

ANEXO GENERAL G-IV INFORMACIÓN REGIONAL

ANEXO GENERAL G-IV.1 GEOLOGÍA Y FISIOGRAFÍA

INDICE

Página

IV. DATA REGIONAL	1-1
IV.1 Geología Regional.....	1-1
IV.1.1 Fisiografía y Geología Regional.....	1-1
IV.1.2 Geología Local y Mineralogía	1-7
IV.1.3 Sismicidad	1-8

TABLAS

Tabla 1-1 Secuencia de las Unidades Litoestratigráficas.....	1-6
Tabla 1-2 Lista Histórica de los Terremotos Destructivos que Afectaron laRegión	1-9
Tabla 1-3 Lista de Temblores y Terremotos Registrados en los Alrededores del Proyecto de Antamina de 1963 a 1994.....	1-11
Tabla 1-4 Estimados de la Aceleración de la Tierra según Determinación de las Probabilidades para Diversos Períodos de Retorno	1-11

MAPAS

Mapa G-IV.1-1	Fisiografía
Mapa G-IV.1-2	Geología Regional

IV. DATA REGIONAL

IV.1 Geología Regional

IV.1.1 Fisiografía y Geología Regional

Esta sección brinda una descripción de la fisiografía regional y medio geológico del Proyecto Antamina.

IV.1.1.1 Fisiografía

Las siguientes descripciones se basan en la información de mapas topográficos, observaciones de campo y los estudios geológicos de Cobbing et al. (1981), Cobbing et al. (1996), Cobbing Y Sánchez (1996a), Cobbing Y Sánchez (1996b), Palomino (1997) y Tovar (1996). El mapa G-IV.1-1 muestra la fisiografía de la región.

Flanco Este de la Cordillera Blanca

Antamina se ubica en los Andes centrales occidentales, en el flanco este de la Cordillera Blanca, al extremo sureste de la Cuenca del Marañón¹. El área se caracteriza por poseer una topografía muy abrupta con altitudes que varían entre 3,400 y 4,800 m.s.n.m.². La morfología actual es el resultado de los procesos glaciales del Pleistoceno, que tallaron los valles característicos en forma de U (es decir, flancos escarpados y fondos planos). En esta área, la morfología está controlada por la litología. Las cumbres y flancos escarpados están formados por caliza masiva proveniente de la Formación Jumasha. Los valles consisten en esquistos y margas de la Formación Celendín que son más susceptibles al intemperismo y la erosión. Los valles más anchos con dirección noroeste-sureste muestran un suave relieve ondulante que es típico de la erosión glacial. Los fondos de los valles contienen depósitos glaciales compuestos de pequeñas morrenas laterales y frontales.

Las lagunas que se encuentran entre Antamina y Huansalá son relativamente pequeñas y se forman en glaciales, depresiones y valles donde el patrón de drenaje natural ha sido bloqueado por morrenas y material coluvial. Cerca de la mina, existen varias lagunas, incluyendo la Laguna Antamina, Laguna Condorcocha, Laguna Huacacocha y Laguna Shahuanga. La Laguna Canrash, laguna relativamente grande localizada aproximadamente 15 km al sur de Antamina, probablemente estuvo ubicada en una antigua depresión glacial.

El área de la mina se caracteriza por poseer hileras de cumbres y valles con dirección noroeste-sureste. La Laguna Antamina está flanqueada por el valle Pampa Moruna al suroeste y el valle Tucush al noreste. Entre estos valles, yace una zona de cumbres

¹ Cuenca del Marañón: unidad o bloque cortical, alargado y de depresión relativa que limita con fallas en sus partes laterales y cuyo nombre se debe al río que lo cruza.

² m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar

abruptas que comprende al Cerro Jatunpunta, Cerro Buque Punta y Cerro Platagaga (Mapa G-IV.1-1). La Quebrada Antamina cruza esta línea de cumbres en dirección noreste-suroeste.

El valle que comprende la Laguna Antamina y la Quebrada Antamina es un valle típico de depresión glacial. El tajo abierto propuesto y el Botadero de Desmonte Sur se ubicarán en este valle, el cual tiene rumbo noreste-suroeste y drena hacia el suroeste. Las cumbres alrededor de la laguna alcanzan los 4,700 m.s.n.m.; la más alta de ellas, ubicada al sureste, tiene una altitud de aproximadamente 4,800 m.s.n.m. De una cumbre a otra, el valle tiene aproximadamente 1,750 m de ancho y su longitud es de aproximadamente 3,875 m. Sobre los 3,000 m, el valle tiene una gradiente de 9% y su elevación en el fondo varía entre los 4,400 y 4,100 m.s.n.m. Luego, el valle empieza a profundizarse rápidamente hacia un cañón, con taludes laterales de 25°, hasta que la Pampa Moruna corta transversalmente el valle en dirección sureste-noroeste aproximadamente a 3,700 m.s.n.m. La roca madre existente bajo el valle Antamina está comprendida por la Formación Jumasha y un intrusivo de monzonita cuárstica.

En el otro lado, el valle Tucush está totalmente controlado litológicamente y sigue una dirección noroeste-sureste. La planta se ubicará en el valle Tucush. Este estrecho valle tiene aproximadamente 1,875 m de ancho y 3,750 m de largo con una gradiente aproximada de 8%. El fondo del valle desciende desde los 4,300 m.s.n.m. hasta los 4,000 m.s.n.m. en dirección sureste. El valle en sí está compuesto por esquistos y margas de la Formación Celendín, flanqueados por la caliza Jumasha. Al noreste del valle Tucush, la Formación Jumasha presenta muchas cuevas visibles, sumideros y otras características cársticas.

El valle Huincush también se localiza en la Formación Celendín, y está flanqueado por las calizas Jumasha, teniendo una dirección sureste-noroeste. Este valle sería la ubicación del depósito de relaves propuesto y el Botadero de Desmonte Este. El valle tiene aproximadamente 3,450 m de ancho y 3,500 m de largo y se caracteriza por tener una pendiente de 3%. Sobre los 4,400 m.s.n.m. al suroeste, se observa taludes laterales de 19° que consisten en caliza cárstica de Jumasha. En la elevación más baja y al noreste los taludes buzan aproximadamente 7°. Estos taludes planos son principalmente el resultado de la erosión glacial. Los esquistos y margas de Celendín subyacen a las calizas Jumasha en el lugar propuesto para el depósito.

El valle Ayash comienza en el cruce de los valles Tucush y Huincush, y desciende hacia el depósito de relaves propuesto. En este punto, es un valle estrecho que cruza la caliza Jumasha al SSO-NNE. El fondo es de aproximadamente 300 m de ancho, a 4,000 m.s.n.m., con taludes laterales de 27° que están sobre los 400 m de altura. En los alrededores del pueblo de Ayash (ubicado en el valle Ayash), el valle cambia su dirección a suroeste-noreste, y se ensancha para luego estar controlado litológicamente por un anticlinal formado por el Grupo Golarisquizga y la Formación Pariahuanca.

Cordillera Blanca

La ruta propuesta para el transporte del concentrado va desde Huansalá, pasando por la divisoria continental, el Parque Nacional Huascarán y desciende hasta Antagara, en la cuenca del Río Santa. Las elevaciones en esta sección se encuentran entre los 3,500 y 4,600 m.s.n.m. El camino atravesaría la Cordillera Blanca, por una distancia aproximada de 8 km, entre altitudes de 4,200m y 4,600 m.s.n.m., a lo largo del Valle Conde.

La morfología muestra fuertes signos de actividad glacial. El Valle Conde tiene la típica forma en U con un fondo plano y flancos escarpados con residuos de las cimas de las montañas (valles glaciales). La pendiente del valle es baja, aproximadamente 7%. El camino propuesto no cruzaría ningún área glaciada.

Cuenca del Río Santa

El flanco occidental de la Cordillera Blanca es parte de la cuenca del Río Santa. En el área el camino que cruza el valle sigue un rumbo SSE-NNW y es de aproximadamente 20 km de ancho. El valle es asimétrico. El flanco occidental de la Cordillera Blanca es alargado y plano. En contraste, el otro lado del valle, que es el flanco este de la Cordillera Negra, es escarpado. El patrón de drenaje del Río Santa tiene forma de pluma y sus tributarios en el flanco occidental de la Cordillera Blanca son sub-dentríticos. Finalmente, la vertiente del Río Santa desemboca en el Océano Pacífico.

El flanco occidental de la Cordillera Blanca se caracteriza por poseer un excepcional depósito de morrenas que va desde la Cordillera Blanca hasta las terrazas del Río Santa, a una distancia de aproximadamente 14 km. A lo largo del camino, el flanco occidental comienza en el valle Queracocha. El valle está completamente dividido en material morrénico y tiene aproximadamente 10 km de largo, 2 km de ancho y 650 m de profundidad. El fondo del valle es plano y está lleno de depósitos glaciofluviales, con una pendiente aproximada de 8% y se ubica entre los 3,850 y 3,950 m.s.n.m. El ángulo de talud de sus flancos es de aproximadamente 28° hasta una altitud aproximada de 4,100 m.s.n.m. Sobre esta elevación, los taludes se aplanan, marcando una superficie bien erosionada. El material morrénico es susceptible a la falla del talud que, en forma característica, reanuda la superficie erosiva preexistente ya mencionada. La base de una falla de talud mayor bloquea la parte superior del valle, formando la Laguna Queracocha de aproximadamente 2 km de largo por 600 m de ancho.

Puerto de Huarmey

A una escala regional, la fisiografía se caracteriza por la variación de la topografía, la cual contribuye a la formación de una serie de paisajes bien diferenciados. Estos paisajes pueden dividirse en dos categorías mayores: áreas costeras y montañosas.

El área norte del lugar propuesto para el proyecto corresponde a un paisaje costero. Esta zona costera comprende principalmente desiertos de bajo relieve que se extienden desde la línea costera de la Carretera Panamericana Norte hacia el este. Como es

común en la costa peruana, un valle ribereño que atraviesa el desierto forma un cono aluvial. El paisaje en esta zona aluvial se caracteriza por la presencia de materiales depositados en agua y antiguos lechos de ríos. En la parte superior del valle del río, las terrazas también son parte de este paisaje, mientras que en la parte inferior del valle, el terreno es ondulado y está altamente afectado por el hidromorfismo. Además, se puede apreciar la presencia de un nivel freático cercano a la superficie del suelo en áreas bajas, así como las aguas subterráneas que se dirigen hacia la superficie en las depresiones.

En contraste a este paisaje costero, un área montañosa yace al este del lugar propuesto para el proyecto. Dicha área se ubica en las colinas de la Cordillera de los Andes, la cual marca el comienzo de un sistema montañoso que se extiende sobre varios cientos de kilómetros tierra adentro hasta el área denominada Tierras Altas Peruanas con algunos picos con más de 5,000 m.

IV.1.1.2 Geología Regional

La geología regional puede caracterizarse en términos de rocas sedimentarias que se encuentran en el flanco este de la Cordillera Blanca y por las rocas predominantemente volcánicas e intrusivas, las cuales aparecen en la cuenca del Río Santa (que incluye el flanco occidental de la Cordillera Blanca).

Flanco Este de la Cordillera Blanca

Las rocas sedimentarias ubicadas en la zona de transición entre la Cuenca Chavín (miogeosinclinal³) y la cuenca del Marañón (geoanticlinal⁴) dominan la geología regional en el flanco este. El mapa G-IV.1-2 es un mapa geológico del área, preparado a partir de la información presentada en los mapas publicados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico de Perú. A continuación se describen las diferentes formaciones reconocidas en el área del emplazamiento de la mina propuesta, desde las más reciente hasta la más antigua, (también están representadas en la Tabla IV-1):

- ▣ Formación Celendín, (Ks-ce): Margas⁵ calcáreas nodulares, pobremente estratificadas, de color amarillo plumizo, con intercalaciones de caliza, esquistos de barro plomo y margas. La formación tiene un grosor de aproximadamente 500 m y se observa como un centro de sinclinales con rumbo noroeste-sureste. La Formación Celendín es concordante con respecto a la Formación Jumasha.

³ Miogeosinclinal: un ladeamiento móvil descendente de la corteza terrestre, ya sea alargado o en forma de cuenca, medido en kilómetros, que se hunde como sedimentos acumulados por densidad de miles de kilómetros.

⁴ Geoanticlinal: una estructura anticlinal que se desarrolla en sedimentos geosinclinales debido a la compresión lateral.

⁵ Marga : una caliza intemperizada impura.

- ☒ Formación Jumasha, (Ks-j): Caliza gris masiva compuesta por estratos de aproximadamente 1 a 2 m de grosor. Esta formación resistente al intemperismo tiene un grosor menor que 700 m y se presenta como cadenas sobresalientes y elevadas. La Formación Jumasha es cárstica, contiene numerosas cuevas y sumideros, y es concordante con la Formación Pariatambo.
- ☒ Formación Pariatambo, (Ki-pt): Margas de color marrón oscuro con intercalaciones de caliza con esquistos de color marrón. La formación tiene aproximadamente 100 m de grosor y es concordante con la Formación Pariahuanca.
- ☒ Formación Pariahuanca, (Ki-ph): Caliza masiva de color plomo azulado, con estratos de 1 a 2 m de grosor. La formación tiene aproximadamente 100 m de grosor y sobreyace en concordancia con la Formación Carhuaz.
- ☒ Grupo Goyarisquizga no diferenciado: Areniscas friables de color blanquecino, con estratificaciones transversales de 2 m de grosor o menos en ciertos casos, con intercalación de esquistos y lodolitas interestratificadas. Este grupo es el equivalente de las tres formaciones mencionadas a continuación que no podrían mapearse individualmente en una escala regional.
- ☒ Formación Carhuaz, (Ki-ca): Se observan lutitas litificadas de color gris a gris verdoso, con algunos inerestratos de areniscas. La formación es de aproximadamente 600 m de espesor y es concordante con la Formación Santa.
- ☒ Formación Santa, (Ki-s): Se puede observar caliza de color azul grisáceo, con estratos de 0.1 a 1 m de espesor, con nódulos horstenos grises a blancos. La formación tiene aproximadamente entre 100 y 150 m de espesor y es concordante con la Formación Chimú.
- ☒ Formación Chimú, (Ki,ch): Arenisca de color blanco a blanco rojizo en láminas de aproximadamente 1 a 3 m de grosor. La formación tiene un grosor aproximado de 100 m.
- ☒ Formación Oyón, (Ki-o): Arenisca parda y basáltica de fino grano y de color gris oscuro, con inserciones de esquistos de barro y carbón (lignita).
- ☒ Formación Chicama, (Js-ch): Esquistos grises y areniscas.

Tabla 1-1 Secuencia de las Unidades Litoestratigráficas

Sistema		Unidad Litoestratigráfica
Cuaternario		Depósitos de morrenas fluvio-glaciales
Cretáceo	superior	Formación Celendín, (Ks-ce) Formación Jumasha, (Ks-j)
	inferior	Formación Pariatambo, (Ki-pt) Formación Pariahuanca, (Ki-ph) Grupo Goyarisquizga: Formación Carhuaz, (Ki-ca) Formación Santa, (Ki-s) Formación Chimú (Ki-ch) Oyon Formation, (Ki-o)
Jurásico	inferior	Formación Chicama, (Js-ch)

Tanto los contactos geológicos como las estratificaciones regionales tienen rumbo noreste-sureste. El plegamiento, fallamiento y erosión dieron como resultado la variación del grosor de las unidades geológicas en todo el lugar. Como resultado del plegamiento y fallamiento a gran escala, el buzamiento de los niveles de estratificación es de 15° a 75°. Se registró tanto el buzamiento hacia el noreste como el buzamiento al suroeste.

Se propuso una sinclinal regional para el área (Cobbing y Sánchez, 1996; Tovar, 1996). Una sinclinal regional es consistente con los cambios en buzamiento de la Formación Celendín dentro del área destinada al depósito de relaves. Una consecuencia de la sinclinal regional es que Jumasha subyace a toda la cuenca del depósito de relaves en cierta profundidad. Por otro lado, Palomino (1997) postuló un serie de fallas inversas y buzamientos en dirección opuesta, lo que explicaría el afloramiento descendente de antiguas formaciones.

La evidencia de la actividad tectónica se muestra mediante plegamientos y fallamientos que alteran la roca madre y están preferencialmente orientadas en dirección sureste-noreste. La zona de transición entre las cuencas de Chavín y del Marañón se caracteriza por una fuerte imbricación⁶ que consiste en una serie de capas de roca sedimentarias del Cretáceo que se recubren unas a otras debido al sobrecurrimiento, dando lugar a una repetición de la secuencia del Cretáceo. La secuencia cretácea se repite hasta cuatro veces en una distancia de 20 km.

La monzonitas han intruido estas formaciones sedimentarias desde el período Terciario Inferior, originando un metamorfismo de contacto.

⁶ Imbricación: Adaptación para un recubrimiento, inclinado y empinado, de capas de fallas inversas a manera de tejas en un techo.

Los depósitos cuaternarios se esparcen en toda el área. Dichos depósitos se han originado por procesos glaciales, fluvio-glaciales, aluviales y coluviales y han cubierto parcialmente la roca madre. En el valle Tucush, se descubrió que este depósito normalmente tenía un grosor de 4 m y localmente hasta 10 m.

Cuenca del Río Santa

En la cuenca del Río Santa, la roca madre está formada principalmente de rocas del Grupo Calipuy, el cual se describe a continuación:

Grupo Calipuy, (PN-ca2, P-cal)): secuencia de tufas lapilli, brechas y flujos de lava de composición dacítica a andesítica.

El flanco occidental de la Cordillera Blanca subyace a un gran depósito de morrenas que se extiende desde lo alto del Parque Nacional Huascarán hasta el Río Santa. Las morrenas consisten en mezclas heterogéneas, no consolidadas y no estratificadas de arcilla, limo, arena, grava, cascajos y ocasionales bolones.

En el suelo del valle Santa, los depósitos Cuaternarios están compuestos de material aluvial del Río Santa que está retrabajado principalmente con material glacio-fluvial.

IV.1.2 Geología Local y Mineralogía

Antamina es un depósito polimetálico de reemplazo de contacto metasomático⁷ causado por una monzonita intrusiva que condujo a la formación de skarn mineralizado en la caliza circundante. Este skarn con dirección suroeste-noreste tiene 2.5 km de longitud y 1 km de ancho y un rango vertical de por lo menos 900 m. Los contactos con monzonita usualmente son bien definidos, pero pueden ser gradacionales, dependiendo de la ley del mineral. Los contactos con caliza son definidos, aunque localmente, algunas zonas de skarn de forma irregular salen del cuerpo principal a lo largo de planos favorables.

La Formación Jumasha tiene un cantidad significativa de carst mientras que la Formación Celendín Inferior tiene menor cantidad de carst en el área del depósito de relaves. La formación de carst en Jumasha se presenta a lo largo de la estratificación y parece ser carst vadoso⁸. Dentro de la vista de planta del depósito de relaves y aguas abajo, existen características de carst del orden de 1 a 2 m de diámetro. Las depresiones en la Formación Jumasha al norte y este del depósito de relaves podría interpretarse como características de colapso de carst.

⁷ Metasomatismo: Proceso de reemplazo mineralógico debido a la presencia intersticial de líquidos o gases con poros químicamente activos contenidos en el cuerpo de la roca o introducidos a partir de fuentes externas, que comúnmente se presentan en volumen constante, con una ligera alteración de las características de la estructura o textura.

⁸ Carst vadoso: carst que se presenta sobre el nivel de las aguas subterráneas.

La monzonita se presenta en diques y capas intrusivas, como en la mayoría de los cuerpos masivos. La intrusión principal parece estar centrada debajo y al suroeste de la laguna Antamina. Tiene aproximadamente 0.3% de Cu, por lo cual no se considera de valor económico. Por lo tanto, en el contexto minero se considera como diluyente o desecho.

El skarn está compuesto de granate, sulfuros y magnetita, y de menores cantidades de minerales como diópsido, actinolita, clorita, epidota y calcita. Los sulfuros son la calcopirita, esfalerita y pirita y con menor cantidad, molibdenita, galena y diversas sulfosales. Se distinguen dos zonas mineralizadas. Los dos tercios centrales adyacentes al cuerpo intrusivo se caracterizan por la presencia de calcopirita, pirita y molibdenita. Una capa externa que representa un tercio del depósito contiene esfalerita, calcopirita, pirita y galena en menores cantidades. Se ha designado a estas dos zonas como: una zona sólo de Cu, que contiene el 67% de la mineralización, y una zona Cu-Zn que contiene el 33% de la mineralización.

Los elementos de interés económico son el cobre, zinc, plata, molibdeno, y algo de bismuto. Otros elementos presentes como el arsénico y el plomo son de preocupación ambiental.

Existe una zona de oxidación que no ha sido bien desarrollada y que se extiende a una profundidad de 30 a 40 m desde la superficie. La mineralización de esta zona se estima en 20% de sulfuros y 80% de óxidos.

IV.1.3 Sismicidad

Sismicidad Regional

El Proyecto de Antamina se ubica en una área altamente sísmica. La actividad tectónica se manifiesta en temblores y terremotos con hipocentros poco profundos (a unos cuantos kilómetros de la superficie) y con hipocentros profundos (de hasta 700 km). Los terremotos profundos están relacionados a la subducción de la Placa de Nazca, bajo la Placa Continental de América del Sur. Los terremotos poco profundos se relacionan con las fallas regionales (zonas de sismicidad).

De acuerdo al mapa de regiones sismo-tectónicas (Mapa Preliminar de Regionalización Sismotectónica, Intensidades Máximas Posibles, Instituto de Geofísica del Perú) el flanco oriental de la Cordillera Blanca pertenece a la zona sísmica activa donde se presentan terremotos de 9 o más unidades en la escala modificada de Mercalli.

Los terremotos más destructivos que afectaron el área de Huaraz y Huarmey se presentan en la Tabla IV-2.

Tabla 1-2 Lista Histórica de los Terremotos Destructivos que Afectaron la Región

Año	Día-Mes	Intensidad Máxima Observada en la Escala Modificada de Mercalli
1725	06.01	VIII
1946	10.11	VIII-IX
1956	18.02	VII
1963	24.09	VII
1970	31.05	VIII-IX

El esfuerzo regional medido parece mostrar el menor esfuerzo principal en una dirección aproximada N 11°E. Esta condición de esfuerzo indica tanto la influencia de las placas convergentes (subducción de las Placas de Nazca bajo la Placa Continental de América del Sur) como la topografía andina. Las actividades normales de fallamiento reactivaron antiguas fallas inversas en el período Cuaternario, en la zona de Fallas de la Cordillera Blanca y recientemente en la Falla Quiches.

Las fallas activas conocidas en la región incluyen las Fallas de la Cordillera Blanca y la Falla Quiches. La Cordillera Blanca tiene una longitud aproximada de 200 km. Está cubierta por una capa de nieve y se extiende entre las latitudes 8.5° y 10.3°S. La zona de fallas de la Cordillera Blanca tiene un rumbo N40°O y un buzamiento hacia el sur y suroeste de 70° a 90°. Se caracteriza por poseer una de las pendientes topográficas más escarpadas en los Andes: un cambio de elevación de 4.5 km a una distancia de 15 km. Se ha observado un fallamiento típico de la era Cuaternaria en la Cordillera Blanca. Los promedios de desplazamiento de 2 mm/año en los últimos 13,000 a 14,000 años se han documentado en base a datos obtenidos de trincheras. En la actualidad, no se ha reconocido fallas inversas reactivadas a lo largo de la Cordillera Blanca. Sin embargo, no puede excluirse la posibilidad de que las fallas normales en la región actualmente representen fallas inversas reactivadas, hasta que se disponga de más información sobre la superficie de la región.

El terremoto de Ancash en 1946 fue un sismo de fallas normales intracontinental muy significativo a lo largo de la Falla Quiches. El terremoto de Ancash ocurrió 80 km al noroeste de la mina en un área de geología similar. Esto muestra cómo las fallas normales se desarrollan en un régimen predominante de compresión. Bellier et al. (1991) determinó la magnitud de 7.0 ± 0.1 (Mw). El análisis estructural indica una dirección de esfuerzo principal mayor, y varias direcciones de esfuerzo principal menor (N27°E) e intermedios casi horizontales (N64°W). También se descubrieron evidencias de un evento sísmico ocurrido en el Pleistoceno Inferior (mayor que 13,000, \pm 1,000 años antes) con una magnitud similar a la del evento de 1946.

Los esfuerzos tectónicos entre el Período Cretáceo y Terciario tenían una dirección suroeste-noreste y condujeron al actual sistema complejo de sinclinales, anticlinales,

fallas inversas, etc. Las principales fallas inversas tienen una dirección noroeste-sureste y se presentan justo al suroeste y noreste del lugar propuesto para el depósito de relaves de Antamina. Actualmente, el área está atravesando un período de levantamiento que reduce el esfuerzo en las fallas inversas y podría conducir a un reaparecimiento de fallas normales a lo largo de las antiguas fallas inversas.

Se realizaron evaluaciones de determinación y probabilidad de sismicidad del lugar para el estudio de factibilidad. Se seleccionaron dos escenarios de diseño de sismo máximo creíble en base a la evaluación determinística del medio sismotectónico y geológico: 1) un evento cortical de magnitud 7 (Mw) en la parte superior de la Placa Sudamericana con una aceleración máxima de 0.4 g 2) y un evento de subducción entre las placas de magnitud 8.5 (Mw) en la interfase entre las Placas de Nazca y de América del Sur con una aceleración máxima de 0.2 g.

Desde 1963, el Perú ha tenido instrumentación confiable para registrar los movimientos sísmicos. En base a la información instrumental contenida en el Catálogo Sísmico de NGDC/NOAA (Centro de Información Geofísica Nacional / Administración Atmosférica y Oceánica Nacional) de los Estados Unidos de América se realizó una evaluación de riesgo sísmico. Se registró un total de 17 eventos con una aceleración mayor que 0.05g en el período de 1963 a 1994 (31 años) en un radio de 500 km del proyecto (Tabla 1-3). Con el propósito de calcular la aceleración máxima de tierra, se utilizó las fórmulas de atenuación de Casaverde y Vargas para los sismos asociados a las fallas locales. Para los eventos sísmicos asociados a las fallas continentales, se emplearon las fórmulas de atenuación de McGuire.

La información contenida en la Tabla IV-3 indica que el área es altamente sísmica. Los más grandes terremotos se registraron el 31 de mayo de 1970 y el 11 de enero de 1986, con aceleraciones de tierra de 0.22 g y 0.14 g, respectivamente.

Se realizó la evaluación probabilística de sismicidad del lugar para tres períodos de retorno (100 años, 475 años y 1,000 años). Los resultados obtenidos para este estudio se comparan a los obtenidos en otros. El hecho de que el valor de Aceleración de Tierra Máximo seleccionado para el evento cortical por el método determinístico sea comparable al obtenido por el método probabilístico con un período de retorno de 1,000 años, puede relacionarse a la periodicidad de actividades sísmicas en la región. La Tabla IV-4 muestra los resultados de este estudio.

Tabla 1-3 Lista de Temblores y Terremotos Registrados en los Alrededores del Proyecto de Antamina de 1963 a 1994

Año	Mes	Día	Latitud	Longitud	Profundidad (km)	Mb	Ms	O.M.	M.L.	A ¹ >0.05 g
1963	Set.	17	10.600 S	78.200 W	0			6.75		0.09
1966	Oct.	17	10.740 S	78.630 W	38			6.30		0.05
1970	May	31	9.176 S	78.823 W	43		7.8			0.22
1970	May	31	9.150 S	78.830 W	48		0	6.40		0.07
1970	May	31	9.930 S	78.460 W	54			6.00		0.06
1970	Jun	1	9.240 S	77.590 W	34			5.20		0.09
1970	Jun	1	9.160 S	77.540 W	45			4.80		0.06
1973	Mar.	17	9.627 S	77.788 W	74	4.60				0.05
1974	Oct.	3	12.265 S	77.795 W	13					0.09
1978	Feb.	15	9.635 S	78.050 W	62	5.30	7.6			0.06
1985	Ag.	21	9.160 S	78.877 W	45	6.10	0	6.00		0.05
1985	Ag.	21	9.159 S	78.887 W	57			6.30		0.06
1985	Ag.	21	8.500 S	78.200 W	33	6.10				0.06
1985	Ag.	21	9.200 S	78.200 W	96			6.30		0.07
1986	Ene.	11	9.514 S	77.495 W	51	5.40		4.50		0.14
1989	Abril	20	9.080 S	78.660 W	60	6.10		5.60	125.5	0.06
1989	Nov.	29	9.700 S	77.000 W	33	5.90				0.08

¹ aceleración pico de tierra expresada como un múltiplo de la aceleración de la gravedad (9.81 m-s²)

Se muestran las escalas de magnitud en las que se registraron originalmente los temblores y terremotos.

Mb: Escala de magnitud cuerpo-onda (Método Gutenberg - 1945) (Rinehart et al. 1985).

Ms: Escala de magnitud de la onda superficial (Método Gutenberg y Richter - 1956) (Rinehart et al. 1985).

O.M.: Magnitud registrada de origen o valor desconocido.

M.L.: Escala de magnitud local (Richter Method - 1935) (Rinehart et al. 1985).

Tabla 1-4 Estimados de la Aceleración de la Tierra según Determinación de las Probabilidades para Diversos Períodos de Retorno

PERÍODO DE RETORNO (años)	ACELERACIÓN PICO DE TIERRA PGA (G)
100	0.15
475	0.28
1,000	0.37