

ANEXO GENERAL G-III
MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS
PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

ANEXO GENERAL G-III.1

SUELOS

ANEXO GENERAL G-III.2

METEOROLOGÍA

ANEXO GENERAL G-III.3

CALIDAD DE AIRE

ANEXO GENERAL G-III.4

HIDROGEOLOGÍA

ANEXO GENERAL G-III.5

HIDROLOGÍA

ANEXO GENERAL G-III.6

CALIDAD DE AGUA

ANEXO GENERAL G-III.7

BIOLOGÍA ACUÁTICA

ANEXO GENERAL G-III.8

BIOLOGÍA TERRESTRE

ANEXO GENERAL G-III.9

USO DE TIERRA

ANEXO GENERAL G-III.10

ARQUEOLOGÍA

INDICE

Página

III. METODOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA ADQUISICION DE INFORMACION.....	III-1
III.1 Suelos.....	III-1
III.2 Meteorología.....	III-2
III.2.1 Métodos Utilizados para el Análisis a Nivel Regional	III-2
III.2.2 Métodos de Recopilación de Datos sobre la Mina.....	III-2
III.3 Calidad de Aire.....	III-6
III.3.1 Metodologías de Análisis y Muestreo.....	III-6
III.3.2 Dióxido de Azufre (SO ₂) y Oxidos de Nitrógeno (Nox)...	III-6
III.3.3 Total de Partículas Suspendidas (para metales pesados) y PM10	III-6
III.4 Hidrogeología	III-7
III.4.1 Revisión de Datos	III-7
III.4.2 Investigaciones de Campo	III-7
III.4.3 Monitoreo.....	III-7
III.5 Hidrología.....	III-8
III.5.1 Descripción Regional - Infraestructura Lineal	III-8
III.5.2 Mediciones de Caudal.....	III-14
III.6 Calidad de Agua	III-16
III.6.1 Metodología	III-16
III.6.2 Estaciones de Monitoreo.....	III-16
III.6.3 Frecuencia de Muestreo	III-17
III.6.4 Parámetros de Calidad de Agua.....	III-18
III.6.5 Procedimiento de Muestreo	III-18
III.6.6 Procedimientos de Laboratorio	III-20
III.7 Biología Acuático	III-21
III.7.1 Métodos	III-21
III.7.2 Plankton (Phytoplankton y Zooplankton).....	III-21
III.7.3 Perifiton	III-21
III.7.4 Macro Invertebrados bentónicos.....	III-22
III.7.5 Plantas acuáticas	III-22
III.7.6 Peces y Recursos pesqueros.....	III-22
III.8 Biología Terrestre	III-24
III.8.1 Fauna.....	III-25
III.9 Uso de Tierra	III-28
III.9.1 Metodología para la Clasificación del Uso de Tierra en el área de la Infraestructura Lineal	III-28
III.9.2 Limitaciones de la Información en Base a Interpretación de Datos obtenidos por Sensores Remotos para la Clasificación del Uso de Tierras	III-29

INDICE
(continua)

	Página
III.10 Arqueología	III-31
III.10.1 Métodos de Investigación del Sitio.....	III-31
III.10.2 Criterios para Determinar la Importancia de los Sitios Identificados	III-32

TABLAS

Tabla 6-1 Programa de Recolección de Muestras para la Calidad de Agua	III-17
Tabla 6-2 Lista de Parámetros de Calidad de Agua.....	III-19

FIGURAS

Figura 5.1	Frecuencia de Flujo Regional para el Talud Oeste de la Cordillera Negra
Figura 5.2	Frecuencia Regional para los Taludes Occidentales de la Cordillera Blanca
Figura 5.3	Flujo Anual Promedio vs. Drenaje para el Talud Oeste de la Cordillera Negra
Figura 5.4	Flujo Anual Promedio vs. Area de Drenaje para los Taludes Occidentales de la Cordillera Blanca
Figura 5.5	Flujo Máximo Diario vs. Promedio Mensual

MAPA

Mapa G-III-10-1	Arqueología
-----------------	-------------

III. METODOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA ADQUISICION DE INFORMACION

III.1 Suelos

Se realizó una evaluación preliminar del lugar para recopilar y evaluar la información existente sobre la características del lugar tales como litología, ecología y topografía. Después de esta evaluación preliminar, se realizó un estudio de campo para identificar los diferentes tipos de suelo en el área y para tomar muestras representativas de suelo para su análisis en laboratorio.

Se registraron descripciones detalladas de los perfiles de los suelos tal como se aparecían dentro de las calicatas hechas a mano para el propósito de exploraciones geotécnica y para efectos de construcción de camino. Se tomaron muestras de suelo utilizando una lampa y se colocaron en bolsas plásticas de muestreo para posteriores análisis. Los análisis de suelo se llevaron a cabo en los laboratorios de “Analytical Services Laboratories Ltd.” (ASL) y “Pacific Soils Analysis Inc.” (PSAI), ambos ubicados en la ciudad de Vancouver, Canadá.

Muestras de suelo superficial fueron tomadas en las áreas de desarrollo potencial para determinar las principales unidades de suelo que podrían sufrir impacto debido al proyecto o que podrían servir para la rehabilitación. Estas muestras se analizaron para los siguientes parámetros físicos y químicos: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, granulometría (textura), carbonatos, nitrógeno total, fósforo disponible, sulfato disponible, capacidad de intercambio de cationes (C.E.C) Ca, Mg, Na, y K Intercambiables, y metales (As, B, Cd, Pb, Mg, Mn, Mo, Ni y Zn). Los resultados de los análisis geoquímicos de metales en estas muestras se encuentran en los Anexos M-I.1, P-I.1, R-I.1 y PS-I.1.

III.2 Meteorología

III.2.1 Métodos Utilizados para el Análisis a Nivel Regional

El análisis regional fue realizado empleando dos métodos: corrección orográfica y correlación entre los datos meteorológicos regionales y del lugar del Proyecto.

Se utilizó la corrección orográfica para estimar la temperatura, velocidad del viento, precipitación y presión barométrica en el lugar del Proyecto. La corrección orográfica es un ajuste de registros regionales basados en diferencias de altitud entre las estaciones meteorológicas regionales y el lugar del proyecto.

El método de correlación fue empleado para analizar datos sobre precipitación pluvial y temperatura mediante la comparación de lecturas simultáneas en el lugar y en una estación cercana durante un período de registro prolongado. Se determinó la relación entre los dos grupos de datos. Esta relación de correlación fue luego aplicada a los registros de largo plazo para proporcionar un estimado de registros meteorológicos de largo plazo y del lugar.

III.2.2 Métodos de Recopilación de Datos sobre la Mina

La recopilación de datos sobre la mina incluía tanto métodos automatizados como manuales, tal como se señala a continuación.

III.2.2.1 Estaciones Meteorológicas Automatizadas

La estación automática ubicada en la parte alta del Campamento de Antamina consta de un número de sensores que se conectan a un datalogger "Campbell Scientific". La estación es activada por una batería de 12V que se carga con un panel solar de 20W. El datalogger ha sido programado de acuerdo con los estándares del Servicio Ambiental Atmosférico Canadiense. La recopilación de datos ocurre a intervalos de cinco minutos. Los datos son procesados de acuerdo a instrucciones programadas y son ingresados a un módulo de almacenamiento con frecuencias de cinco minutos, horaria y diaria.

Los sensores conectados a esta estación incluyen un sensor combinado para medición de temperatura y humedad relativa, un pluviómetro tipo recipiente basculante, un medidor de radiación solar y un anemómetro.

Los datos que se almacenan en el módulo de almacenamiento de datos (datalogger) incluyen:

Frecuencia de cinco minutos

- ☒ intensidad de la precipitación pluvial durante cinco minutos si ésta ha caído en los cinco minutos previos;

Frecuencia horaria;

- ☒ velocidad, desviación estándar y dirección promedio del viento durante los últimos diez minutos de cada hora,
- ☒ velocidad, desviación estándar y dirección promedio del viento promedio por hora;
- ☒ temperatura promedio por hora;
- ☒ radiación solar promedio por hora;
- ☒ humedad relativa promedio por hora; y
- ☒ total de lluvia durante la última hora.

Los siguientes datos se registran cada medianoche:

- ☒ información de diagnóstico;
- ☒ velocidad máxima y dirección del viento durante 24 horas;
- ☒ temperatura máxima (en un minuto);
- ☒ temperatura mínima (en un minuto);
- ☒ velocidad máxima del viento durante 10 minutos; y
- ☒ total de lluvia durante las últimas 24 horas.

El datalogger presenta una capacidad de almacenamiento de memoria de aproximadamente tres meses.

Una segunda estación automatizada, que recoge la información sobre la lluvia y el nivel del agua, se localiza en la Quebrada Huicash, justo aguas abajo de la confluencia con la Quebrada Ushpajanca. Esta estación consta de un datalogger de datos "Gnome Terrascience" de ocho canales que ha sido programado para captar simultáneamente la lluvia del pluviómetro de tipo recipiente basculante y los niveles de agua en un

transductor de presión, los cuales permiten luego determinar el caudal del río. Este datalogger es activado por una batería de 12 V y ha sido programado para recoger datos a intervalos de 15 minutos. Con esta frecuencia de recopilación de datos, la capacidad de almacenamiento de memoria es de aproximadamente tres meses.

La tercera estación automatizada está ubicada en el Valle de Tucush. Esta estación consta de un datalogger "Campbell Scientific" que es activado por una batería de 12 V. Un pluviómetro tipo recipiente vasculante y un anemómetro de vientos se encuentran conectados al datalogger. Los datos que se almacenan en el módulo de almacenamiento de memoria del datalogger incluyen:

Frecuencia de cinco minutos:

- ☒ intensidad de precipitación en forma de lluvia durante cinco minutos si ésta ha caído en los cinco minutos previos;

Frecuencia horaria:

- ☒ velocidad, desviación estándar y dirección promedio del viento durante los últimos diez minutos de cada hora;
- ☒ velocidad, desviación estándar y dirección promedio del viento por hora; y,
- ☒ total de precipitación en forma de lluvia durante las últimas 24 horas.

Los siguientes datos se registran cada medianoche:

- ☒ información de diagnóstico;
- ☒ velocidad máxima y dirección del viento en las 24 horas previas;
- ☒ velocidad máxima del viento durante 10 minutos en las últimas 24 horas; y
- ☒ total de precipitación en forma de lluvia en las últimas 24 horas.

III.2.2.2 Estación Manual

Las mediciones manuales de precipitación en forma de lluvia, nieve y evaporación son registradas diariamente por los empleados del campamento Antamina.

Las mediciones manuales de lluvia se realizan registrando mediciones provenientes de un pluviómetro plástico graduado. Esta información sirve para validar los datos recogidos por el pluviómetro tipo recipiente vasculante y puede ser empleada para la correlación con las estaciones regionales que utilizan la misma tecnología.

Las mediciones totales de la precipitación se realizan con un nivómetro “Nipher Shielded”. Este medidor se compone de un tubo recolector de cobre que se localiza en una pantalla en forma de embudo. Esta pantalla, que está diseñada para maximizar la eficacia de captura de nieve, está adaptada a una tubería de aluminio cuya corona está a cinco pies sobre el nivel del suelo. Cada día, el observador retira el tubo de cobre, derrite la nieve que recogió el tubo, si así se requiere, y mide el contenido en un cilindro graduado.

Las mediciones de evaporación se realizan empleando un tanque de evaporación Clase ‘A’. Este tanque de evaporación es de 47.5” de diámetro, 10” de profundidad y está fabricada con acero inoxidable. Se coloca un aparato para medir el nivel de agua dentro del tanque de evaporación con una escala de gancho que se utiliza para medir el nivel de agua. Las mediciones diarias de las precipitaciones en forma de lluvia y del nivel de agua en el tanque de evaporación sirven para estimar la evaporación diariamente. La evaporación calculada en dicho tanque es convertida en evaporación por una constante empíricamente determinada de 0.70 que explica el transporte de energía a los lados y parte inferior del tanque de evaporación.

III.3 Calidad de Aire

III.3.1 Metodologías de Análisis y Muestreo

La metodología de análisis y muestreo se realizó siguiendo los protocolos recomendados en el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones del Sub-Sector Minero (Oficina General de Asuntos Ambientales (OGAA) del Ministerio de Energía y Minas (MEM), 1994) y los publicados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA).

III.3.2 Dióxido de Azufre (SO₂) y Oxidos de Nitrógeno (Nox)

El dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (Nox) fueron muestreados mediante un tren de muestreo continuo utilizando un método de reactivos húmedos que empleaba una bomba Thomas (modelo N° 607CD32D). El método incluye un continuo burbujeo de la muestra de aire en la solución colectora. El flujo fue indirectamente medido usando un rotómetro y un controlador de flujo crítico por orificio. El laboratorio CERQUIME de Lima proporcionó y analizó las soluciones reactivas para los gases.

III.3.3 Total de Partículas Suspendidas (para metales pesados) y PM₁₀

Se midió el total de partículas suspendidas usando un muestreador de alto volumen "Graseby Andersen". La calibración se realizó inmediatamente antes y después de los programas de muestreo.

Las muestras de filtro fueron preparadas, manipuladas y pesadas siguiendo los protocolos estándares. Se determinó las partículas de plomo y arsénico arrastradas por el aire mediante la digestión y análisis de muestras colectadas para el total de partículas suspendidas. Los procedimientos correspondientes para estos análisis se indican en el Anexo E del "Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones" (MEM 1994), utilizando la digestión agua regia del filtro.

III.4 Hidrogeología

Las investigaciones hidrogeológicas desarrolladas en el área del proyecto, se llevaron a cabo en dos etapas que incluían la revisión de datos y las investigaciones de campo.

III.4.1 Revisión de Datos

Los datos relevantes fueron revisados para obtener un conocimiento fundamental del área en estudio. Esos datos incluyen dos planos geológicos regionales (Cobbing y Sánchez, 1996; Palomino, 1997), dos estudios hidrogeológicos regionales (Tovar, 1996; Cobbing *et al.*, 1996) y un trabajo hidrogeológico específico del lugar realizado por Piteau Associates (1997).

III.4.2 Investigaciones de Campo

En este programa de campo se utilizó un equipo de perforación con diamantina montado sobre una grúa operada por Boart Longyear. Se introdujo una tubería HW (114.3 mm de diámetro externo) a través del material de cubierta hasta que llegó a la roca. En este nivel, en la roca se introdujo una tubería HQ (95.6 mm de diámetro externo) para obtener el testigo. El testigo de la roca fue registrado, fotografiado y almacenado para futura referencia.

Durante la perforación se desarrollaron pruebas de permeabilidad a carga constante con el sistema “packer”. El agua fue bombeada hacia la zona de prueba. La presión fue monitoreada con un medidor de presión colocado cerca del cuello de la perforación y el caudal fue monitoreado con un medidor de caudal acumulativo.

Al finalizar la perforación se colocó una tubería de PVC, Sch. 80, de empalme, de 1.5 pulgadas de diámetro con anillo tipo “O” con una criba perforada a máquina de 3.0 m de longitud, ranurada en la base (20 ranuras por pulgada). La perforación se rellenó por encima de la criba con arena sílica, por encima de la arena con granos de bentonita y finalmente rellenada a ras con relleno de bentonita-cemento. Se introdujo el cemento a través de una tubería hasta que el rebose del mismo indicaba que ya estaba lleno.

III.4.3 Monitoreo

Después de finalizada la construcción de los pozos se monitorearon los niveles de agua. Esos niveles de agua fueron registrados con un medidor de nivel de agua electrónico de RST Instruments of Vancouver, B.C. Las muestras de agua fueron colectadas con una bomba Walterra y preservadas de acuerdo al protocolo de campo. La conductividad y el pH de campo fueron medidos en la salida del pozo.

III.5 Hidrología

III.5.1 Descripción Regional - Infraestructura Lineal

III.5.1.1 Fundamentos

A continuación, se presenta una explicación detallada del análisis empleado para calcular los caudales de los cursos de agua que cruzan el camino. Los datos hidrológicos para este estudio fueron obtenidos de:

- ☒ INRENA (Ex-ONERN) Instituto Nacional de Recursos Naturales;
- ☒ ELECTROPERU; y
- ☒ SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

El uso de un análisis regional de precipitación-escorrentía para estimar flujos de corriente a lo largo de la ruta de la carretera no fue utilizado por dos razones principales. La primera es que los cruces tienen grandes áreas de captación y la segunda es la variabilidad de precipitación en las regiones a lo largo de la ruta de Huarmey a Antamina que atraviesa varias regiones de precipitación, variando ampliamente de zonas de alta precipitación en las laderas orientales de la Cordillera Blanca a áreas donde virtualmente no hay precipitación, tales como en las laderas occidentales de la Cordillera Negra y en la costa. La precisión del análisis de precipitación-escorrentía depende del tamaño de la cuenca y la calidad de los datos de precipitación obtenidos en la región que tiene características similares. El análisis precipitación-escorrentía es más preciso cuando los parámetros como altitud, permeabilidad del suelo, anteriores condiciones de humedad, e intensidad de las tormentas están disponibles. Los actuales hidrogramas medidos y los eventos de tormenta también son útiles en el desarrollo de hidrogramas unitarios para la región.

Desafortunadamente, este tipo de información no existe en la zona en estudio del Perú. Es por eso que se decidió usar un método estadístico basado en los datos de caudal registrados. Los análisis de probabilidad estándar de registros históricos sólo son útiles si el cruce del camino está localizado cerca a una estación hidrométrica. La mayoría de los cruces con la del camino en este proyecto están en quebradas que carecen de estaciones hidrométricas o no están cerca de las estaciones existentes.

III.5.1.2 Análisis Regional

El análisis hidrológico regional se basó en la premisa que los datos de caudal pueden estar relacionados a los parámetros de la cuenca, por ejemplo al área de la cuenca. Este método regional de estimación de caudal de diseño usa datos de caudal de varias estaciones hidrométricas en una región similar y transfiere estadísticamente esa

información al cruce de corriente de agua o río de interés. Este enfoque depende de ciertas similitudes de la cuenca. Por tanto, no es recomendable que los datos registrados en la región árida del Perú sean usados en áreas de mayor precipitación en la cuenca del Río Santa. Una desventaja del enfoque regional es la posibilidad de aplicar este método a cuencas diferentes aun dentro de la misma región.

La investigación de datos de esorrentía registrados en el Perú indican que hay al menos tres regímenes hidrológicos diferentes en el país. La primera región hidrológica está localizada en las cuencas costeras que drenan las laderas occidentales de la Cordillera Negra. La precipitación en esta región es escasa durante la mayoría de las estaciones húmedas y no hay ocurrencia de precipitación durante la estación seca. En el Perú, los caudales en la región costera están caracterizados por períodos de avenida y de estiaje. Los flujos ocurren durante el período de avenida que es de diciembre a marzo. Los caudales en la estación seca, desde abril a octubre son muy bajos o nulos.

La segunda región hidrológica se encuentra en la cuenca del Río Santa, representando el drenaje de las cuencas de las laderas occidentales de la Cordillera Blanca. Esta región tiende a tener más humedad que la región de la Cordillera Negra; además algunas de las cuencas altas son alimentadas por glaciares, es por eso que no dependen mucho de la precipitación. Debido al derretimiento de la nieve compactada y la precipitación, probablemente estos cursos fluirán todo el año aún durante años secos.

La tercera región hidrológica está en las laderas orientales de la Cordillera Blanca. Esta área se encuentra en la parte alta de la cuenca del Río Mosna, donde existe una significativa ocurrencia de precipitación. En 1985, la Asociación Lavalin-PyV realizó un estudio regional en esta zona, para la Central Hidroeléctrica de Chaglla (Huallaga). Se consideró conveniente utilizar los resultados de este estudio para estimar el caudal de los cruces del camino en el lado oriental de la Cordillera Blanca. El ploteo gráfico realizado en este estudio indica una correlación razonable.

III.5.1.3 Descripción del Método

Los datos de caudal para cada estación se convirtieron adimensionales, dividiendo el caudal registrado por el caudal medio anual para la estación (Q/q). El orden y la posición del ploteo de cada punto de estos datos son calculados y ploteados en un gráfico lognormal con el período de retorno en el eje X y la relación con la media en el eje Y. El ploteo del caudal registrado versus el caudal medio anual y el período de retorno para la Cordillera Negra se muestra a continuación en la Figura 5-1. La Figura 5-2 es un ploteo similar para la región de la Cordillera Blanca.

Figura 5-1 Frecuencia de Flujo Regional para el Talud Oeste de la Cordillera Negra

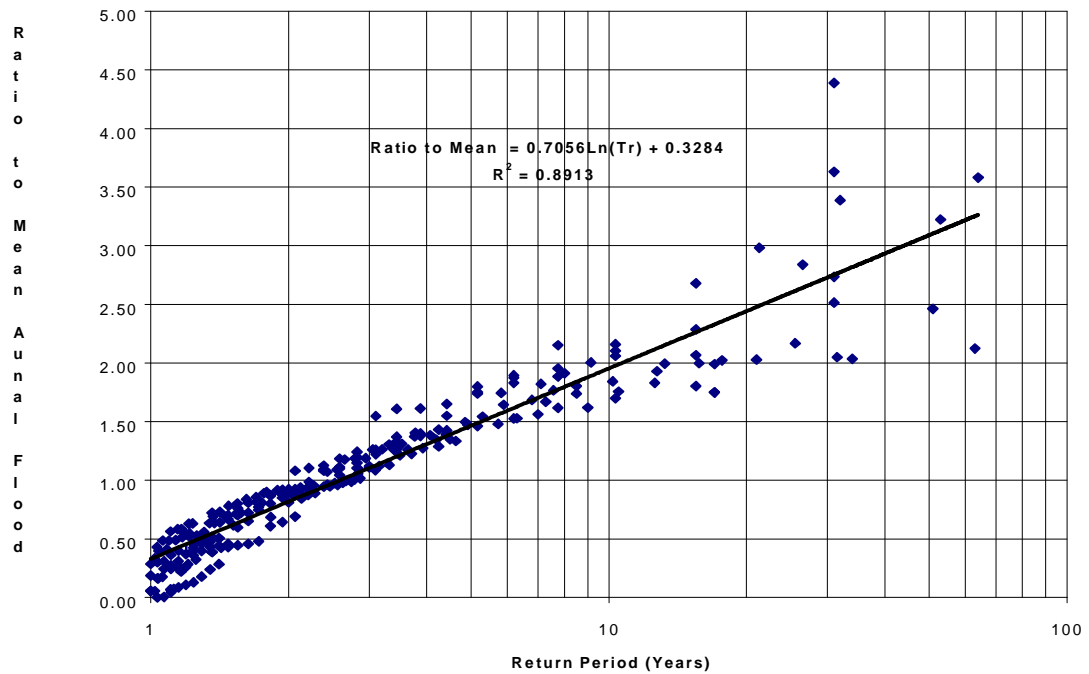
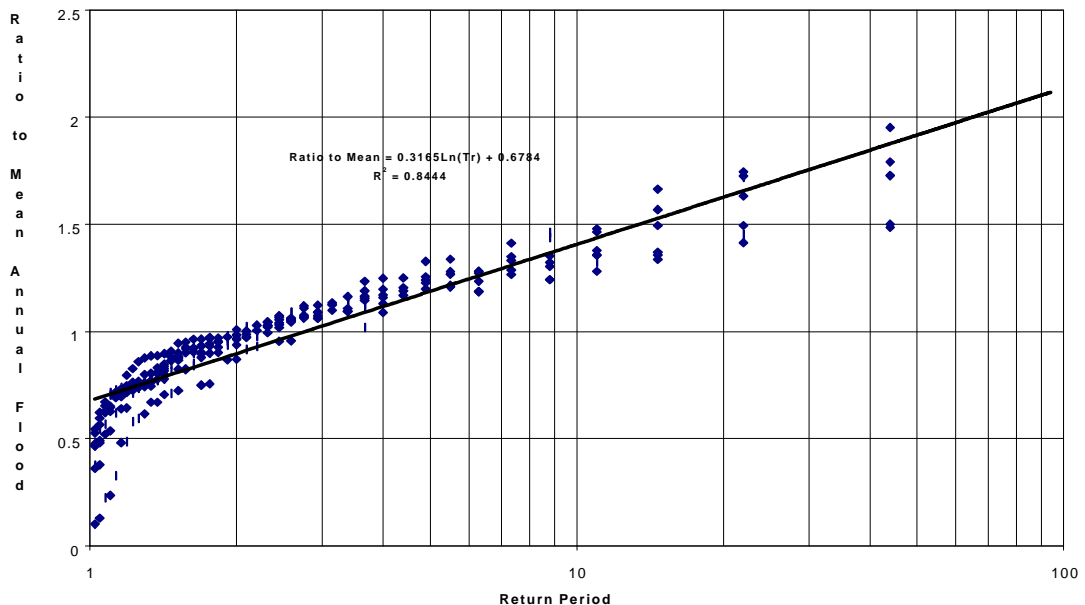


Figura 5-2 Frecuencia Regional para los Taludes Occidentales de la Cordillera Blanca



Parámetros tales como área de la cuenca, orientación, altitud y precipitación anual pueden utilizarse para estimar los caudales anuales medios en cuencas sin aforos de registro. Desafortunadamente, este tipo de información no está fácilmente disponible para la mayoría de las estaciones hidrométricas en el Perú. Por lo tanto, para esta

región del país, el caudal medio fue relacionado al área de drenaje. Las siguientes Figuras 5-3 y 5-4 muestran las relaciones entre los caudales anuales medios y el área de drenaje para las regiones de la Cordillera Negra y Cordillera Blanca respectivamente.

Figura 5-3 Flujo Anual Promedio vs. Drenaje para el Talud Oeste de la Cordillera Negra

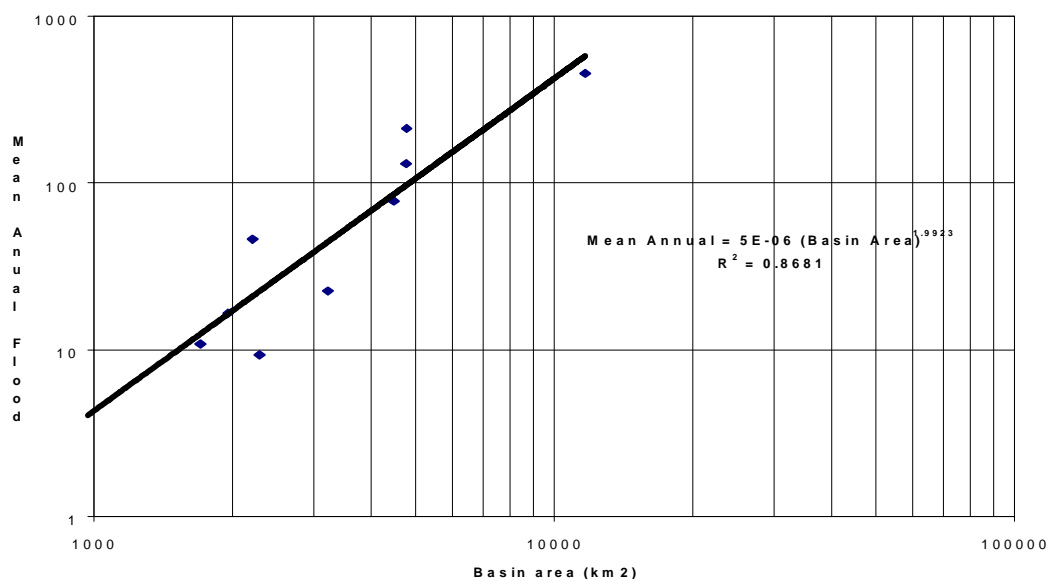
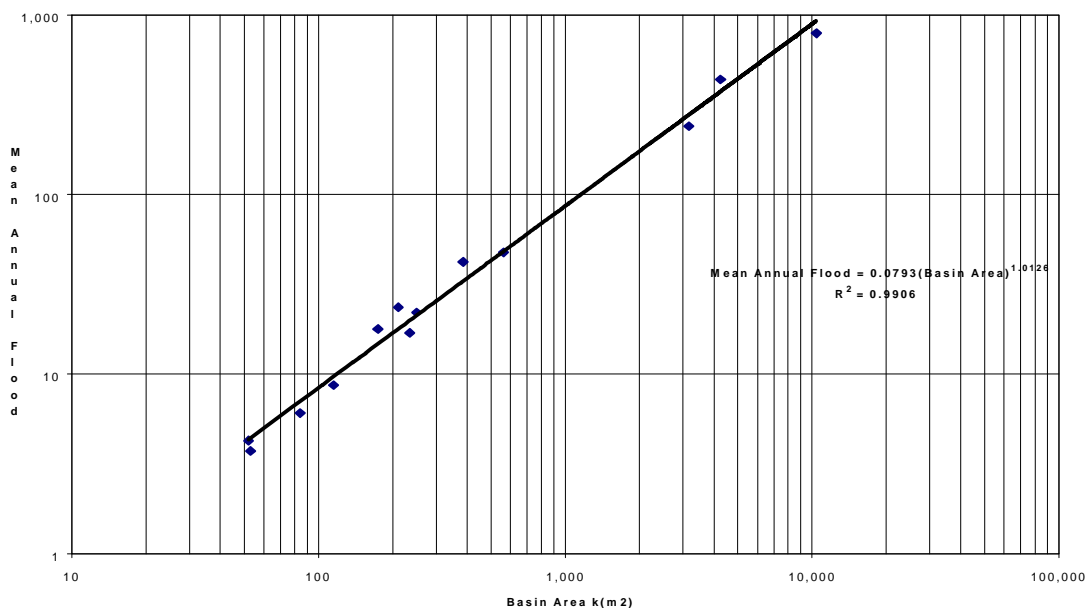
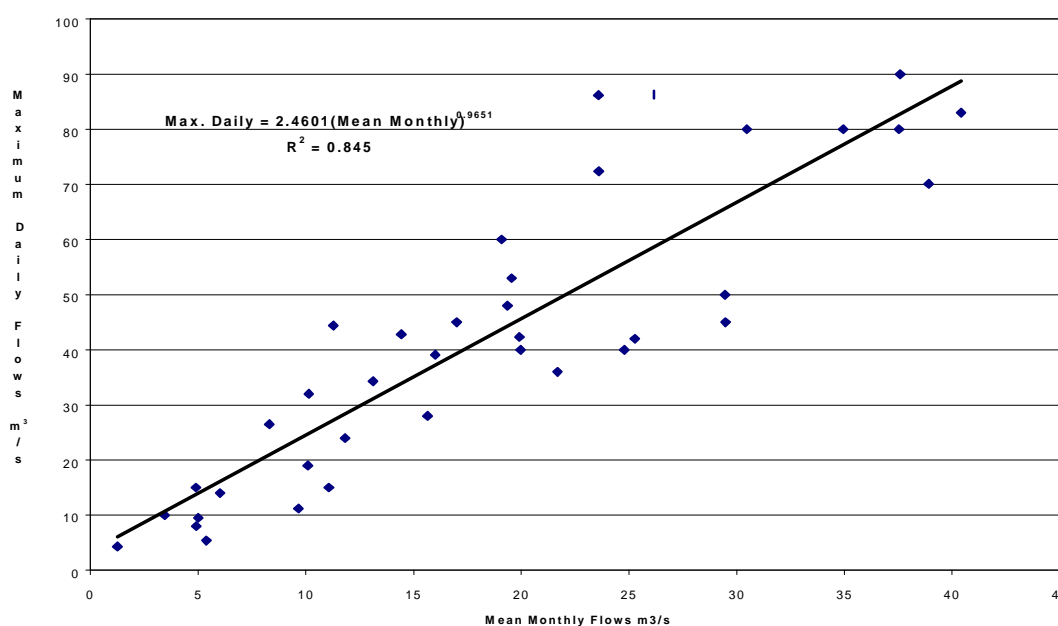


Figura 5-4 Flujo Anual Promedio vs. Area de Drenaje para los Taludes Occidentales de la Cordillera Blanca



Los datos de caudal usados para el análisis de la Cordillera Negra son promedios mensuales máximos para cada año de registro. Los caudales diarios máximos son usados para el diseño de estructuras hidráulicas. En la Cordillera Negra existen pocas estaciones en el conjunto de datos, que tienen datos diarios máximos y datos mensuales máximos. Esos datos fueron correlacionados para tener una relación entre el caudal diario máximo y el caudal mensual máximo. El coeficiente de correlación para la vertiente en la Cordillera Negra fue razonable ($R^2 = 0.845$).

Figura 5-5 Flujo Máximo Diario vs. Promedio Mensual



Los datos de caudal diario máximo están disponibles para la Cuenca del Río Santa, por lo que no se requirió una correlación como la de la Figura 5-5 entre caudales diarios y mensuales para la región del Santa.

III.5.1.4 Caudales en el lado Este de la Cordillera Blanca

La tercera región hidrológica está en la ladera oriental de la Cordillera Blanca. Está en las nacientes de la cuenca del Río Mosna, donde existe una significativa ocurrencia de precipitaciones. En 1985, la Asociación Lavalin-PyV realizó un análisis regional para la cuenca del Alto Marañón, para el Estudio de Prefactibilidad desarrollado para la Central Hidroeléctrica de Chaglla (Huallaga). Los resultados de éste análisis fueron usados para estimar los caudales en las laderas orientales de la Cordillera Blanca.

Las estaciones hidrométricas usadas en este estudio fueron Supe, Huarín, Tingo Chico y Lauricocha, las cuales se encuentran en la parte alta de la cuenca del Río Marañón. El caudal promedio diario máximo fue correlacionado con el área de drenaje. De

modo similar a otras regiones, se calculó y ploteó el orden y posición de ploteo para cada punto de los datos adimensionales. Se estimó las posiciones de ploteo usando el método de distribución de Gumbel. En la siguiente Tabla-Resumen, se muestra las relaciones estimadas para varios períodos de retorno:

Cuenca del Alto Marañón
Distribución de Frecuencia

Período de Retorno	Caudal/Caudal Medio
2	0.968
3	1.065
20	1.437
50	1.605
100	1.730
1000	2.145
10000	2.559

Caudal Máximo Diario

La relación entre el caudal medio vs. el área de la cuenca fue:

$$\bar{Q} = 0.385A^{0.693}$$

III.5.1.5 Efectos de El Niño

Bajo condiciones normales (Sin fenómeno de El Niño) los vientos alisios soplan en dirección oeste cruzando el Pacífico tropical. Estos vientos acumulan agua superficial cálidas en el Pacífico Occidental (S.E. de Asia), por lo que la superficie del agua es cerca de 1/2 metro más alta cerca de Indonesia que en la costa occidental de Sudamérica. La temperatura superficial del mar es también mayor en el Sudeste de Asia, comparado con Sudamérica. Las temperaturas más frías de la costa oeste de Sudamérica se deben al afloramiento del agua fría desde los niveles más profundos del océano. La precipitación ocurre sobre el agua más caliente en Asia y, en consecuencia, la Costa Oeste de Sudamérica es relativamente seca.

Durante el período de El Niño, la situación es de modo inverso. Los vientos alisios occidentales se difunden en el Pacífico Central y Occidental, conduciendo a temperaturas del agua más cálidas en el Océano Pacífico, cerca a la Costa Oeste de Sudamérica. Esto produce temperaturas más cálidas en las riberas del Perú creando mayor evaporación y precipitación más arriba de lo normal a lo largo de la costa, generalmente en las zonas del Norte del Perú. Las vertientes de la costa del Perú son desérticas, por lo tanto no tienen una vegetación significativa que pudiera consumir una gran parte del agua. Es por eso que, cuando las capas superficiales se saturan, las lluvias adicionales de El Niño producen una alta escorrentía.

La alta escorrentía de las vertientes de la costa pueden producir daños significativos. Los caudales normales, como puede esperarse, son muy bajos, e incluso algunos cursos de agua permanecen secos por algunos años. Además, la vegetación y las actividades humanas reducen la capacidad del cauce. Los registros investigados para este estudio indican que cuando ocurre una inundación producida por El Niño, los volúmenes de escorrentía pueden alcanzar un nivel 10 veces mayor que el caudal anual medio.

En base a las observaciones de los ríos y cursos de agua de la llanura costera del Perú, estos caudales altos producirían mayor abrasión en los cruces con la carretera, desbordamiento en las ramificaciones del curso y una severa erosión en la riberas. También puede haber una inundación por encima de las riberas y gran cantidad de escombros flotando en los arroyos. Si los escombros se acumulan contra una alcantarilla o un pequeño puente se podría formar un embalsamiento que finalmente podría destruir la estructura.

Existen muy pocos estimados del caudal de El Niño en los registros. Los datos de caudal que existen son muy altos, probablemente exceden la avenida de diseño. Esos puntos también tienden a sesgar el conjunto de datos hacia valores más altos. Durante el período de El Niño, no necesariamente ocurren inundaciones en todas las cuencas del Perú. Es por eso que es probable que no haya ninguna una inundación en una cuenca durante el período de El Niño. Por lo tanto no es posible predecir en forma precisa el volumen de inundación de El Niño ni tampoco su ocurrencia en el tiempo. Debido a esta inexactitud en las predicciones, no es recomendable que las estructuras del cruce sean diseñadas para niveles máximos de inundación que podrían darse durante el período de El Niño. Un medio más económico de diseño podría ser dimensionar la estructura para el evento de diseño normal, y anticipar costos de mantenimiento para eventos de inundación de El-Niño.

III.5.2 Mediciones de Caudal

El Programa de monitoreo de agua superficial en Antamina consiste en tres registradores automáticos del nivel de agua y una estación de monitoreo manual.

III.5.2.1 Descripción de las Estaciones de Monitoreo

Estaciones Automáticas de Monitoreo de Nivel de Agua

En diciembre de 1996, se instalaron tres estaciones automáticas de monitoreo. La estación H-1 fue instalada en la quebrada Juproc, en el puente cerca al kilómetro 48 del camino a Antamina. La segunda estación, H-2, fue ubicada en la Quebrada Ayash, aguas abajo de la confluencia de la Quebrada Tucush. La estación H-3 está localizada en la Quebrada Antamina, aproximadamente a un kilómetro aguas abajo del campamento.

El 16 de enero de 1997, la estación H-2 de la Quebrada Ayash fue dañada por la ocurrencia de un caudal elevado. Esta estación fue entonces trasladada el 1 de marzo de 1997 a un lugar de medición alternativo en la Quebrada Huincush, aguas abajo de la confluencia con la quebrada Ushpajanca, la cual se llamó y Estación H-4. El 22 de marzo de 1997, se instaló un pluviómetro de recipiente basculante fue instalado en esta estación para medir la precipitación y estimar la escorrentía.. El registrador original de datos simple fue reemplazado por un registrador multicanal.

Las tres estaciones automáticas registran información del nivel del agua cada 15 minutos. Estos datos se almacenan en un registrador de datos, el cual tiene una capacidad de almacenamiento de memoria de aproximadamente dos meses y medio. Cada estación consiste en un transductor de presión para medir los niveles del agua, un registrador de datos y una mira de 1 ó 2 metros. Los registradores de datos tienen como fuente de energía una batería de 6 V o de 12 V para la estación de simulación de precipitación/escorrentía. Los niveles de agua registrados están referenciados al medidor colocado en el banco del río.

Estación Manual de Monitoreo del Nivel de Agua

La estación manual de monitoreo del nivel de agua, estación H-5, consiste de un medidor que registra los niveles de agua de la Laguna Antamina. El monitoreo de la variación de los niveles de agua provee una indicación del cambio en el almacenamiento del Lago.

III.5.2.2 Programa de Muestreo

El Programa de Monitoreo fue diseñado para establecer la variación estacional de los caudales dentro de las quebradas. El primer programa de muestreo desarrollado para las Quebradas Antamina y Juproc se ejecutó en diciembre de 1996, y en marzo de 1997 para Huincush.

III.5.2.3 Estimación de los Caudales

Los datos de nivel de agua almacenados en los registradores de datos se pueden usar para calcular descargas mediante una curva de calibración que correlaciona niveles de agua con caudales. Esta curva de calibración fue desarrollada tomando las mediciones de caudal manualmente a varios regímenes de caudal que variaban de caudales bajos a caudales altos. Todos los caudales medidos manualmente fueron usados para desarrollar la relación altura-descarga.

Hasta el momento, no se ha recolectado suficientes datos en las estaciones, para establecer una curva altura-descarga confiable. Por lo tanto, los datos de caudal calculados que se presentan aquí están basados en curvas de altura-descarga preliminares que, a su vez, se basan en los datos recolectados desde diciembre de 1996.

III.6 Calidad de Agua

III.6.1 Metodología

En esta sección se describen los métodos empleados y la estrategia de muestreo para establecer la calidad del agua en condiciones de línea de base en el área de estudio. Estos datos, o línea de base de la calidad del agua, definen el medio de agua dulce existente antes que se inicie la explotación en el lugar. La caracterización de la línea de base se considera como un punto de referencia con el cual se pueden comparar los datos de calidad de agua colectados posteriormente a la explotación propuesta. Para establecer las características de calidad de agua del área del proyecto y zonas aledañas, se consideraron los siguientes objetivos y criterios:

- ▣ se seleccionaron estaciones de monitoreo situadas en ubicaciones estratégicas en los alrededores del área del Proyecto, cubriendo de esta manera tres cuencas principales: Pampa Moruna, Ayash y Callapo (Quebrada Pampa Moruna y Quebrada Callapo convergen formando la Quebrada Carash).
- ▣ se seleccionó la frecuencia de muestreo para definir cambios en la calidad del agua que resulten de variaciones estacionales en las condiciones del flujo;
- ▣ se seleccionaron los parámetros de calidad de agua de tal manera que se incluyeran todos los parámetros regulados por la Ley General de Aguas, aquéllos regulados por el Reglamento de Efluentes Mineros y cualquier otro parámetro que se considere relevante para definir la calidad de agua en el lugar del estudio;
- ▣ para asegurar datos de alta calidad se siguieron rigurosos procedimientos de Control de Calidad / Aseguramiento de Calidad tanto en el laboratorio como en el campo.

III.6.2 Estaciones de Monitoreo

Las estaciones de monitoreo se establecieron para caracterizar la calidad de agua en potenciales cuerpos receptores en el emplazamiento de la mina así como aguas arriba y aguas abajo del área propuesta para el Proyecto. Se establecieron un total de 32 estaciones de muestreo de calidad de agua superficial. Además del muestreo del agua superficial de la línea de base, se muestrearon las descargas en las galerías de exploración en el área de estudio. Durante el estudio de la línea de base, se añadieron algunas estaciones y se discontinuó otros muestreos según los requerimientos del Proyecto.

III.6.3 Frecuencia de Muestreo

La química del agua en los riachuelos, ríos y lagos por lo general varía con el tiempo (estaciones), dependiendo de numerosos factores climáticos/ambientales, pero quizá se ven más influenciadas por las condiciones del flujo. Por lo tanto, es importante para el monitoreo de la línea de base y la posterior evaluación del impacto caracterizar la calidad del agua durante diferentes condiciones de flujo (con particular énfasis durante períodos de flujo extremadamente alto y bajo).

Las muestras de calidad de agua superficial fueron recogidas mensualmente durante la estación de lluvias (noviembre a abril) y bi-mensualmente durante la estación seca (mayo a octubre). No todas las estaciones fueron muestreadas durante el programa de caracterización de la línea de base debido a cambios en el diseño del estudio (en respuesta a cambios en las prioridades producidos durante el estudio). La Tabla 6-1 presenta cada estación y los meses en los cuales se llevó a cabo el muestreo de agua (durante el período comprendido entre agosto 1996 y julio 1997).

Tabla 6-1 Programa de Recolección de Muestras para la Calidad de Agua Superficial

Estación		1996					1997							Total
		Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
AN-01	Laguna Antamina	x	x	x			x	x	x	x		x	x	9
AN-02	Bocamina Nivel 46	x	x											2
AN-03	Bocamina Nivel 50	x	x											2
AN-05	Q. Antamina	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	10
AN-07	Bocamina Nivel F	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	10
AN-08	Q. Juproc		x	x	x		x	x	x	x		x	x	9
AN-09	Q. Usupallares		x	x	x		x	x	x	x		x	x	9
AN-11	Q. Ayash			x	x		x	x	x	x		x	x	8
AN-12	Nv.46+Nv.50			x	x		x	x	x	x		x	x	8
AN-13	Efluente perforaciones			x										1
AN-14 (s,m,p)	Lag. Antamina, del centro				xxx				xxx				xxx	3
AN-15 (s,m,p)	Lag. Shahuanga, del centro				x				xxx				xxx	3
AN-16	Q. Huayau				x		x							2
AN-17	Q. Antamina, cerca a Pampa Moruna						x							1
AN-18	Poza de sedimentación						x	x	x	x		x	x	6
AN-19	Casa de Bombas		x											
AN-20	Blanco	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	10
AN-21	Muestra compartida		AN-07		AN-09		AN-08	AN-05	AN-08	AN-23		AN-08	AN-36	8
AN-22	Duplicado			AN-08										1
AN-23	Q. Huincush							x	x	x		x	x	5
AN-24	Pampa Moruna							x	x	x		x	x	5
AN-25	Q. Ayash, antes del caserío							x	x	x		x	x	5
AN-26	Q. Ayash después de la confluencia							x						1
AN-27	Q. Tucush							x	x	x		x	x	5
AN-28	Q. Yanacancha							x						1
AN-29	Rosita de Oro								x	x		x	x	4

Estación		1996						1997						Total
		Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
AN-30	Q. Ayash, a 2 km del caserío								x	x		x	x	4
AN-31	Laguna Condorcocha									x		x	x	3
AN-32	Laguna Pajoscocha en la zona de descarga											x		1
AN-33	Arroyo Contonga											x	x	2
AN-34	Carash												x	1
AN-35	Laguna Huacacocha cerca a la orilla												x	1
AN-36	Arroyo Ayarache												x	1
AN-37 (s,m,p)	Laguna Condorcocha en el centro												xxx	1
AN-38 (s,m,p)	Laguna Pajoscocha en el centro												xxx	1
Total de Muestras		8	11	11	12	0	13	16	18	17		19	26	157

III.6.4 Parámetros de Calidad de Agua

Las muestras de agua fueron analizadas tomando en consideración diversos parámetros físicos, nutrientes, cianuro total y una serie de metales disueltos y totales. En la Tabla 6-1 se presenta una lista completa de los parámetros de calidad de agua seleccionados para la evaluación de la línea de base. En la Tabla 6-2 también se incluyen los métodos utilizados para el análisis y los límites de detección correspondientes. Los límites de detección típicos en el laboratorio varían durante el curso de un programa de monitoreo dependiendo de una serie de factores (por ejemplo, volumen de la muestra, matriz, rendimiento del instrumento, entre otros). En la tabla presentada a continuación se indican los límites más bajos de detección logrados para todos los parámetros analíticos contemplados para este proyecto.

III.6.5 Procedimiento de Muestreo

La recolección, manipuleo y transporte de muestras de agua requiere protocolos específicos con la finalidad de garantizar la confiabilidad y precisión de los resultados analíticos. Klohn Crippen - SVS desarrolló los protocolos formales del proyecto para la recolección, preservación, manipuleo y transporte de muestras de agua. Para garantizar la confiabilidad y exactitud de los datos analíticos se siguieron rigurosos procedimientos de Control de Calidad/Aseguramiento de Calidad específicos de laboratorio y de campo.

Tabla 6-2 Lista de Parámetros de Calidad de Agua

Categoría	Parámetros	Método	Límite de Detección (*)
Pruebas Físicas	pH	(Métodos Estándares de APHA ¹) Electrodo de Vidrio.	0.1 unidades de pH
	Conductividad	Celda de Conductividad.	1.0 mm/hm
	Sólidos Suspendidos Totales	Gravimétrico.	1 mg/L
	Turbidez	Nefelométrico	0.1 NTU
	Sólidos Disueltos Totales	Gravimétrico,	1 mg/L
	Dureza	Titulación con EDTA	0.05 mg/L
	Alcalinidad (CO ₃ & HCO ₃)	Titulación	1.0 mg/L
	Cloruros	Cromatografía iónica	0.5 mg/L
	Fluoruro	Cromatografía iónica	0.02 mg/L
	Sulfatos	Turbidímetro	1.0 mg/L
Nutrientes	Amonio	Electrodo	0.005 mg/L
	Nitrato	Colorimétrico	0.005 mg/L
	Nitrito	Colorimétrico	0.001 mg/L
	Orto-Fosfato Disuelto	Colorimétrico	0.001 mg/L
	Fosfato Disuelto Total	Colorimétrico	0.001 mg/L
	Fosfato Total	Colorimétrico	0.001 mg/L
Cianuro	Cianuro Total	Destilación/Colorimétrico	0.005 mg/L
Metales Totales y Disueltos	Aluminio	EPA 3005, seguido por EPA 7000, EPA 6010 o EPA 6020 ⁽²⁾	0.001 mg/L
	Antimonio		0.00005 mg/L
	Arsénico		0.00005 mg/L
	Bario		0.00005 mg/L
	Berilio		0.0005 mg/L
	Bismuto		0.0005 mg/L
	Boro		0.001 mg/L
	Cadmio		0.0002 mg/L
	Calcio		0.05 mg/L
	Cromo		0.0001 mg/L
	Cobalto		0.0001 mg/L
	Cobre		0.0001 mg/L
	Fierro		0.01 mg/L
	Plomo		0.00005 mg/L
	Litio		0.001 mg/L
	Magnesio		0.05 mg/L
	Manganeso		0.00005 mg/L
	Molibdeno		0.00005 mg/L
	Níquel		0.0001 mg/L
	Fósforo		0.3 mg/L
	Potasio		2 mg/L
	Selenio		0.0005 mg/L
	Silicio		0.05 mg/L
Plata	0.00001 mg/L		
Sodio	2 mg/L		
Estroncio	0.0001 mg/L		
Talio	0.00005 mg/L		

Tabla 6-2 Lista de Parámetros de Calidad de Agua (continuación)

Categoría	Parámetros	Método	Límite de Detección (*)
	Estaño		0.0001 mg/L
	Titanio		0.01 mg/L
	Uranio		0.00001 mg/L
	Vanadio		0.0001 mg/L
	Zinc		0.001 mg/L
	Mercurio	Espectrofotometría de Absorción Atómica Vapor Frío	0.00001 mg/L

¹ **Parámetros Convencionales en Agua**

Estos análisis han sido desarrollados de acuerdo a los procedimientos descritos en "Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes" (USEPA). "Manual for the Chemical Analysis of Water, Wastewater, Sediments and Biological Tissues" (BCMOE), y/o "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA)

⁰² **Metales en Agua**

Estos análisis se han desarrollado de acuerdo a los procedimientos descritos en "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" Edición 19° 1995 publicada por the "American Public Health Association" y con procedimientos adaptados de "Test Methods for Evaluating Solid Waste" SW-846 publicado por "United States Environmental Protection Agency" (EPA). Los procedimientos pueden incluir un tratamiento preliminar de la muestra por digestión ácida o filtración (EPA Método 3005), seguido por análisis instrumental por espectrofotometría (EPA Método 7000), plasma inductivamente acoplado - espectrofotometría de emisión óptica (EPA Método 6010), y/o plasma inductivamente acoplado - espectrofotometría de masa (EPA Método 6020).

III.6.6 Procedimientos de Laboratorio

Todas las muestras fueron analizadas por Analytical Services Laboratory (ASL) Ltd. de Vancouver, BC. En la Tabla 6-2 se presentan los métodos analíticos para determinar los parámetros de la calidad del agua y sus respectivos límites de detección. ASL proporcionó un sistema completo de Control de Calidad/Aseguramiento de Calidad (ASL 1996) sustentado por un certificado conferido por The Canadian Association of Environmental Analytical Laboratories, Inc. (CAEAL) y acreditado por Standards Council of Canada (SCC), que se basa en ISO/IEC Guía 25 : 1993.

III.7 Biología Acuático

III.7.1 Métodos

Los ecosistemas acuáticos en el área de estudio de línea de base del Proyecto de la Mina Antamina fueron caracterizados a través de una revisión de los mapas topográfico-catastrales del Ministerio de Agricultura del Perú, hojas 20i-I NO y 20i-I-NE (escala 1: 25,000) y el Atlas Geográfico del Perú (ONERN, 1976) así como fotos aéreas (en blanco y negro) tomados para la totalidad del Proyecto Antamina en agosto de 1996 (escala 1:60,000). Durante las campañas de muestreo realizadas en noviembre de 1996 y marzo y julio de 1997, se completaron las observaciones de campo detalladas. Los arroyos fueron examinados en los cruces de puentes y mediante un minucioso recorrido a pie a lo largo de los tramos seleccionados. Las lagunas se examinaron a pie desde la orilla y/o desde dentro, usando un bote inflable con un motor fuera de borda. El punto más profundo fue determinado usando una cuerda pesada y calibrada en incrementos de 1 metro. La información complementaria se obtuvo por fotointerpretación posterior durante las campañas de muestreo.

III.7.2 Plankton (Phytoplankton y Zooplankton)

III.7.2.1 Metodología

En las lagunas el plancton fue muestreado usando una red de plancton (malla de 60 μm). La red fue arrastrada horizontalmente a lo largo de la capa superficial (aproximadamente de 0.5 a 1 m de profundidad), a una velocidad uniforme (aproximadamente 1 a 2 m/s) y por aproximadamente 200 m, desde la orilla al punto central, en dos direcciones. Se tuvo cuidado de no coleccionar material de fondo durante el muestreo en las áreas poco profundas.

Cada muestra duplicada fue transferida a contenedores marcados y las muestras fueron inmediatamente preservadas en alcohol de 40%. Luego, los contenedores fueron sellados y transportados a los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su identificación taxonómica, por especialistas. Se completó un inventario de las especies predominantes, así como una estimación de la densidad de la población por unidad de volumen.

III.7.3 Perifiton

III.7.3.1 Metodología

El muestreo de perifiton fue efectuado solamente en los ríos y los arroyos. En cada punto de muestreo, se seleccionaron y sacaron del agua piedras sumergidas, a varias profundidades. Se utilizó una pieza de tubo plástico de 10 cm de diámetro para definir la superficie de muestreo en cada piedra. Con la ayuda de una espátula plástica, la capa biológica dentro del área de muestreo fue removida, puesta en un frasco plástico y

preservada con alcohol de 70%, para transportarla a los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina. En cada sitio de muestreo, se colectó tres muestras, las cuales se combinaron en un solo frasco. Una vez en Lima, los especialistas determinaron la abundancia relativa y composición de especies. Los resultados permitieron la realización de un inventario de los taxones y especies predominantes, así como la estimación de la densidad poblacional por área superficial.

III.7.4 Macro Invertebrados bentónicos

III.7.4.1 Metodología

Los macro invertebrados bentónicos fueron investigados en los cursos de agua y lagunas. Los métodos de muestreo empleados dependieron del tipo de sustrato en el lugar del muestreo. En el caso de las bases rocosas, una pieza de tubo plástico de 10 cm de diámetro fue usada para definir el área de muestreo, de la cual todos los organismos adheridos a la superficie fueron removidos y depositados en un contenedor marcado. En sustratos de grava, arena y caliza, se colectó aproximadamente 300 ml de muestra la cual fue dispuesta en un contenedor marcado. Las muestras fueron preservadas con 70% de alcohol y transportadas a los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria para su procesamiento, análisis e identificación taxonómica de los organismos predominantes. Además, a partir de los resultados, se determinó la densidad poblacional por unidad de área.

III.7.5 Plantas acuáticas

III.7.5.1 Metodología

La vegetación emergente y subemergente en lagunas y arroyos fue identificada y localizada en mapas. Se recogió especies que no fueron identificadas en el campo, para luego ser preservadas (secadas en papel o puestas en una solución de alcohol 40%) y correctamente etiquetadas para ser transportadas al herbario de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su posterior identificación.

III.7.6 Peces y Recursos pesqueros

III.7.6.1 Metodología

El inventario de peces de las lagunas y arroyos del área del Proyecto Minero inicialmente se basó en los informes de los residentes. A principios de julio de 1997, la presencia y especies de peces en estos cuerpos de agua fue confirmada a través de una detallada campaña de muestreo. Los lugares seleccionados fueron muestreados usando equipos de pesca locales (caña y redes [aproximadamente 10 mm de tamaño de malla estirada]) y redes de fondo.

Ya que los equipos de pesca usados localmente son para capturar especímenes adultos de grandes tamaños, se usó una red de fondo (malla de 2mm) para muestrear especímenes subadultos o muy pequeños. La información que se ha obtenido a la fecha sobre los peces y los recursos pesqueros consisten en un inventario de las especies presentes, un estimado preliminar de su abundancia relativa en los diferentes hábitats y una indicación de la variación estacional.

III.8 Biología Terrestre

El estudio de la flora y la vegetación se basó en una revisión de información ya publicada y en un muestreo sistemático de campo y observaciones directas. El trabajo de campo fue completado durante las tres campañas de muestreo: final de la estación seca (nov. 1996), la mitad de la estación lluviosa (feb. 1997) y la mitad de la estación seca (julio 1997).

El muestreo de las plantas y su identificación "in situ" (donde fue posible) incluyó documentación de su ubicación, hábitat, elevación sobre el nivel del mar, forma y tamaño de la planta y sus características morfológicas externas, entre otros. Ya que las características florales son frecuentemente usadas para la identificación taxonómica, los especímenes con flores y/o frutos fueron recogidos donde estuvieron disponibles.

Los especímenes de plantas fueron colocados entre hojas de papel periódico y rociados con alcohol etílico al 30% para prevenir el deterioro por hongos o bacterias. Las muestras fueron luego empacadas en bolsas de polietileno para su transporte al Laboratorio del Herbario Mol en la Universidad Nacional Agraria La Molina en Lima. En el laboratorio, los especímenes fueron prensados, deshidratados a 40 °C y preservados con una solución de ácido acético y formalina (FAA) para su identificación taxonómica por especialistas.

La caracterización de la vegetación, así como la identificación de hábitats siguió una serie de criterios fisonómicos descritos por Cabrera y Willink (1973), Weberbauer (1945) y Brack (1986). Estos criterios estuvieron basados en la forma de vida predominante de la asociación de plantas, por ejemplo, comunidades de gramíneas altas o gramíneas cortas, matorrales arbustivos, y bosque. Debido a sus especiales características ecológicas, la pradera húmeda y las áreas de humedales (generalmente conocidos como "bofedales" y más localmente como "oconales") fueron definidas como un tipo de hábitat separado.

La cobertura vegetal y la diversidad dentro de las diferentes zonas del área del Proyecto fueron calculadas como parte del inventario de la línea de base, para monitorear los cambios espaciales y temporales en el hábitat. La presencia o ausencia de plantas y su diversidad fueron identificados en transectos predefinidos (100 puntos de muestreo en el caso del bofedal, pasturas, y arbustos achaparrados; y 30 m lineales de extensión en el caso de bosques, arbustos altos y matorral).

La información de cobertura expresa el porcentaje de puntos o distancias cubiertas por la vegetación existente. La diversidad de especies fue estimada usando el Índice de Diversidad de Shannon-Wiener: "H" y sus derivaciones de "e" y "d" desarrollados por Margalef (1977) y Krebs (1990).

$$H = \sum(p_i \times \log_2 p_i)$$

donde :

$$p_i = n_i/N$$

n_i = número de individuos de la categoría "i"

N = número total de individuos colectados

$$e = H_{act} / H_{max} \quad \text{and} \quad d = S/\sqrt{N}$$

donde:

e = uniformidad o equidad

H_{act} = diversidad actual

H_{max} = diversidad máxima

d = abundancia o riqueza

S = número de categorías (especies, género, entre otros)

La evaluación de la flora endémica y protegida supuso una comparación de la lista de especies obtenida en este estudio con la lista oficial de Plantas Endémicas y Protegidas preparada por el Ministerio de Agricultura y administrada por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). Los residentes locales que han visto los cambios naturales y los ocasionados por el hombre en los alrededores, también fueron consultados durante el trabajo de campo.

III.8.1 Fauna

III.8.1.1 Metodología

La fauna está comprendida por los animales silvestres en el Area del Proyecto de la Mina Antamina. Sus hábitats están definidos por las comunidades de plantas identificadas en la sección previa.

El estudio de la fauna estuvo basado en una revisión de la información publicada así como en las observaciones directas e indirectas de la vida silvestre y sus signos (huellas, nidos, deposiciones, carcasas, efectos que causan, usos, etc.), y recuentos personales por residentes locales, particularmente los guías. En el caso de los mamíferos, reptiles, anfibios e invertebrados, la información obtenida a la fecha ha incluido un inventario de las especies predominantes y sus hábitats. La gran abundancia y facilidad de muestreo de las aves ha permitido el tratamiento estadístico de los datos obtenidos.

Las áreas de muestreo para la fauna terrestre incluyeron las mismas áreas evaluadas para la vegetación, así como observaciones incidentales adicionales durante el tránsito entre las áreas de muestreo establecidas.

Aves

Las aves fueron identificadas en el campo, usando binoculares (7 x 35) y guías de identificación ornitológica tales como Koepke (1964), Meyer de Schauensee (1970) y Fjeldsa y Krabbe (1990). También se observó la presencia de aves acuáticas y ribereñas durante el muestreo biológico en las lagunas y arroyos. También se notaron las características, tales como estadio de vida (juvenil, adulto), conducta social, y actividad (alimentación, vuelo, canto, descanso, etc.).

La diversidad de especies y abundancia relativa (de la especie dominante) en cada uno de los hábitats fueron estimados en base a los datos muestreados. Ya que las aves son generalmente los animales más conspicuos y fácilmente evaluados, constituyen un elemento particularmente útil para el monitoreo cuantitativo. Por consiguiente, se calculó la diversidad de especies de aves por hábitat, usando el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H) y sus derivados, el Índice de Equidad (e) y el Índice de Riqueza (d) definido en la sección previa, así como el Índice de Abundancia Relativa al espacio (Sánchez, 1993), que se expresa en unidades de individuos por cada 100 m de recorrido.

Mamíferos

El inventario de los mamíferos y sus hábitats se basó en la búsqueda visual de los animales usando binoculares, donde fue necesario y en sus signos (huellas, deposiciones, nidos, carcazas, etc.) y tipos de hábitats conocidos (cavernas, matorrales, áreas rocosas, pasturas, etc.) durante los viajes a través del área del Proyecto de la Mina, y en más detalle dentro de las áreas de muestreo de flora y de aves.

Dada la relativamente breve duración de cada campaña de muestreo, el estudio de la vida silvestre descansó ampliamente en la documentación de observaciones reportadas por los residentes locales.

Anfibios y Reptiles

El inventario estuvo basado en el examen de hábitats conocidos. En el caso de los reptiles, se examinaron grietas y espacios bajo las rocas. En el caso de los anfibios, se inspeccionaron pozas y otras aguas quietas para ver la presencia de estadios adultos y subadultos, así como los hábitats mencionados para los reptiles. Las observaciones hechas por los residentes locales también fueron registrados.

Invertebrados

Estos organismos que incluyen a insectos, arañas, caracoles, gusanos y otros, fueron documentados por observación directa mientras se viajaba a través del área del Proyecto de la Mina durante todos los otros eventos de muestreo biológico. Adicionalmente, los insectos fueron recogidos en los diferentes hábitats usando una red entomológica. Los insectos muestreados fueron colocados dentro de una cámara letal, montada en placas para el transporte al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en Lima, e identificado por especialistas taxónomos.

Especies endémicas, migratorias y protegidas

Los métodos utilizados para identificar las especies endémicas y las protegidas fueron los mismos que los anteriormente descritos en el caso de la flora. Se evaluó la presencia potencial de especies migratorias comparando los resultados del muestreo y los registros existentes publicados.

III.9 Uso de Tierra

III.9.1 Metodología para la Clasificación del Uso de Tierra en el área de la Infraestructura Lineal

El objetivo de la clasificación en base a la interpretación de datos obtenidos de sensores remotos es obtener información actualizada sobre el uso de tierra a lo largo de los corredores alternativos de transporte y en el área más amplia próxima a la mina. Este estudio se realizó a una escala de 1:100,000. Se escogió esta escala por ser apropiada para una estimación semi-cuantitativa de todas las categorías del uso de tierras a lo largo de las diversas opciones de transporte y en el área de las operaciones mineras. La dimensión del área de estudio y la escala de las imágenes satelitales no permiten una enumeración directa de los campos individuales o las propiedades. El estudio dio como resultado los mapas del uso de tierra y las recopilaciones estadísticas de las clasificaciones de las tierras a través de todas las áreas y de los corredores de infraestructura lineal. También se empleó la información proveniente de estos mapas e imágenes en la sección socio-económica del EIA y en la preparación de los planos para la rehabilitación de diversas instalaciones mineras.

Se examinó el trazado de la alternativa del mineroducto y los caminos empleando imágenes generadas por un Landsat MSS (7 bandas) Thematic Mapper tomadas el 30 de diciembre de 1989. Esta imagen abarca la parte norte del área de estudio de 88,350,000 UTM. Esta información dio como resultado la mejor imagen disponible, relativamente libre de nubes y neblina en la región. Los datos en brutos de la imagen satelital proporcionada por la Eosat Ltd. fueron convertidos de un cassette a un formato de datos en CD por la Corporación Canadiense de Interpretación de Datos obtenidos por Sensores Remotos Radarsat International Ltd. y fue procesada por Klohn-Crippen Ltd. empleando un software EASIPACE desarrollado por PCI Ltd. La información final de la imagen fue convertida a formatos de imágenes TIFF en el Internacional Spheroid de 1924, Datos Provisionales de América del Sur de 1956, proyección 18S de la zona en UTM. El nivel aproximado del terreno en pixel es de 30 metros.

Se crearon tres tipos de subgrupos de imágenes para la clasificación del uso de tierra. Las bandas espectrales 1, 2 y 3 se emplearon para producir imágenes de color natural. Las bandas 2, 3 y 4 se utilizaron para producir una imagen casi infrarroja. Se creó una imagen de índice de un compuesto de vegetación pseudo-coloreada con las bandas 3 y 4. (Índice de vegetación = $500 * (b4-b3)/(b4+b3)$).

La imagen satelital de color natural permitió la identificación de las características topográficas detalladas y los patrones de la cubierta del suelo.

La imagen infrarroja es sensible a la vegetación y a los suelos que retienen humedad, aunque también muestra ciertos detalles topográficos. Las áreas azules en estas imágenes corresponden al suelo y a las rocas, mientras que las áreas marrones y las

rojas representan valores moderados y altos de vegetación y humedad respectivamente.

El índice de vegetación está diseñado para responder lo máximo posible sólo a la vegetación frondosa y sana. El orden de pseudo color empleado en estas imágenes produce colores en las imágenes con tonalidades que van desde el color negro (agua), verde (áreas de escasa vegetación), amarillo y rojo (vegetación moderada) hasta blanco (índice más alto de vegetación).

Se agruparon seis paneles de los tres tipos de imágenes arriba mencionadas en medidas aproximadas del trabajo avanzado correspondientes a los mapas de un escala topográfica de 1: 100,000. Se registraron las dieciocho imágenes satelitales sub-agrupadas con los mapas topográficos. Se trasladaron los alineamientos del mineroducto y los caminos a las capas transparentes junto con las características del uso de tierras. Las características de cultivo tomadas de los mapas topográficos incluían asentamientos, áreas cultivables conocidas, ubicaciones de las minas y lugares arqueológicos. Las características topográficas de los mapas tales como los cursos de los ríos y las tierras escasamente drenadas también se han tomado en cuenta para la interpretación de las clasificaciones del uso de tierras. La clasificación de las áreas asentadas y la ubicación de tierras para minería se obtuvieron de los mapas topográficos.

Cuando fue posible se emplearon fotos aéreas en blanco y negro producidas por el gobierno como ayuda para las clasificación de las tierras. Estas fotos se emplearon en dos escalas, 1:60,000 y 1:15,000.

III.9.2 Limitaciones de la Información en Base a Interpretación de Datos obtenidos por Sensores Remotos para la Clasificación del Uso de Tierras

Las variaciones en los patrones de ángulo solar y sombra en las áreas montañosas como las del estudio, producen cambios significativos en la intensidad de la iluminación en las imágenes. Estas variaciones significaron que cualquier clasificación espectral simple basada en la respuesta a color percibido sería limitada, en cuanto a exactitud y las áreas donde se aplicaron. Las grandes variaciones en la elevación de las áreas de estudio cambiaron también las escalas locales efectivas de la imagen relativa a los mapas en UTM. Se apreciaba neblina en mínimas partes de algunas de las imágenes lo que interfirió en la generación directa del índice de vegetación.

La pruebas de los algoritmos de clasificación automatizados supervisados y no supervisados revelaron discrepancias entre los resultados y la información de terreno existente cuando se aplicó el método a una serie de condiciones existentes en toda el área de estudio. Como resultado, se decidió proceder con el estudio interpretativo para clasificar una gama más completa de usos de tierras. El método de inspección visual adoptado para las imágenes y la correlación del índice de vegetación con el NIR, el

verdadero color y la información del mapa permitieron una clasificación subjetiva y más exacta basada en criterios más amplios e información adicional y no simplemente características del espectro. Este método es similar a las metodologías tradicionales de interpretación de fotos aéreas.

La imagen Landsat interpretada fue una herramienta efectiva de mapeo regional para la clasificación del uso de tierra especialmente cuando se combinó con la información existente de mapas y del terreno.

III.10 Arqueología

III.10.1 Métodos de Investigación del Sitio

A fin de realizar la evaluación arqueológica, se llevó a cabo una revisión de la literatura arqueológica en los alrededores del área del proyecto. La investigación incluyó lo siguiente:

- ☒ una revisión de los archivos del INC buscando cualquier información referente a los estudios arqueológicos y a los sitios ya registrados;
- ☒ interpretación de fotografías aéreas; y
- ☒ comunicaciones personales con otros arqueólogos que han trabajado en la región, respecto a estudios recientes realizados en áreas adyacentes.

Después de la revisión, se realizó una serie de visitas al sitio. A lo largo del camino y de los corredores de las líneas de transmisión, las investigaciones se concentraron dentro de los 100 m. de las rutas propuestas. Cualesquier áreas que podrían verse perturbadas por el desarrollo del proyecto fueron directamente delimitadas durante una o más visitas al sitio. Las inspecciones del sitio han sido realizadas utilizando las siguientes técnicas:

- ☒ Revisión de fotografías aéreas: Utilizando pares estereoscópicos de fotografías aéreas en blanco y negro a una escala de 1:10,000, con el objetivo de identificar los sitios arqueológicos, así como las zonas de circulación probables o las zonas de similitud ecológica-económica que podrían indicar un uso prehispánico potencial.
- ☒ Inspección visual del área y de los alrededores: Con la intención de identificar los sitios arqueológicos pertinentes en el área, así como las condiciones geográficas y ambientales que podrían favorecer los asentamientos humanos (por ejemplo, canteras, cuevas y áreas de pastoreo que podrían indicar actividades de un cazador).
- ☒ Observación de secciones y perfiles: Se emplearon las secciones expuestas creadas por las construcciones de caminos, los socavones, los acueductos y otras obras de ingeniería para identificar las características arqueológicas subterráneas.
- ☒ Entrevistas: Cada vez que fue posible, se consultó a la población local sobre la presencia de sitios arqueológicos en los alrededores.

Todos los sitios arqueológicos que fueron descubiertos se registraron de acuerdo con las Normas de Exploraciones y Excavaciones Arqueológicas – Resolución Suprema 559-85-DE. Las ubicaciones de los sitios fueron confirmadas utilizando un sistema de posicionamiento global de mano (GPS) y los mapas emitidos por el Instituto Geológico Nacional. Todas las mediciones del GPS fueron tomadas en el centro aproximado del sitio arqueológico.

III.10.2 Criterios para Determinar la Importancia de los Sitios Identificados

Cualquier objeto que indique actividad social es significativo para la arqueología. Esto significa que cualesquier restos materiales, ya sean pequeños o monumentales, serán siempre una fuente confiable para determinar el desarrollo histórico del Perú.

No obstante, los sitios arqueológicos pueden ser clasificados de acuerdo con los siguientes factores:

- ☑ Volumen de información suministrada por el contexto arqueológico y las asociaciones que pueden ser interpretadas. Este factor es el más importante puesto que a través de él, se puede enfocar con certeza el proceso histórico de la nación.
- ☑ Grado de preservación en el que se registra el sitio y los materiales que se encuentran en él. El grado de preservación varía de excelente a muy deficiente.
- ☑ Tamaño y área ocupada por el sitio y sus alrededores.
- ☑ Nivel del impacto potencial (nulo, parcial o integral) del proyecto minero sobre el sitio.

En base a estos criterios y los datos recolectados, se evaluó la importancia de los sitios utilizando la siguiente clasificación:

- ☑ Extremadamente importantes: Estos son los sitios que proporcionan una gran cantidad de datos de las asociaciones de objetos y el contexto, a lo cual se puede añadir el grado de preservación, el tamaño del sitio y el nivel del impacto.
- ☑ Importantes: Su contribución de datos es regular ya que el contexto y la asociación sigue siendo incierta pero sí tiene un grado de preservación, tamaño y nivel de impacto.

- ☒ Medianamente Importantes: Su contribución a nivel del contexto y asociación sigue siendo incierta. El grado de preservación es regular y ha sufrido un impacto relativo.
- ☒ Poco importantes: La contribución de datos a nivel del contexto y asociaciones es mínima y su grado de preservación es deficiente.