

C7 RIESGOS NATURALES

C7.1 INTRODUCCIÓN

Esta sección del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del Proyecto Alto Chicama (el Proyecto) proporciona información acerca de la evaluación de impactos relacionados a los riesgos naturales. La información presentada incluye:

- las características relacionadas con los riesgos naturales en el Área de Estudio Local (AEL) y en el Área de Estudio Regional (AER) (Figura C1-2);
- la descripción de la ocurrencia de sismos en un radio de 400 km alrededor del Proyecto;
- el método y los resultados de la evaluación de impactos; y
- las medidas propuestas para mitigar los impactos.

Los riesgos naturales considerados en el EIA incluyeron aquellos asociados a sismos, deslizamientos, flujo de escombros, inundaciones y actividad volcánica. Los riesgos naturales potenciales que conciernen al Proyecto son la ocurrencia de sismos, deslizamientos e inundaciones (flujo de escombros). La evaluación consideró dos aspectos fundamentales:

- los efectos de estos fenómenos en las instalaciones del Proyecto (por ejemplo, falla de las instalaciones); y
- el incremento potencial de los riesgos naturales debido a cambios producidos por el Proyecto.

Los efectos directos del Proyecto sobre las formas del terreno no están considerados en esta sección. Estos efectos son descritos en la Sección C2, la cual también incluye la evaluación del incremento del riesgo de deslizamientos debido a los cambios fisiográficos, ocasionados por las actividades del Proyecto.

C7.2 LÍNEA BASE

C7.2.1 Riesgo Sísmico

A continuación se presenta información sobre la geología y la historia sísmica registrada e instrumental dentro de un radio de 400 km alrededor del Proyecto. Se considera que la distancia de 400 km es suficiente para evaluar todos los sismos importantes que puedan haber afectado el área del Proyecto. Esta sección también provee valores potenciales de aceleración máxima horizontal, es decir, movimientos sísmicos para el AER. Estos movimientos sísmicos estimados se basan en estudios de peligro sísmico regionales del Perú.

Los movimientos sísmicos generados en el área del Proyecto por las fallas activas ubicadas en el AER se basan en la distancia, longitud del sistema y magnitud máxima de los sismos históricos registrados. Las zonas de fallas de la Cordillera Blanca y de Quiches son las que tienen la mayor probabilidad de producir las mayores aceleraciones.

C7.2.1.1 Tectónica

La ocurrencia de sismos en la parte occidental del Perú está asociada con el proceso continuo de subducción de la placa de Nazca bajo la placa tectónica Sudamericana. Este proceso de subducción genera sismos de magnitud elevada y extensos con relativa frecuencia, los cuales presentan rangos de magnitud de momento (M_w) entre aproximadamente 7,5 y 9,0 (West 1999; Wyss et al. 2000). La ocurrencia de los sismos también está asociada con la deformación continúa de la Cordillera de los Andes. En los Andes se presentan sismos de magnitud moderada a elevada (M_w entre 6,0 y 7,5) (Suárez et al. 1983, West 1999).

En la parte del norte del Perú, la zona Andina presenta un alto índice de ocurrencia de sismos, en comparación con las regiones centro y sur. Tavera y Buforn (1998) sugieren que debido a la más alta velocidad de subsidencia del Escudo Brasileño, se originan una mayor cantidad de fallas geológicas las cuales generan más sismos.

A continuación se describen las fallas activas en el área de influencia del Proyecto. La información de estas fallas está basada en el Estudio de Observaciones Neo-tectónicas del Perú (Sebrier et al. 1982) y el Mapa actualizado Neo-tectónico del Perú (Macharé et al. 1991). La Figura C7-1 presenta el mapa neo-tectónico, con la ubicación y distancia de las fallas activas más cercanas al Proyecto. Esta figura también muestra las áreas de alto riesgo sísmico asociadas con la cercanía a algunas estructuras geológicas específicas.

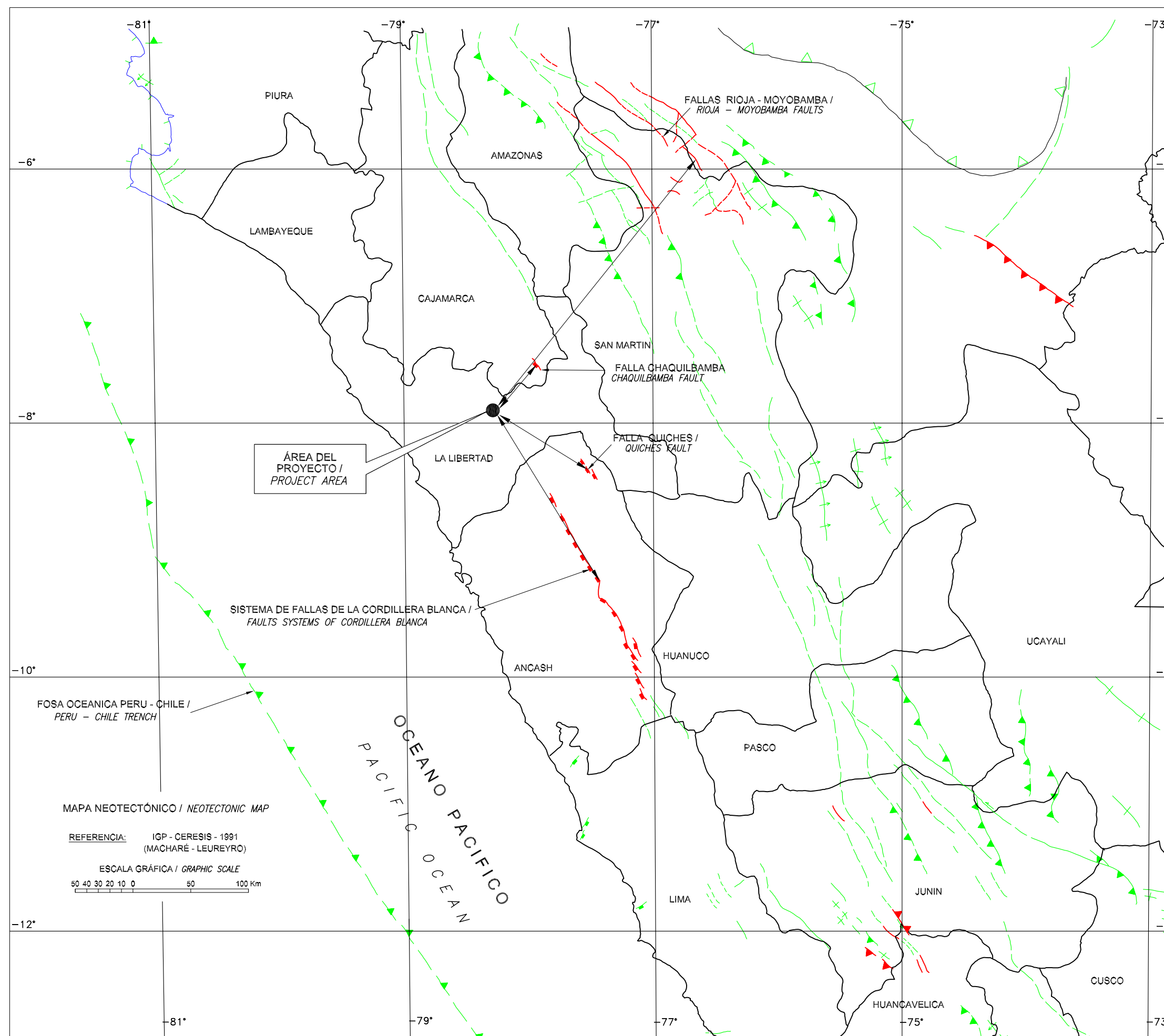
Falla Chaquilbamba

La Falla Chaquilbamba está ubicada en la Cordillera Occidental del norte del Perú, entre Chaquilbamba y Marcabal (en el límite del Departamento de Cajamarca y el Departamento de La Libertad). Esta falla normal se orienta con dirección NNO-SSE y tiene un buzamiento hacia el SO. La falla tiene una longitud total conocida de aproximadamente 1,5 km. La escarpa de la falla genera un desplazamiento máximo de la topografía de 8 a 10 m. El desplazamiento en superficie más reciente de esta falla, puede estar asociado a dos sismos ocurridos en 1937. La distancia de esta falla al Proyecto es de aproximadamente 50 km.

Falla Quiches

La Falla Quiches se extiende con rumbo NNO entre los pueblos de Quiches y Chingalpo, sobre la margen occidental del Río Marañón, al NNE de Huaraz. La falla de 20 km de longitud comprende varias secciones con buzamientos al este y al oeste. La Falla Quiches se reactivó durante un fuerte sismo ocurrido en 1946, el cual formó una escarpa de falla de unos 3,5 m de desplazamiento vertical. La distancia más corta de esta falla al Proyecto es de aproximadamente 90 km.

Sep 23, 2003 - 10:37pm
 Por: Natalia Korneeva
 G:\PROJECT\2002\029_4225_ALTO_CHICAMA\CAD\VOLUMEN_C17_Natural_Risks\figura C7-1.2.3\VERSION FINAL Drawing file: 4225_Fig-c7-1-030903.dwg



FALLA / FAULT	ACTIVAS / ACTIVE	CUATERNARIAS (NO ACTIVAS) / CUATERNARY (NOT ACTIVE)
Falla Normal / Normal Fault		
Falla Inversa / Reverse Fault		
Falla Transcurrente / Transverse Fault		
Falla con sentido de deslizamiento desconocido / Unknown Direction Slide Fault		
Falla Normal Probable / Likely Normal Fault		
Falla Inversa Probable / Likely Reverse Fault		
Falla Probable "En general" / Likely Fault "In general"		

Fallas conocidas por Métodos Indirectos / Faults Known by Indirect Methods	En superficie / Shallow	Profundas / Deep

Plegamientos / Foldinas	Flexural / Flexure	Anticlinal / Anticline	Sinclinal / Syncline
Activas / Active			
Cuaternarias (No Activas) / Cuaternary (Not Active)			

MOVIMIENTOS VERTICALES / VERTICAL MOVEMENT				
		Velocidad (V) / Velocity (V)	Levantamiento / Uprising	Subsidencia / Subsidence
En Líneas / In Lines	Debil / Weak	$V \leq 0.3 \text{ mm/año}$		
De Costa / Coastal	Moderado / Moderate	$0.3 < V \leq 0.6$		
	Fuerte / Strong	$V > 0.6 \text{ mm/año}$		
En Continente / In Continent				

FALLA / FAULT	DISTANCIA AL PROYECTO (Km) / DISTANCE FROM THE PROJECT (Km)
FALLA CHAQUILBAMBA / CHAQUILBAMBA FAULT	50 Km
FALLA QUICHES / QUICHES FAULT	90 Km
SISTEMA DE FALLAS DE LA CORDILLERA BLANCA / FAULTS SYSTEMS OF CORDILLERA BLANCA	170 Km
FALLAS RIOJA - MOYOBAMBA / RIOJA - MOYOBAMBA FAULTS	275 Km

	FECHA / DATE	09, 2003	
	DISEÑO / DESIGN	JLC	
	CAD / CAD	NK	
PROYECTO No. / PROJECT No.	029-4225	REVISADO / REVIEW	JLC
ESCALA / SCALE	S/E	REV. VF / APROBADO / CHECK	JCH
MAPA NEOTECTÓNICO NEOTECTONIC MAP			
EIA ALTO CHICAMA		FIGURA / FIGURE	C7-1

Sistema de Fallas de la Cordillera Blanca

El Sistema de Fallas de la Cordillera Blanca es el sistema de fallas activas más grande del Perú. Las fallas están ubicadas entre Chiquián y Corongo (Ancash) a lo largo del flanco occidental de la Cordillera Blanca. Las fallas presentan rumbos NNE y ENE, con un buzamiento de 45° a 60° hacia el SO y son fallas normales. Las fallas han estado activas por más de 5 millones de años, (es decir, desde las eras Plioceno y Cuaternaria). La Falla de la Cordillera Blanca tiene dos secciones: una sección de fallas continuas de 100 km de largo al norte de Huaraz, y una sección de fallas discontinuas de 77 km de largo ubicada al sur. El desplazamiento vertical de los últimos 50 000 años ha sido de hasta 35 m, estimado en base a la altura de las escarpas. En los últimos 1,6 millones de años (Cuaternario) el desplazamiento vertical ha sido de 1 000 m, siendo el desplazamiento de los últimos 5 millones de años (Plioceno) de 4 500 m. La distancia más corta de este sistema de fallas al Proyecto es de aproximadamente 170 km.

Fallas Rioja-Moyobamba

Las Fallas Rioja-Moyobamba comprenden una serie de fallas relacionadas a movimientos tectónicos del Terciario, las cuales controlan la cuenca cuaternaria Alto Mayo ubicada en el área Sub-Andina del Norte de Perú (6°S, 77°O). Se ha identificado recientemente un potencial de actividad sísmica en algunas fallas, particularmente para la Falla Shitari (o Rioja) y las fallas Moyobamba Norte y Sur. La alta actividad sísmica histórica que caracteriza el área (sismos en 1927, 1968, 1990 y 1991), parece estar estrechamente relacionada con la reactivación de estas estructuras de fallas. La distancia más corta de estas fallas al Proyecto es de aproximadamente 275 km.

C7.2.1.2 Historia Sísmica

Silgado (1978) y Dorbath et al. (1990) estudiaron la historia sísmica del Perú. El registro de sismos en el Perú se remonta a alrededor del período 1513 a 1532. Los registros previos al desarrollo de los instrumentos están basados en los daños a las construcciones y en los informes anecdóticos de los movimientos. La calidad de la información histórica registrada, depende principalmente de la distribución y densidad de la población en las regiones afectadas por sismos. La Tabla C7-1 resume los principales sismos históricos en el Norte y Centro de Perú.

De acuerdo con Silgado (1978) y Dorbath et al. (1990) los sismos más intensos registrados en la costa Central del Perú ocurrieron en 1586 (primer sismo del que existen documentos históricos), 1687 y 1746; el último de los cuales destruyó completamente la ciudad de Lima. La intensidad de estos sismos ha sido estimada en X a XI en la Escala Modificada de Mercalli (MM). En 1619 ocurrió un sismo en la ciudad de Trujillo con una intensidad MM de IX. Así también, en 1946 un sismo sacudió a las provincias de Pallasca, Pomabamba y Ancash con una intensidad MM de X.

Tabla C7-1 Sismos Ocurridos en las Zonas Norte y Centro del Perú

Fecha (dd-mm-aa)	Magnitud Silgado ^(a)	Mercalli Modificada, (MM)	Ubicación
15-11-1555		VII	Lima
09-07-1586	8,1	IX	Lima
23-03-1606		V	Saña, Lambayeque
19-10-1609		VII	Lima
14-02-1619	7,8	IX	Trujillo
27-11-1630		VII	Lima
13-11-1655	7,4	VIII	Lima
16-06-1678		IX	Lima
20-10-1687		IX	Lima
14-07-1699		VII	Lima
06-01-1725		VII	Trujillo
28-10-1746	8,4	X	Lima
02-09-1759		VII	San Pedro, Lambayeque
14-10-1791		V	Villa de Pasco
07-12-1806	7,5	VIII	Lima
30-03-1828		VIII	Lima
04-07-1839		VII	Chanchamayo
02-01-1902		V	Casma, Chimbote
04-03-1904		VIII	Lima
28-09-1906		V	Huancabamba, Tumbes y Santa
16-11-1907		V	Lambayeque, Casma, Cerro de Pasco, Masisea
20-05-1917		VI	Trujillo
22-03-1926		VI	Lima
10-01-1932		VII	Lima
05-08-1933		VI	Lima
05-03-1935		VI	Ticapampa, Callejón de Huaylas
21-06-1937		VII	Lambayeque
24-12-1937		IX	Cordillera Central Occidental (Chotabamba)
02-07-1938		VII	Tarma, Mantaro, Chanchamayo
24-05-1940	8,2	VIII	Lima
21-08-1945		V	Cerro de Pasco
10-11-1946	7,2	XI	Ancash (Cerro Paltas y Sillapatas)
01-11-1947	7,5	X	Centro de Perú (Satipo)
14-02-1948		VII	Quiches
31-01-1951		VIII	Lima
08-05-1951		V	Chiclayo
23-06-1951		V	Trujillo

^(a) Al parecer las escalas de magnitud de Silgado no son Ms; pues sus valores son sistemáticamente mayores para sismos intensos.

Tabla C7-1 Sismos Ocurridos en las Zonas Norte y Centro del Perú (cont.)

Fecha (dd-mm-aa)	Magnitud Silgado ^(a)	Mercalli Modificada, (MM)	Ubicación
12-12-1953	7,7	VIII	Noroeste del Perú
17-02-1956		V	Chimbote
18-02-1956		VI	Callejón de Huaylas
29-10-1956		VII	Huánuco, Tingo Maria
03-07-1961		VI	Chimbote
18-04-1962		VI	Casma
15-11-1962		V	Costa de Trujillo
30-08-1963		V	Piura
24-09-1963		VII	Cordillera Negra (Huarney)
17-10-1966		VII	Lima
04-02-1969		V	Trujillo
14-02-1970		VIII	Huánuco (Panao y Pachitea)
31-05-1970		IX	Casma y Chimbote
05-05-1971		VI	Sihuas, Ancash (San Miguel y Quiches)
10-06-1971		VI	Cerro de Pasco
03-10-1974		VII	Lima
18-04-1993		VII	Lima

De: Silgado (1978) y Dorbath et al. (1990).

^(a) Al parecer las escalas de magnitud de Silgado no son Ms; pues sus valores son sistemáticamente mayores para sismos intensos.

Un sismo ocurrido en 1947 en el área central de la región Andina fue sentido en todo el Perú y tuvo una intensidad MM de IX. En el valle del Alto Mayo ocurrieron en 1990 y 1991, tres sismos con una magnitud de onda cuerpo (mb) de alrededor de 6,5 (Tavera y Buforn 1998). Existe escasa información histórica sobre sismos en las Cordilleras Andina y Sub-Andina del Norte y Centro del Perú. Sin embargo, Tavera y Buforn (1998) creen que estas regiones son sísmicamente activas.

La Tabla C7-2 muestra intensidades MM estimadas para el AER utilizando las isosistas de los principales sismos ocurridos en el área de influencia. Los sismos de 1619, 1725 y 1970 produjeron intensidades máximas MM estimadas entre VI y VII. Los sismos de 1586, 1940 y 1966 produjeron intensidades MM estimadas de V. La máxima intensidad observada en el AEL durante los eventos sísmicos históricos conocidos, varía desde un estimado de V a VI de intensidad MM.

Una segunda fuente de información usada para estimar la intensidad de los sismos en el AER es el mapa de distribución de intensidades sísmicas máximas observadas en el Perú, publicado por Alva et al. (1984). Este mapa fue elaborado en base a 30 isosistas de sismos en el Perú. Este mapa provee un registro confiable de las intensidades de eventos sísmicos históricos recientes. De acuerdo al mapa de Alva, la intensidad máxima para el AEL es de VI de intensidad MM.

C7.2.1.3 Sismicidad Registrada con Instrumentos

Los registros instrumentales del Perú se encuentran disponibles en el Proyecto de Catálogo Sísmico de Sismicidad de la Región Andina (SISRA) (SISRA 1985). Este catálogo contiene registros instrumentales de sismos desde 1900, y ha sido actualizado en el 2000 por el Centro Internacional de Sismología (ISC). La información del catálogo ha sido verificada por el Instituto Geofísico del Perú (IGP 2001).

Tabla C7-2 Intensidades Observadas en el AER del Proyecto

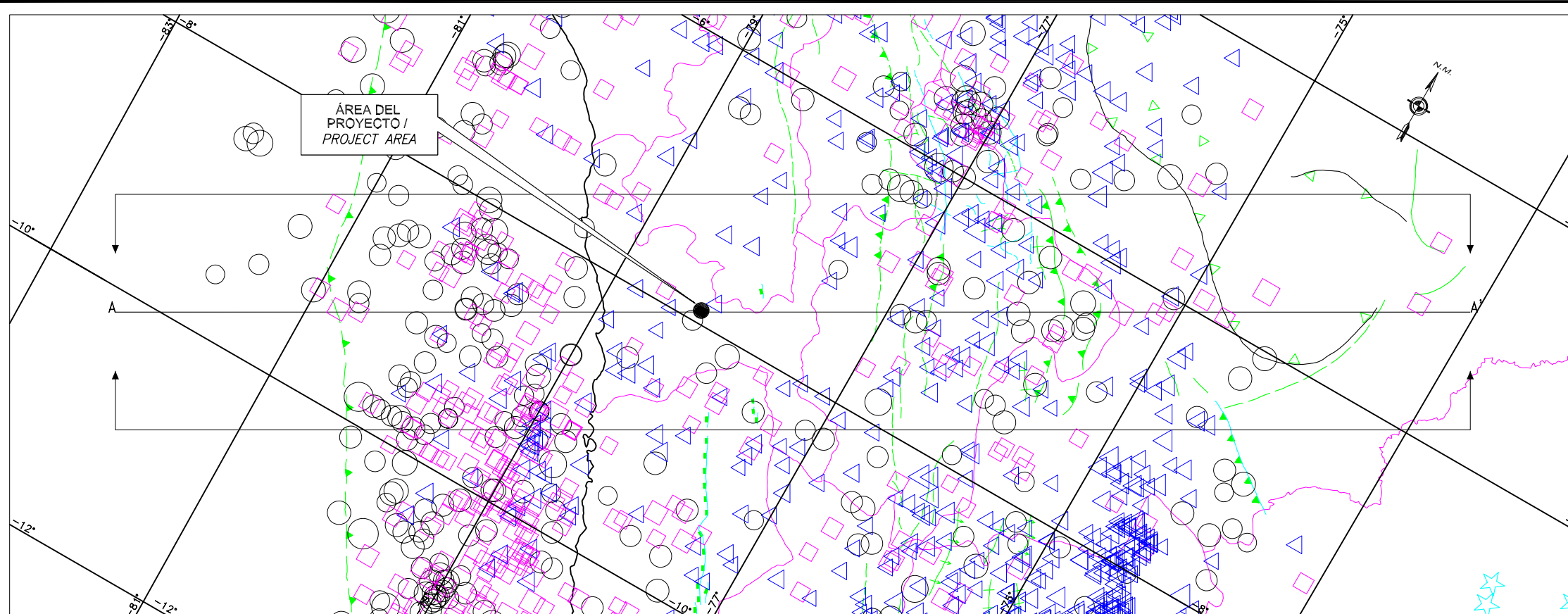
Fecha dd/mm/aa	Intensidad MM	Referencia
9/07/1586	V	SISRA 1985
14/02/1619	VII	SISRA 1985
20/10/1687	III	SISRA 1985
6/01/1725	VI	SISRA 1985
24/05/1940	V	Silgado 1978
1/11/1947	III – IV	Silgado 1978
9/12/1950	III – IV	Silgado 1978
17/10/1966	IV – V	Silgado 1978
31/05/1970	VI – VII	Silgado 1978
18/04/1993	II	Huaco y Zamudio 1993

La actividad sísmica de las zonas Norte y Centro del Perú está distribuida en dos diferentes bandas paralelas a los Andes. Una de estas bandas se ubica al oeste de los Andes. Los sismos en esta banda ocurren principalmente por el proceso continuo de subducción. Esta banda incluye sismos con hipocentros intermedios (50 a 70 km de profundidad) y poco profundos (<50 km). La otra banda se ubica al este de los Andes y es causada por los dos procesos de subducción (para hipocentros de hasta 300 km de profundidad), así como por procesos secundarios, tales como la contracción del escudo brasileño contra el cinturón de los Andes. Las dos bandas sísmicas confluyen en el área de transición tectónica-sísmica (latitud 13°-14° sur) para constituir una sola banda sísmica en el sur del Perú (Deza 1990).

Los sismos con hipocentros poco profundos (<70 km de profundidad) están principalmente localizados mar adentro entre la costa y el canal oceánico. En el área continental del Norte y Centro del Perú se localizan sismos de poca profundidad. Los sismos poco profundos aquí son de baja a moderada magnitud, generalmente menos de 6,5 mb (Tavera y Buforn 2001). Los sismos de profundidad intermedia (profundidad entre 71 y 300 km) se localizan principalmente en las áreas costeras y centrales del continente. Los sismos profundos (profundidad >300 km) se localizan por debajo de la frontera entre Perú y Brasil. Estos sismos profundos tienen una baja frecuencia de ocurrencia.

Se ha preparado un mapa de epicentros sísmicos, para evaluar el potencial sísmico en un radio de 400 km del AEL. En la Figura C7-2 se muestra una sección transversal al AER y

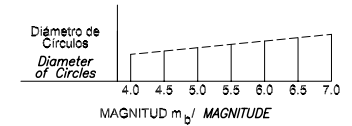
Sep 23, 2003 - 10:48pm
 Por: Natalia Korneeva
 G:\PROJECT\2002\029_4225_ALTO_CHICAMA\CAD\VOLUMEN_C\7_Natural_Risks\figura C7-1.2.3\VERSION FINAL\ Drawing file: 4225_Fig-c7-2-030903.dwg



REFERENCIA / REFERENCE:
 CATÁLOGOS SÍSMICOS / SEISMIC CATALOGUES
 CATÁLOGO SISRA (1963-1990) / SISRA CATALOGUE (1963-1990)
 CATÁLOGO IGP-ISC (1990-2000) / IGP-ISC CATALOGUE (1990-2000)

MAPA NEOTECTÓNICO / NEOTECTONIC MAP
 IGP - CERESIS - 1991 (MACHARÉ - LEUREYRO)

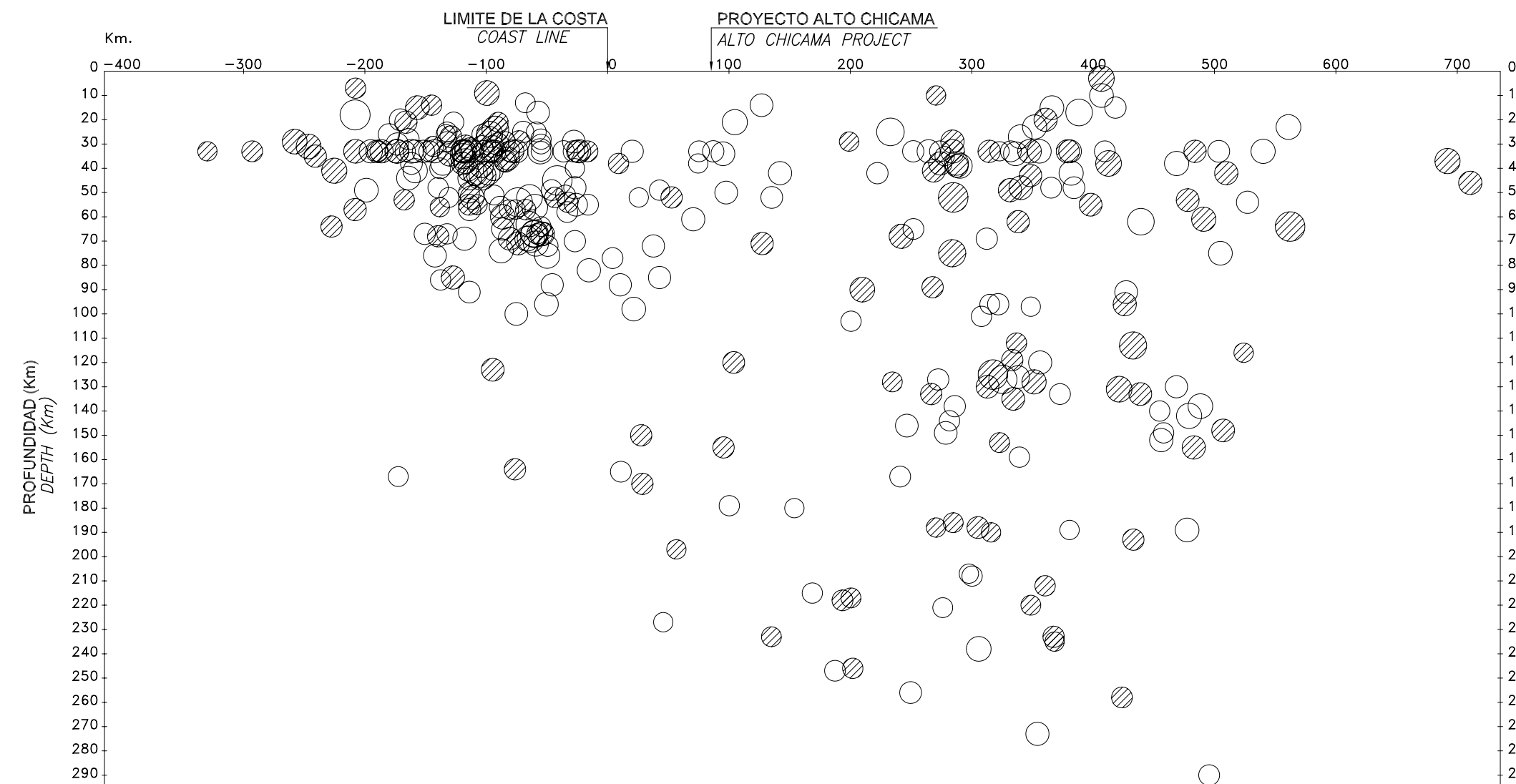
LEYENDA / LEGEND



PROFUNDIDAD / DEPTH

- De 0 a 33 Km
- △ De 71 a 300 Km INTERMEDIOS / INTERMEDIATE
- De 34 a 70 Km
- ☆ De 301 a 700 Km PROFUNDOS / DEEP

ESCALA GRÁFICA / GRAPHIC SCALE



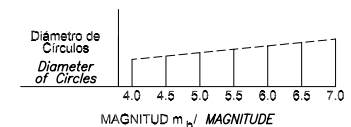
PERFIL A-A' / SECTION A-A'

● PROYECCION DE SÍSMOS 100 Km DE LA PARTE SUPERIOR DE LA LINEA DE EJE / EARTHQUAKES IN BAND NORTH OF AXIS (100 Km WIDE)

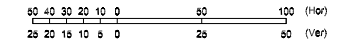
○ PROYECCION DE SÍSMOS 100 Km DE LA PARTE INFERIOR DE LA LINEA DE EJE / EARTHQUAKES IN BAND SOUTH OF AXIS (100 Km WIDE)

PERIODO 1963-2000 / PERIOD 1963-2000

LEYENDA / LEGEND



ESCALA GRÁFICA / GRAPHIC SCALE



	FECHA / DATE	09, 2003	
	DISEÑO / DESIGN	JLC	
	CAD / CAD	NK	
PROYECTO No. / PROJECT No.	029-4225	REVISADO / REVIEW	JLC
ESCALA / SCALE	S/E	REV. / REV.	VF
TÍTULO / TITLE	MAPA DE EPICENTROS DE EVENTOS SÍSMICOS HISTÓRICOS MAP OF HISTORIC SEISMIC EVENTS EPICENTER		APROBADO / CHECK JCH
EIA ALTO CHICAMA	FIGURA / FIGURE	C 7 - 2	

perpendicular a la costa. Los hipocentros fueron proyectados desde regiones ubicadas a aproximadamente 100 km de ambos lados de la línea de proyección.

Los sismos que ocurren cerca al AER presentan el mismo modelo general que el resto de sismos que ocurren en el norte-centro del Perú. Las profundidades de los sismos se incrementan de oeste a este. El AER está influenciada tanto por los frecuentes sismos poco profundos asociados con los procesos de subducción, así como por los sismos poco profundos asociados a las fallas activas existentes, los cuales ocurren con menor frecuencia.

C7.2.1.4 Estudios de Peligro Sísmico

El rango de aceleración horizontal máxima del suelo (AMS) que puede afectar al AER fue estimado en base a un análisis probabilístico de peligro sísmico regional (APPS) (es decir: Sharma y Candia-Gallegos 1992; Alva y Castillo 1993; Shedlock y Tañer 1999), los cuales están basados en el método de Cornell (1968). Este análisis integra información sismo-tectónica, parámetros sísmicos y relaciones regionales de atenuación de movimientos sísmicos. Los resultados de estos análisis son presentados como una fracción de la aceleración de la gravedad ($g=9,8 \text{ m/s}^2$).

La Tabla C7-3 presenta los valores de aceleración presentados en los estudios anteriormente mencionados. Los valores de AMS son estimados con un 10% de probabilidad de excedencia (90% de probabilidades de ocurrencia de un valor igual o menor) para una vida del Proyecto de 50 a 100 años. Estos valores son equivalentes a las aceleraciones del suelo con período de retorno promedio de 475 y 950, respectivamente.

Tabla C7-3 Resultados de Evaluación del Peligro Sísmico en Términos de Probabilidades

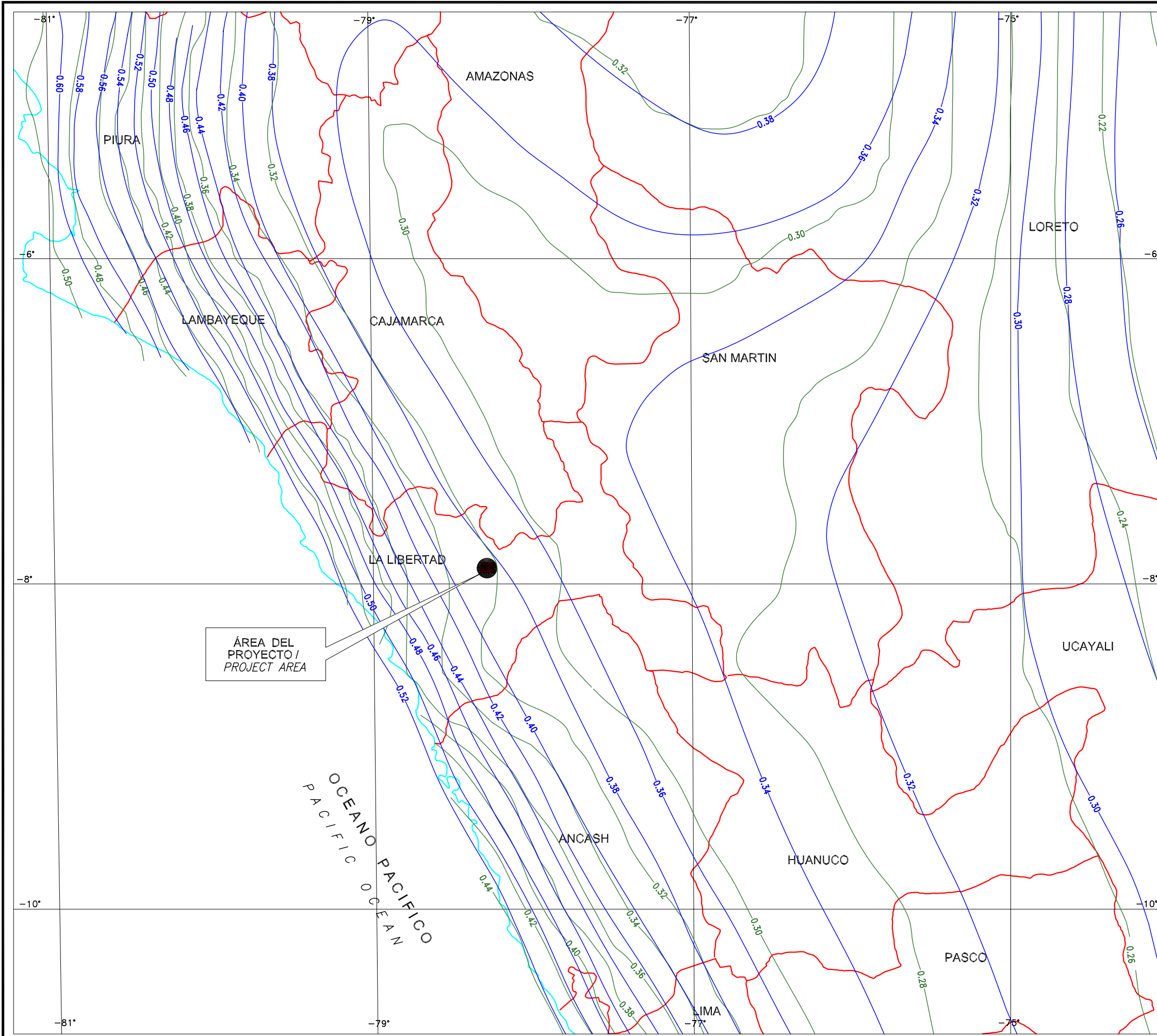
Referencia	Período de Retorno de 475 Años	Período de Retorno de 950 Años
Sharma y Candia-Gallegos (1990)	0,20 a 0,25	-
Alva y Castillo (1993)	0,32 a 0,34	0,38 a 0,40
Shedlock y Tañer (1999)	0,32 a 0,40	-

Nota: Los resultados han sido obtenidos mediante la interpolación de mapas regionales de riesgo sísmico.

La Figura C7-3 muestra la distribución de la AMS con un 10% de probabilidades de excedencia en 50 y 100 años de acuerdo a Alva y Castillo (1993). La AMS del Proyecto con un 10% de excedencia en 50 años (475 años de período de retorno) varía entre 0,32 y 0,40 g.

De acuerdo con el Reglamento Peruano de Edificaciones (RPE), el Proyecto está ubicado en la Zona 3. Esta zona está considerada como la zona de mayor actividad sísmica del Perú. Para la Zona 3 el RPE asigna un valor de 0,40 g como aceleración, para un período de retorno promedio de 475 años.

Sep 23, 2003 - 10:51pm
 Por: Natalia Korneeva
 G:\PROJECT\2002\029_4225_ALTO_CHICAMA\CAD\VOLUMEN_C\7_Natural_Risks\figura C7-1.2.3\VERSION FINAL\ Drawing file: 4225_Fig-c7-3-030903.dwg



LEYENDA / LEGEND

- 100 AÑOS / 100 YEARS
- 50 AÑOS / 50 YEARS

NOTA:

LAS ACELERACIONES ESTAN EXPRESADAS EN FUNCIÓN DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD (g)

NOTE:

THE GROUND ACCELERATIONS ARE EXPRESSED AS A FUNCTION OF THE GRAVITY ACCELERATION (g)

REFERENCIA / REFERENCE:

JORGE ALVA y JORGE CASTILLO, 1993

ESCALA GRÁFICA / GRAPHIC SCALE



ÁREA DEL PROYECTO / PROJECT AREA

	FECHA / DATE	09, 2003
	DISEÑO / DESIGN	JLC
PROYECTO No. / PROJECT No.	029-4225	REVISADO / REVIEW
ESCALA / SCALE	S/E	APROBADO / CHECK
TÍTULO / TITLE	MAPA DE PELIGRO SÍSMICO - ACELERACIONES MÁXIMAS CON 10% DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA EN 50 y 100 AÑOS SEISMIC HAZARD MAP - PEAK GROUND ACCELERATION WITH 10% CHANCE OF EXCEEDANCE IN 50 AND 100 YEARS	
EIA ALTO CHICAMA	REV. VF / REV.	FIGURA / FIGURE
		C 7 - 3

C7.2.2 Riesgo de Deslizamientos, Flujo de Escombros y Actividad Volcánica

De acuerdo al estudio fisiográfico se ha encontrado que el Área de Estudio Local (AEL) del Proyecto, de alrededor de 110 km², es estable (ver la Sección C2). Las diferentes unidades fisiográficas en el AEL no presentan erosión significativa. Sólo los bancos de los ríos principales y las áreas alrededor de los cauces activos presentan niveles marcados de inestabilidad geomorfológica.

Los riesgos naturales asociados a las características fisiográficas incluyen deslizamientos y flujos de escombros. No existe evidencia histórica conocida de deslizamientos masivos en el AEL. Sin embargo, existen derrumbes localizados, producidos principalmente por erosión fluvial en la base de los taludes, caídas menores de rocas en los taludes naturales empinados, así como también a consecuencia de la actividad humana (minería y construcción de carreteras). Un inventario de los derrumbes y deslizamientos existentes se presentan en Golder (2003a). No se identificaron zonas de huaycos, depósitos aluviales, o actividad volcánica reciente en el AEL.

C7.2.3 Riesgo de Inundaciones

Los lagos ubicados en el AEL son estables (Sección C2). Como resultado de la glaciación Andina que ocurrió durante el Período Pleistoceno, la mayoría de los lagos en el área son de origen glacial. Aunque el área ahora presenta un clima templado y no existen glaciares, la glaciación fue responsable de la mayor parte de los procesos geomorfológicos del área (Sección C6). Dado que los glaciares han desaparecido, actualmente la única fuente de recarga de los lagos es la precipitación. La lluvia produce un incremento en el volumen de los lagos, pero debido a la situación estable de los lagos y los cursos de agua asociados, el riesgo de inundación como consecuencia del rebose es mínimo.

C7.3 EVALUACIÓN DE IMPACTOS

C7.3.1 Diagnóstico de Temas Clave

Los temas clave que pueden afectar la fisiografía del área, o que pueden ser afectados por los riesgos naturales, fueron identificados en los Términos de Referencia (MBM 2003^a) y son los siguientes:

- inestabilidad de las pendientes como resultado de la construcción de la mina e infraestructura relacionada;
- riesgo de inundaciones generadas por la construcción de diques, o por la elevación de diques naturales; y
- efectos potenciales de un movimiento sísmico en las instalaciones del Proyecto.

Los riesgos naturales adicionales que pueden afectar las instalaciones o al personal del Proyecto son las tormentas eléctricas e incendios. Si bien estos efectos son importantes desde una

perspectiva de seguridad y salud, es poco probable que éstos tengan un efecto fuera del área del Proyecto, y por lo tanto, no son evaluados en el EIA.

Durante las consultas públicas se trató acerca de los posibles efectos de un sismo en las instalaciones del Proyecto, así como sobre la estabilidad de los taludes luego del cierre.

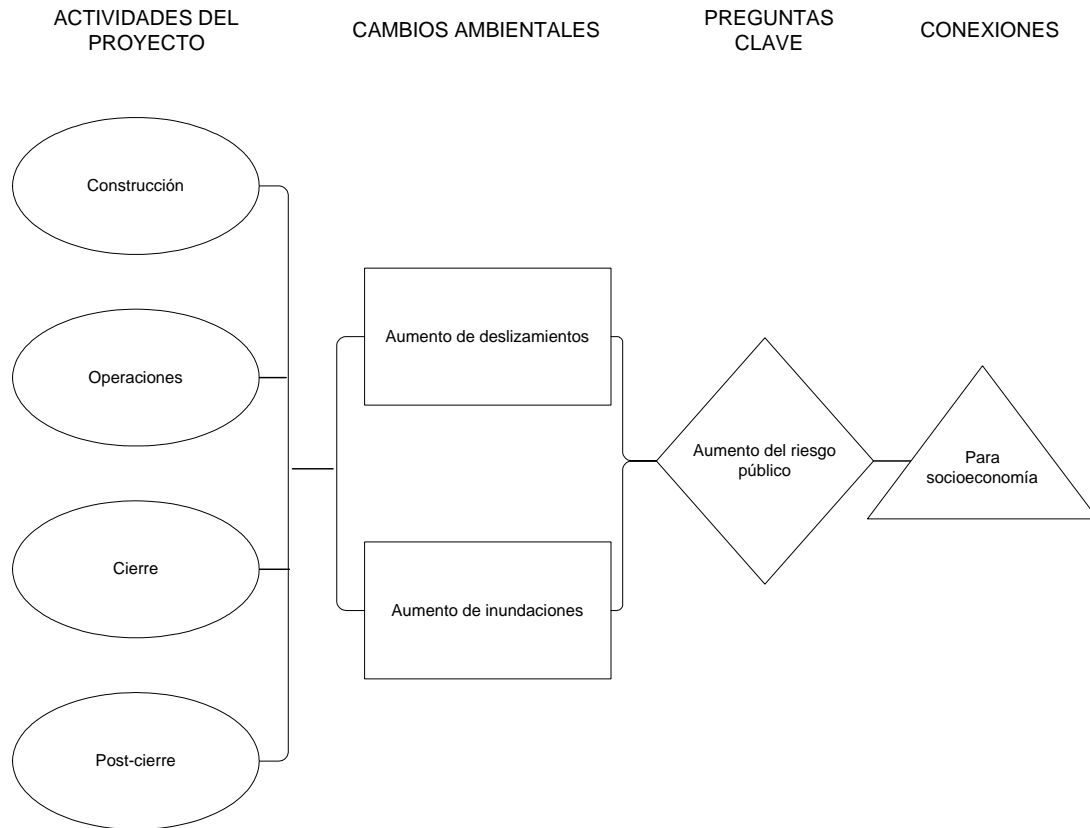
C7.3.2 Pregunta Clave

Pregunta Clave RN-1: ¿Son los riesgos de peligros naturales al público incrementados como resultado del Proyecto Alto Chicama?

C7.3.2.1 Evaluación de Enlaces

El Diagrama de Enlace (Figura C7-4) muestra un posible incremento del riesgo público por efecto de los riesgos naturales. Los posibles efectos a la infraestructura pública o a los recursos naturales en el área como resultado de los riesgos naturales en el Proyecto (instalaciones) podrían afectar la economía y/o estilo de vida de las poblaciones vecinas. Por ejemplo, una inundación inducida por el Proyecto podría afectar la capacidad del uso de las tierras aguas abajo, así como a las actividades económicas de las poblaciones vecinas.

Figura C7-4 Diagrama de Enlace



C7.3.2.2 Métodos y Criterios de Evaluación

Para la evaluación de riesgo sísmico sólo se han considerado las instalaciones principales: el tajo abierto, los botadores de desmonte, la pila de mineral sulfuroso y las instalaciones de la pila de lixiviación. La estabilidad de estas instalaciones ha sido evaluada debido a la magnitud del efecto que ocasionaría su falla. La evaluación toma en cuenta los criterios de diseño y considera los efectos de posibles eventos sísmicos en el área. La consecuencia de estos efectos considera la magnitud potencial del evento así como su probabilidad de ocurrencia.

Se enfocó la evaluación en los riesgos naturales que presentan la mayor probabilidad de ocurrencia en el AEL. La evaluación de riesgos naturales incluye sismos, deslizamientos e inundaciones. La evaluación ha considerado condiciones de estabilidad estática (sin carga sísmica) y condiciones pseudo-estáticas (considerando carga sísmica).

Criterios para la Descripción del Impacto

Los impactos residuales de los riesgos naturales han sido clasificados usando criterios de cuantificación para determinar las consecuencias ambientales. Cada uno de los impactos es primeramente descrito en términos de los siguientes criterios: dirección, magnitud, extensión geográfica, duración, reversibilidad y frecuencia (Tabla C7-5).

La dirección de un impacto puede ser positiva, neutral o negativa con respecto a la pregunta clave (por ejemplo: una disminución del riesgo de deslizamientos podría ser clasificado como positivo, mientras que un incremento sería negativo).

Tabla C7-4 Descripción de la Clasificación de la Magnitud de Riesgos Naturales

Dirección ^(a)	Magnitud ^(b)	Extensión Geográfica ^(c)	Duración ^(d)	Reversibilidad ^(e)	Frecuencia ^(f)
positivo, negativo o neutral	<p>insignificante: si los resultados de un evento son mínimos y no hay efectos fuera del área del Proyecto</p> <p>bajo: si los resultados de un evento no afectan las estructuras fuera del Proyecto, pero si hay un efecto fuera de estas instalaciones</p> <p>moderado: si los resultados de un evento afectan otras instalaciones del Proyecto o recursos naturales en el AEL</p> <p>alto: si los resultados de un evento afectan la infraestructura pública o recursos naturales fuera del AEL</p>	<p>local: efecto restringido al AEL</p> <p>regional: el efecto se extiende fuera del AEL hasta el AER</p> <p>fuera del área regional: el efecto se extiende fuera del AER</p>	<p>Corto plazo: menos de 2 años</p> <p>mediano plazo: entre 2 y 12 años</p> <p>largo plazo: más de 12 años</p>	reversible o irreversible	<p>baja: ocurre una sola vez durante el Proyecto y esporádicamente después del proyecto</p> <p>media: ocurre intermitentemente</p> <p>alta: ocurre continuamente</p>

(a) Dirección: efecto positivo o negativo para medir los puntos finales.

(b) Magnitud: grado del cambio.

(c) Extensión geográfica: área afectada por el impacto.

(d) Duración: lapso durante el cual ocurre el efecto ambiental.

(e) Reversibilidad: el efecto en el recurso puede o no puede ser corregido.

(f) Frecuencia: con qué frecuencia ocurre el efecto ambiental.

La magnitud es una medida del grado de cambio con respecto al punto final (por ejemplo, la extensión en la cual un evento podría afectar las estructuras dentro y fuera del Proyecto). La

magnitud se clasifica en insignificante, baja, moderada y alta. La categorización de la magnitud del impacto (es decir: insignificante, baja, moderada o alta) se basa en una serie de criterios, conceptos ecológicos y en el criterio profesional.

La extensión geográfica se refiere al área afectada por el impacto y se clasifica como local, regional o fuera del área regional. El método para definir los efectos geográficos producidos por los impactos varía, dependiendo si el riesgo natural está impactando al Proyecto (por ejemplo: un sismo regional), o si el Proyecto incrementa el área potencial afectada por un riesgo natural (por ejemplo: el deslizamiento de un talud al lado de una vía del Proyecto).

La duración se refiere al lapso durante el cual puede ocurrir un impacto.

La reversibilidad es un indicador del potencial de recuperación después de un evento de riesgo natural (impacto).

La frecuencia de impactos estará en relación a la probabilidad de ocurrencia, puede ser baja si es factible que ocurra una sola vez durante la operación del Proyecto, o esporádicamente después del cierre; media si ocurre en forma intermitente, y alta si ocurre continuamente.

Consecuencia Ambiental

La consecuencia ambiental es una propiedad general asociada con un impacto y es una función de la magnitud, duración y extensión geográfica. El nivel de incertidumbre científica es en algunos casos lo suficientemente alto, que no se puede estimar la consecuencia ambiental con un suficiente grado de confianza. Los niveles indeterminados de confianza, se acompañan con recomendaciones de investigación o monitoreo para proporcionar más datos en el futuro.

C7.3.2.3 Mitigación

Las medidas de mitigación para evitar impactos en las instalaciones del Proyecto debido a riesgos naturales fueron desarrolladas en los criterios de diseño de las instalaciones. Los siguientes criterios han sido considerado para el Proyecto a fin de evitar impactos.

Canales de Drenaje

Los canales de drenaje del Proyecto han sido diseñados para llevar con seguridad la escorrentía generada por un evento de 24 horas con un período de retorno de 100 años. Se ha aumentado un borde libre de contingencia adicional en el diseño de los canales para el evento de 100 años. Los canales tienen una pendiente que limita la velocidad del flujo, a fin de reducir el potencial de erosión en la base del canal.

Los efectos potenciales sobre el clima causados por el Fenómeno del Niño, los cuales podrían incrementar el régimen de precipitación en el área, han sido incluidos en el análisis para definir los parámetros de diseño del Proyecto.

Pozas

Todas las pozas de almacenamiento de agua (las pozas de sedimentación, la poza de colección de DAR y la poza de limpieza), el reservorio de agua fresca y el embalse de Laguna Negra han sido diseñados para evitar el riesgo que los diques fallen por el desborde del agua. Los aliviaderos para el rebose de la poza han sido diseñados para conducir con seguridad la escorrentía generada por la mitad del valor de la precipitación máxima probable (PMP) en condiciones de capacidad máxima de la poza.

Botaderos de Desmante, Pila de Lixiviación y Pila de Mineral Sulfuroso

Los análisis de estabilidad se realizaron usando el programa SLOPE/W 4,0; programa comercial de cómputo, disponible en el mercado (Geoslope 2000). Se utilizó el Método de Bishop Simplificado (Bishop 1955) para determinar la superficie de falla menos estable utilizando una rutina de búsqueda de la superficie crítica, por ejemplo: para cada modo de falla, el programa itera a través de una variedad de superficies de falla para determinar la superficie que tiene el factor de seguridad mínimo, también conocida como la superficie crítica.

El criterio de diseño del estudio de factibilidad ha considerado en forma conservadora el evento sísmico máximo creíble (SMC), como base para todas las evaluaciones de estabilidad antes del cierre, que incorporan condiciones de carga sísmica. El SMC se define en teoría como el sismo más intenso posible para la región. Los análisis de estabilidad de los taludes utilizados para evaluar las condiciones de carga sísmica durante las operaciones, usaron un sismo de probabilidad de ocurrencia más alta, el sismo base de operación (SBO), definido como el sismo con un intervalo de recurrencia en el orden de un evento cada 475 años.

El coeficiente pseudo-estático para el análisis de estabilidad fue desarrollado en base al estudio sísmico de Hidroenergía (1997) para la Mina Pierina ubicada en Huaraz, Ancash. Este estudio sísmico concluyó que la Aceleración Máxima del Suelo (AMS) en el área correspondiente a un evento con un período de retorno de 1 en 475 años es de 0,37 g. La AMS para el evento sísmico máximo creíble (SMC) es de 0,44 g. Para los taludes operacionales del botadero de desmante este (BDE), botadero de desmante oeste (BDO) y pila de mineral sulfuroso el análisis pseudo-estático incorporó una aceleración de 0,18 g la cual es el 50 por ciento de la aceleración de diseño horizontal de 0,37 g, en concordancia con el protocolo geotécnico convencional para establecer el coeficiente pseudo-estático. Para los taludes de largo plazo (cierre) del BDE, BDO y pila de mineral sulfuroso, el análisis pseudo-estático incorporó una aceleración de 0,22 g, la cual es el 50% de la aceleración máxima del suelo (AMS) durante el sismo máximo creíble (SMC) de 0,44 g.

C7.3.2.4 Resultados

Los riesgos por los efectos de los deslizamientos e inundaciones son mínimos (Sección C7-2). El AER está ubicada en la parte más alta de las cuencas de Perejil y Chuyuhual. Las instalaciones del Proyecto no atraviesan ningún cuerpo de agua con grandes áreas de captación que podría crear condiciones de inundación. Los lagos existentes en el AEL son estables (Sección C2) y por lo tanto no presentan ningún riesgo de inundaciones.

Debido a que las instalaciones están ubicadas en la zona alta del terreno donde las pendientes son cortas y onduladas, el riesgo de deslizamientos significativos es bajo.

La evaluación de la estabilidad de las estructuras del Proyecto ha sido determinada en base a sus criterios de diseño (Golder 2003q, 2003r).

Para los taludes de largo plazo asociados a los botaderos de desmonte, el análisis de estabilidad de los taludes finales indica factores mínimos de 2,20 y 1,29 para condiciones de estabilidad estática y pseudo-estática, respectivamente. Similarmente, para la instalación de la pila de lixiviación, se obtuvieron valores de 1,39 y 0,95 para condiciones de estabilidad estática y pseudo-estática. Para la pila de mineral sulfuroso, se aplicaron factores de seguridad de 1,64 y 1,06 para condiciones de estabilidad estática y pseudo-estática.

Este análisis de estabilidad muestra que todas las superficies de desplazamiento críticas tendrán factores de seguridad más altos que los valores mínimos determinados por el criterio de diseño y las guías basadas en riesgo. Dado que no se ha terminado con el diseño final de las instalaciones, las propiedades geotécnicas del suelo asumidas para este análisis son conservadoras y serán refinadas con los datos de campo y resultados de ensayos de laboratorio. Aún más, el método de equilibrio límite usado para el análisis pseudo-estático es de naturaleza conservadora. Así, todos los factores de seguridad pseudo-estáticos son más altos que uno; por lo tanto, no se espera ningún desplazamiento de los taludes durante el sismo máximo creíble en el área.

C7.3.2.5 Análisis de Impactos Residuales

Impactos Residuales para RN-1: ¿Son los riesgos de peligros naturales al público incrementados como resultado del Proyecto Alto Chicama?

Dirección:	negativa
Magnitud:	insignificante
Duración:	largo plazo
Reversibilidad:	sí
Frecuencia:	baja
Consecuencia Ambiental:	insignificante

La dirección es negativa porque cualquier efecto que pudiera existir va a incrementar el riesgo público. Los resultados del análisis de estabilidad mostraron que no existirá ningún tipo de desplazamiento en los taludes finales, durante el sismo máximo creíble para el área. Esto es, no habrá ningún efecto más allá del límite de las instalaciones, y como se define en la clasificación, la magnitud es considerada insignificante.

La extensión geográfica será local, ya que los efectos posibles no tienen consecuencias fuera de las instalaciones del Proyecto. La duración de los impactos es de largo plazo dado que las estructuras serán formas de largo plazo en el paisaje del área del Proyecto. Los impactos posibles originados desde las instalaciones principales, tales como los botaderos de desmonte, no son reversibles porque van a ser características permanentes del paisaje luego del cierre. Finalmente, la frecuencia es baja porque si bien es posible la ocurrencia de un movimiento sísmico, éste no es común.

El nivel de confianza asociado a las predicciones de fallas potenciales de taludes es alto, debido a la naturaleza de los métodos de evaluación de estabilidad usados y a las propiedades geotécnicas del suelo/materiales asumidos para la evaluación. Una descripción detallada de la metodología de evaluación y diseño de instalaciones se presenta en Golder (2003q, 2003r).

C7.3.2.6 Monitoreo

No se ha propuesto un monitoreo específico para los riesgos naturales. La integridad de las instalaciones del Proyecto serán monitoreadas como un componente rutinario del programa de monitoreo de las operaciones.

C7.4 CONCLUSIONES

La evaluación de riesgos naturales consideró dos aspectos fundamentales:

- el efecto de este fenómeno natural en las instalaciones del Proyecto; y
- el incremento de los riesgos naturales debido a cambios producido por el Proyecto.

El riesgo natural principal que puede afectar notablemente al Proyecto es un movimiento sísmico. La ocurrencia de derrumbes e inundaciones en el AEL es mínima. El análisis de estabilidad de las estructuras indica que no se espera ningún desplazamiento final de los taludes durante el evento sísmico máximo creíble en el AEL. Las instalaciones del Proyecto no van a afectar las condiciones sísmicas existentes en el área. Por lo tanto, no se pronostica ningún impacto asociada con riesgos naturales y ningún incremento del riesgo público.

La Tabla C7-6 resume los resultados de la clasificación de impacto residual.

Tabla C7-5 Clasificación de Impactos Residuales para Riesgos Naturales

Pregunta Clave NR-1 ¿Son los riesgos de peligros naturales al público incrementados como resultado del Proyecto Alto Chicama?						
Dirección	Magnitud	Extensión Geográfica	Duración	Reversibilidad	Frecuencia	Consecuencia Ambiental
negativa	insignificante	local	largo plazo	si	baja	insignificante