de 200 litros

para preparar y suministrar el floculante y el tercer tanque de 200 litros para preparar y dosificar la solución de cloro para la desinfección del agua tratada.

Para la extracción de los lodos de neutralización la poza de sedimentación deberá tener una rampa de acceso para una limpieza periódica de los lodos acumulados, lo cual debe considerarse durante la construcción, manteniendo el volumen de tratamiento propuesto.

Según el siguiente esquema:



Figura N° 03: Poza de tratamiento de aguas ácidas

5.2 TRATAMIENTO DE LOS LODOS DE NEUTRALIZACIÓN

La principal característica geoquímica de los lodos desde el punto de vista ambiental es que tenga estabilidad química a corto y largo plazo. Estos lodos productos de neutralización con cal son estables a corto plazo y lo serán a largo plazo si se mantienen en un ambiente que evite la infiltración de aguas ácidas que re disuelvan los hidróxidos metálicos precipitados. La estabilidad química mejora con el tiempo cuando estos hidróxidos se van secando y se

convierten progresivamente en óxidos cementados por el yeso formado, esto se logra cuando tienen mayor acceso al aire. Jamás deben mezclarse con materiales que tengan sulfuros y pudieran generar drenaje ácido.

5.2.1 Diseño y zona de disposición de lodos generados por la neutralización

El diseño y zona de disposición de lodos generados por la neutralización de un caudal de 0,5 l/seg de agua ácida ha sido determinados teniendo en cuenta la topografía de la zona y teniendo en cuenta su plan de cierre.

La zona de emplazamiento de los lodos para un tiempo de operación estimado de 4.3 años, se ubicará en la quebrada ubicada en el flanco Oeste del emplazamiento de la planta de neutralización para lo cual se realizará un acondicionamiento de la superficie con recubrimiento de arena y cobertura con geomembrana, asimismo se construirá un dique con material de préstamo de 60.2 m de largo. Para aislarlo de las aguas superficiales se construirá un canal de coronación de 78,14 m y de 1m de ancho por 0,7 de altura. El área de espejo máxima será de 931,5 m² Los parámetros para la construcción de la zona de disposición de lodos se dan en la tabla siguiente:

5.2.2 Plan de cierre de disposición de lodos

La zona de disposición de los lodos que contienen fundamentalmente hidróxidos de hierro, además de sulfatos y compuestos de arsénico, plomo, manganeso, cobre, zinc y cadmio que han sido coprecipitados durante la

Tabla N° 16: Parámetros para diseño de zona de disposición de lodos

Parámetros	Magnitud
Longitud del dique	60,20 m
Talud del dique (H:V)	2:1
Material del dique	Material de préstamo
Acondicionamiento de superficie	Nivelación y cobertura de arena
Recubrimiento de superficie	Geomembrana sobre cobertura de arena
Canal de coronación	78,14 m- Sección de canal: 1mx0,7 m
Drenaje	Tipo francés o tipo quena
Área del espejo de disposición	427,0 m ²
Altura del dique	7,00 m
Volumen	2989 m ³
Toneladas	5978 TM
Tiempo de operación	4,3 años

sedimentación de los compuestos de hierro; son acumulados y el agua remanente drenado, siendo al final de su utilización recubierto e impermeabilizado utilizando arcilla o geomembrana; luego se aplicará una capa de material percolante y finalmente un suelo orgánico para re - vegetación; asegurando la estabilidad física y química post - cierre.

5.3 COSTOS

Los datos corresponden a costos dados para la construcción total de una poza con su canal y el funcionamiento por mes.

COSTOS DE PLANTA DE NEUTRALIZACION

COSTOS DE CAPITAL	Monto S/.
Construcción de canal de reacción 1,5m ³ (10X0,3X0,5m ³)	1 200
Construcción de poza de sedimentación 48m ³ (4mx3mx2m)+1/2 (8mx3mx2m)	20 000
Canales de salida con y sin cloración	2 400
Equipos .tanques dosificadores, motores.	1 600
Sub TOTAL	24 200
COSTOS DE OPERACIÓN (Mensual)	
Costos de reactivos (Cal y floculante)	700
Costo operativo	300
Sub TOTAL (Mensual)	1 000

COSTOS DE ADECUACION DE ZONA DE DISPOSICION DE LODOS

COSTOS DE CONSTRUCCION	Monto S/.
Limpieza de terreno	1 000
Nivelación y cobertura de arena	3 000
Material de préstamo para el dique 60,2m x 7m	40 000
Costo de cobertura con geomenbrana (3 mm) 831,5 m ²	3 700
Canal de coronación 1m x 0,7m x 78,14m	2 400
Sub TOTAL	50 100

5.4 PLANOS

5.4.1 Plano de poza y canal

5.4.2 Plano de diseño de disposición de lodos

CONCLUSIONES

1. Las tres fuentes de agua que se disponen son ácidas teniendo valores de pH, turbiedad, sulfatos, conductividad, y metales que exceden a lo establecido por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA).
2. El cuadro de la eficiencia de remoción de contaminantes después de neutralización con cal nos demuestra que el proceso es satisfactorio y nos permite obtener un agua de calidad potable que cumple con los parámetros de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.
3. El diseño del sistema de tratamiento está dimensionado para un tratamiento de 48 m³ por día utilizando una parte del agua tratada con cloro para uso potable y otra parte para uso de bebida de animales.
4. Después de la caracterización de los sedimentos CES - 1 y CES - 2 podemos concluir que estos no generaran drenaje ácido ya que no presentan sulfuros en su composición y en cuanto a metales contaminantes el arsénico es el único elemento crítico cuyo origen sería natural a partir de la descomposición de los elementos componentes de las rocas que conforman el marco geológico de la cantera.

5. Es importante señalar que la explotación que beneficiará el caolín en la zona debe implementar este tipo de proyecto neutralización que contribuiría a controlar la contaminación de este pasivo ambiental, suministrando a los pobladores cercanos agua de calidad para riego y ganadería.

RECOMENDACIONES

1. Después de poner en operación el sistema de neutralización se va generar lodos a partir de los sedimentos en suspensión entonces se debe proveer la forma de hacer la remoción de estas acumulaciones y el destino que se la dará para evitar la colmatación de estos pozos.
2. Se debe evaluar la capacidad de los suelos y considerar de recuperar las especies arbustivas endémicas y que ayudarían a proteger los suelos evitando la denudación y erosión de los mismos.
3. Es necesario considerar un tratamiento pasivo explorando por formaciones calcáreas (calizas) en la zona y usarlo como elemento que neutralizaría las aguas ácidas y utilizar estas rocas en los canales, dique y poza de neutralización.
4. Hacer un trabajo de investigación por plantas extremófilas que puedan cundir y hacer el trabajo de neutralizar estas aguas en forma pasiva como ejemplo tenemos los calamagrostis.
5. En el área esencialmente el sistema de riego es por lluvias pero considerando las pozas y el agua represada en estas pozas se puede implementar el riego por goteo con especies arbóreas de mayor utilidad en estas altitudes.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- (1) Wolfgang Morche y Washington Larico C. (1966) Geología del cuadrángulo de Huancavelica Boletín 73 Hoja 26 - n , 26 - m INGEMMET Lima - Perú
- (2) Arthur W. Rose ,Donald M. Burt (1975) Hydrothermal Alteration
- (3) V. Conesa Fdez. - Vitora: Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental, Madrid 1995.
- (4) William Petruk 1998. Waste characterization and treatment, Society for mining, metallurgy and exploration inc.
- (5) Ministerio de Energía y Minas. Perú 1995: Guía ambiental de manejo de agua en operaciones minero - metalúrgicas. Sub - Sector Minería. Dirección general de asuntos ambientales
- (6) MISA - ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIROMENT METAL MINING SECTOR, Canada 1992. Best available pollution control technology.
- (7) Pradyot Patnaik,Ph.D (1997) Enviromental Analysis .Lewis Publishers.
- (8) Organización Minera Metálica del Japón - Ministerio de Energía y Minas del Perú (1996) Contramedidas Ambientales de Desarrollo Minero.
- (9) Banco Mudial .Washington D.C. 1992 Libro de Consulta para Evaluación Ambiental. Vol I , Wold Bank technical paper ,ISSN 0253 - 7494 139
- (10) A. Mendoza A., M. Tuiro S. (2007) Simulación por lixiviación con lluvia ácida de relaves y desmontes y sus implicancias en el Medio Ambiente. Trabajo de Investigación FIGMM. - UNI
- (11) A. Mendoza A., M. Tuiro S. (2005) Desarrollo de Pruebas Cinéticas de Relaves y Desmontes en la generación de Drenajes Ácidos en Minería: Trabajo de Investigación FIGMM. - UNI
- (12) A. Mendoza A., M. Tuiro S. (2002) Contaminantes Metálicos generados por la Actividad Minera en Sedimentos y Suelos Agrícolas: Trabajo de Investigación FIGMM. - UNI
- (13) A. Mendoza A., M. Tuiro S. (2002) Evaluación del Potencial Neto de Neutralización de Relaves y Desmontes: Trabajo de Investigación FIGMM. - UNI
- (14) Consulcont S.A. Lima 1995. Estudio de tratamiento de agua ácidas del Socavón Smelter
- (15) Ministerio de Energía y Minas. Perú 1995: Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas. Sub - Sector Minería. Dirección general de asuntos ambientales
- (16) Ministerio de Energía y Minas. Perú 1997: Compendio de Normas Ambientales para las actividades Minero Energéticas. Sub - Sector Minería. Dirección general de asuntos ambientales.
- (17) EPA - 6002 - 83 - 001 1983 USA. Neutralization of Acid Mine Drainage - Design Manual. Nacional Technical Information Service.

INDICE DE PLANOS – FOTOS - TABLAS - FIGURAS

	Pág.
Plano 01: Ubicación y acceso	02
Plano 02: Geología Regional	04
Plano 03: Puntos de monitoreo de muestras de aguas	47
Plano 04: Puntos de monitoreo de muestras de sedimentos	48
Plano 05: Pozo de tratamiento de aguas ácidas	75
Plano 06: Diseño de disposición de lodos	75
Foto N° 1: Tajo de exploración preliminar de la Cantera Nueva Esperanza mostrando afloramiento de roca volcánica fuertemente caolinizada.	23
Foto N° 2: Zona de mineralización en plena cantera mostrando caolinización y óxidos de hierro	24
Foto N° 3: Fragmento de roca caolinizada y silicificado con diseminación de pirita fina.	36
Foto N° 4: Material granular con feldespatos caolinizados y óxidos de hierro	37
Foto N° 5: Drenaje ácido	44
Foto N° 6: Estación de muestreo emplazada en la parte baja del tajo donde se ha tomado la muestra de agua CE - 1 y sedimentos CES - 1 en la poza de acumulación de las escorrentías de agua.	46
Foto N° 7: Estación de muestreo en poza ubicada en el extremo oeste y parte baja del tajo donde se han tomado las muestras de agua CE - 2 y sedimentos CES - 2.	49
Foto N° 8: Estación de muestreo CE - 3 en afloramiento de agua al costado del tajo.	49
Foto N° 9: Muestras antes de la neutralización con cal	65
Foto N° 10: Muestras neutralizadas con cal	65
Tabla N° 1: Indicadores de contaminación de aguas	50
Tabla N° 2: Resultados de parámetros físico – químicos	51
Tabla N° 3: Resultados del análisis de metales totales en aguas	51
Tabla N° 4: Resultados del potencial neto de neutralización	52
Tabla N° 5: Resultado del análisis de metales en sedimentos y mineral	53
Tabla N° 6: Tipología de los impactos ambientales	54
Tabla N° 7: Impactos Ambientales	56
Tabla N° 8: De medidas preventivas y correctoras para emisiones contaminantes sobre cuerpos receptores acuosos	59
Tabla N° 9: Resultados de parámetros físico – químicos	

después de neutralización y sedimentación	64
Tabla N° 10: Resultados del análisis de metales totales después de neutralización y sedimentación	64
Tabla N° 11: Parámetros de neutralización	66
Tabla N° 12: Datos de referencia	67
Tabla N° 13: % de eficiencia de remoción de parámetros	67
Tabla N° 14: Premisas ambientales en el diseño de instalaciones de tratamientos	69
Tabla N° 15: Parámetros para diseño de poza de tratamiento	71
Tabla N° 16: Parámetros para diseño de zona de disposición de lodos	73
Figura 01: Etapas de formación del drenaje ácido	40
Figura 02: proceso de neutralización de alta densidad	63
Figura 03: Poza de tratamiento de aguas ácidas	72

ANEXOS

- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas.
Decreto supremo N 002 - 2008 - MINAM.
- Límites Máximos permisibles para la descarga de Efluentes Líquidos de actividades Minero-Metalurgicos .Decreto supremo N 010 - 2010 - MINAM.
- Características fisicoquímicas y técnicas en la venta de CAL
- Características y aplicaciones de Geomembranas.