

TABLA DE CONTENIDOS

SECCIÓN 6.8 Antecedentes sobre vulnerabilidad frente a amenazas naturales en el área	1
6.8 ANTECEDENTES SOBRE LA VULNERABILIDAD FRENTE A AMENAZAS NATURALES EN EL ÁREA.....	6.8-1
6.8.1 INTRODUCCIÓN.....	6.8-1
6.8.2 ÁREA DE ESTUDIO	6.8-1
6.8.3 OBJETIVOS	6.8-2
6.8.4 RESULTADOS	6.8-2
6.8.4.1 Fenómenos sísmicos	6.8-3
6.8.5 CONCLUSIONES	6.8-11

FIGURAS

No table of figures entries found.

TABLAS

Tabla 6.8-1: Fenómenos naturales potenciales peligrosos para el Proyecto	6.8-2
Tabla 6.8-2: Principales epicentros de terremotos históricos ($M \geq 6.0$) Identificadas a unos 300km. del sitio Cerro Quema, Panamá.	6.8-3
Tabla 6.8-3: Selección de aceleraciones espectrales con 5% de amortiguación horizontal para el sitio del Proyecto	6.8-10

SECCIÓN 6.8

Antecedentes sobre vulnerabilidad frente a amenazas naturales en el área

6.8 ANTECEDENTES SOBRE LA VULNERABILIDAD FRENTE A AMENAZAS NATURALES EN EL ÁREA

6.8.1 INTRODUCCIÓN

La huella del proyecto se localiza sobre la península de Azuero, en los distritos de Tonosí y Macaracas, en la provincia de Los Santos, aproximadamente a 45 km de distancia al suroeste de la ciudad de Chitré, que a su vez se encuentra a una distancia aproximada de 250 km por carretera de la Ciudad de Panamá.

Tal como se detalló en la Sección 3, el Proyecto consiste en una mina a tajo abierto convencional. Entre las facilidades que considera, incluye dos tajos (La Pava y Quemita); una poza de lixiviación con sus respectivas instalaciones para el procesamiento del mineral; el depósito de roca estéril Chontal; una plataforma de facilidades mineras; dos fajas transportadoras; y facilidades auxiliares como el camino de mina, caminos internos, tanques, pozos de agua, polvorines, etc.

La presente sección contiene los resultados del estudio del análisis de vulnerabilidad frente a amenazas naturales el cual está organizado de la siguiente forma:

- ☐ Área de estudio;
- ☐ Objetivos;
- ☐ Resultados;
- ☐ Conclusiones.

6.8.2 ÁREA DE ESTUDIO

Para efecto del análisis de vulnerabilidad frente a amenazas naturales se consideró como área de estudio al área denominada huella del Proyecto y alrededores, ubicada entre las cuencas hidrográficas del Río Tonosí (124), cuencas entre el Río Tonosí y el Río La Villa (126) y la cuenca del Río La Villa (128).

6.8.3 OBJETIVOS

El objetivo del presente estudio comprende el análisis de vulnerabilidad frente a amenazas naturales del área del Proyecto sobre la base de registros históricos, observaciones y uso de modelos predictivos.

6.8.4 RESULTADOS

En esta sección, la vulnerabilidad frente a amenazas naturales se refiere a los fenómenos naturales que por su ubicación, severidad y frecuencia pueden afectar adversamente las actividades del Proyecto y sus estructuras, o atentar contra el bienestar de las personas que laboren o vivan en sus inmediaciones. Dentro de estos fenómenos naturales se incluyen los fenómenos sísmicos, hidrológicos, geológicos (especialmente sísmicos y volcánicos), atmosféricos e incendios.

La Tabla 6.8-1 resume las amenazas naturales, así como su probabilidad de ocurrencia, que tienen potencial de repercutir en la huella del Proyecto.

Tabla 6.8-1: Fenómenos naturales potenciales peligrosos para el Proyecto

Tipo de fenómeno	Evento físico	Probabilidad de ocurrencia
Fenómenos Sísmicos	Sismos	Probable
	Sismos	Poco probable
Fenómenos Hidrológicos	Inundaciones	Poco probable
	Sequía	Muy probable
	Desbordamientos de ríos	Probable
	Erosión y sedimentación	Muy probable
Fenómenos Geológicos	Suelos expansivos	Probables
	Deslizamientos	Probables
	Hundimientos de tierra	Probables
Fenómenos Atmosféricos	Tormentas tropicales	Muy probable
	Vientos Huracanados	Probable
Otros	Incendios de matorrales	Muy probable

Fuente: Datos obtenidos del Mapa Hidrometereológico ETESA 2012.

6.8.4.1 Fenómenos sísmicos

A continuación se presentan los hallazgos más relevantes presentados por Golder Associates en su Análisis de Riesgo Sísmico presentado en agosto del 2014. El estudio completo del análisis de riesgo sísmico del sitio del Proyecto es presentado en el Anexo 6.8-1.

El estudio realizado por Golder (2014) proporcionó una lista que detallada los registros históricos de sismos en la región de Panamá, relevantes a la ubicación del proyecto Cerro Quema en un radio de 300 km. La Tabla 6.8-2 lista los 30 terremotos con magnitud de momento (M) mayores o iguales a 6.0 ($M \geq 6.0$) registrados desde principios del siglo XVII y situados a una distancia igual o menor a 300km. del sitio del Proyecto.

Tabla 6.8-2: Principales epicentros de terremotos históricos ($M \geq 6.0$) Identificadas a unos 300km. del sitio Cerro Quema, Panamá.

Año	Mes	Día	Latitud (N°)	Longitud (W°)	Magnitud ¹ (M)	Profundidad ² (km)	Distancia al sitio del proyecto ³ (km.)
1621	5	2	8.97	79.55	6.90	0.00	191
1802	10	25	7.50	80.40	6.70	10.0	15
1803	12	7	8.50	83.00	7.10	30.0	292
1854	8	5	8.50	83.00	7.00	33.0	292
1871	6	27	7.80	82.30	7.00	30.0	197
1879	5	29	8.00	82.90	7.00	10.0	266
1929	1	19	10.00	81.50	6 (Ms)	35.0	293
1931	10	12	7.50	82.50	6 (Ms)	35.0	218
1934	7	18	7.90	82.49	7.50	30.0	220
1935	11	30	9.65	79.74	6.40	35.0	250
1939	10	20	8.00	83.00	6 (Ms)	35.0	277
1943	5	2	6.83	80.33	6.79	20.0	83
1951	1	6	7.34	80.99	6.59	54.4	57
1957	10	31	6.64	82.64	6.37	25.0	254
1960	3	28	7.39	81.88	6.26	25.0	150
1962	7	26	7.51	82.73	7.18	25.0	243
1965	12	15	7.65	81.91	6.35	25.0	153
1974	12	19	7.29	78.48	6.01	11.8	227
1975	10	4	6.40	82.51	6.08	35.0	253
1976	7	11	7.37	78.11	7.26	17.5	267

Año	Mes	Día	Latitud (N°)	Longitud (W°)	Magnitud ¹ (M)	Profundidad ² (km)	Distancia al sitio del proyecto ³ (km.)
1979	6	27	7.15	82.28	6.35	10.0	198
1983	11	26	7.37	82.28	6.28	17.0	194
1985	1	5	10.10	80.08	6.11	30.0	291
1991	4	4	7.02	78.07	6.14	33.0	277
1992	5	18	7.29	82.32	6.29	13.0	200
1994	9	27	5.67	79.06	6.15	15.0	264
1995	2	28	6.79	82.43	6.01	15.1	226
1997	4	1	7.86	82.35	6.07	29.4	204
2003	12	25	8.32	82.79	6.49	34.0	264
2009	7	4	9.76	79.01	6.05	45.0	297

Notas:

1 La escala de magnitud predeterminada es la magnitud de momento (M). Se registraron varios expedientes de terremoto en la escala de magnitud de onda superficial (Ms).

2 Profundidades son indicadores en el catálogo. Profundidad real puede ser significativamente diferente.

3 Las distancias se calcularon para el sitio del proyecto Cerro Quema ubicado en 7.549°N y 80.527°W.

Un modelo de fuente sísmica identifica todas las fuentes de sismos potencialmente activas y conocidas que pueden contribuir a generar movimientos telúricos en un sitio de interés específico. Se consideran fuentes de sismo las zonas de ruptura asociadas a grandes terremotos históricos, y fuentes de fallas sísmicas activas donde hay evidencia de desplazamiento de bloques de corteza durante la época del Holoceno (últimos 11,700 años). Para el desarrollo del modelo de origen sísmico se consideran parámetros como: ubicación de origen, fuente geométrica, mecanismos de falla, magnitudes de momento, sismo máximo, probabilidad de existencia y modelos de repetición de sismo.

El modelo de fuente sísmica desarrollado para el sitio del proyecto minero Cerro Quema incluye ocho fuentes de área, cinco fuentes de falla y dos fuentes de zona de interfaz de placa de subducción. Las fuentes de fallas se desarrollaron basadas en los reconocimientos aéreos y terrestres, y una revisión de estudios y mapas geológicos recientes. Las fuentes de área fueron desarrolladas en base a los registros observados de sismicidad histórica y una comprensión del entorno geológico y tectónico de la región. Las fuentes de la interfaz de subducción se desarrollaron principalmente

basado en el Modelo Global de Terremoto (también referido como GEM) desarrollado por Berryman et al. (2013).

6.8.4.1.1 Registro de catálogo sísmico

Golder (2014) desarrolló un catálogo sísmico específico para el proyecto basado en los registros instrumentales e históricos de sismos, combinados con la información existente de sismos de varias magnitudes dentro de un radio de 500 km. del sitio del Proyecto.

El catálogo sísmico del proyecto Cerro Quema incluye 46,093 sismos con magnitud (M) igual o superior a 3.0 en un periodo de 475 años desde el 24 de noviembre de 1539 al 13 de febrero de 2014.

El catalogo sísmico del Proyecto indica que dentro de un radio de 50 kilómetros del sitio del Proyecto, los sismos en su mayoría son de magnitudes menores a 5.0. Solamente se registraron tres sismos históricos con magnitudes superiores a (M) 5.0; mientras que el sismo de mayor magnitud fue de 5.9. Cabe resaltar que hay un aumento significativo en la ocurrencia de sismos a distancias mayores a los 100 km. del sitio del Proyecto. No obstante, no se han registrado sismos de magnitud mayor o igual a 8.0 dentro de un radio de 500 km del sitio del Proyecto.

6.8.4.1.2 Descripción de las fuentes sísmicas

El estudio realizado describe las fuentes sísmicas utilizadas para estimar los movimientos de tierra en el sitio de Cerro Quema. La estructura tectónica cuaternaria, la deformación y la distribución de sismos históricos son los elementos utilizados para caracterizar las fuentes sísmicas.

6.8.4.1.2.1 Fallas corticales

Se identificaron cinco fallas cuyas distancias son menores a 60 km. al sitio del proyecto Cerro Quema. La falla de Río Joaquín, cercana al sitio del Proyecto, no está incluida como fuente de sismicidad porque no cumple con los criterios generalmente aceptados para ser considerado una falla sísmicamente activa.

6.8.4.1.2.2 Fuentes de área corticales

Las fuentes de área se desarrollaron principalmente basadas en el entorno geológico y tectónico regional, y el patrón de sismicidad histórica observado. El yacimiento de Cerro Quema se encuentra al sur del Cinturón Deformado del Norte de Panamá, que se espera que sea el principal contribuyente de movimientos de tierra en el sitio del proyecto.

6.8.4.1.2.3 Fuentes de zona de subducción

Dos fuentes de zona de subducción se encuentran a distancias menores de 300 km. del sitio del Proyecto. Siendo estas la fosa de subducción de Centroamérica (también referida como ESTERAS) y la fuente de zona de subducción de la placa de Nazca (NPS).

6.8.4.1.2.4 Fallas de importancia regional

Esta sección describe las principales fallas reconocidas por Cowan et al., (1998) y según lo observado durante el reconocimiento aéreo realizado en agosto 2014.

6.8.4.1.2.4.1 Zona de falla de Azuero-Soná

La Falla de Azuero-Soná es una estructura geológica ubicada en la península de Azuero y es la más prominente. La zona de falla se encuentra a unos 15 km. al suroeste del sitio conocido como Maricela HLF. Geológicamente, la falla separa dos plegamientos diferentes (Kolarsky y Mann, 1995). Las rocas en el lado suroeste de la falla son flujos de basalto masivo y lava acojinada con sedimentos volcanoclastica inter-estratificada; y las rocas del sótano, al noroeste de la falla, son arcos de islas volcánicas de basalto, andesita y dacita con sedimentos inter-estratificados.

La falla de Azuero-Sona tiene un rastro de superficie prominente dentro de la topografía del sudoeste de Azuero (Cowan et al., 1998; Rockwell et al., 2010a). Cerca de la costa, la falla está marcada por un escarpe prominente de 200 a 300 m de altura a lo largo de la vertiente suroeste del río Guánico. Rockwell et al., (2010a) destacan la fuerte expresión topográfica y desplazamientos lateral-izquierda. En general, la falla de Azuero-Soná puede ser identificada a lo largo de sus 68 km. en tierra firme en el

sudoeste de la península de Azuero. Esto es debido a la topografía perturbada con desplazamientos evidentes y escarpes que dan testimonio de la reciente ruptura superficial a lo largo de la falla. Estas características geomorfológicas tectónicas indican que su sentido de movimiento implica el desplazamiento vertical y lateral-izquierda. Sin embargo, Cowan et al., (1998) clasifican su tasa de deslizamiento como "desconocido" y con un tiempo de movimiento reciente menor a 1.6 millones años.

6.8.4.1.2.4.2 Falla de Bucaro

Cowan et al., (1998) identifica una falla mal expresada o discontinua (PA-11b) que se extiende desde el Golfo de Panamá unos 40 km, al noroeste en el margen sudoeste del Valle de Tonosi. Describen la falla no identificada como un normal noreste-inmersión de tendencia paralela a la falla de Azuero-Soná. Informalmente se denomina a esta falla como Bucaro, que lleva el nombre del municipio de Tonosí de donde se puede observar desde la costa.

En su extremo sur, la falla de Búcaro se observa al margen sudoeste del Valle del río Tonosi. La máxima separación vertical topográfica es de 300 m entre el fondo del valle y las colinas detrás de Búcaro, pero la separación vertical total es mayor bajo el espesor desconocido del aluvión en el valle del río Tonosi. La falta de escarpe, y otras escarpas "frescas" a lo largo de la falla, sugieren que esta falla puede ser de la era cuaternaria (últimos 2.6 millones de años), ya que existen pocas pruebas de ruptura superficial reciente. En consecuencia, esta falla es inactiva o tiene una tasa muy baja de deslizamiento promedio actual.

6.8.4.1.2.4.3 Zona de falla río Flores

El extremo nororiental de la falla río Flores está situado a 30 km. al sudoeste del Proyecto. La expresión superficial de la falla del río Flores es similar a la de la falla de Búcaro. Hay unos 200 m de aparente separación vertical de los cerros costeros y hasta 1,000 m de relieve topográfico en el extremo oriental de la falla. Sin embargo, no está claro que todo el relieve topográfico tiene un origen de desplazamiento de la falla, y algunos puedan haber sido causados por la erosión diferencial. El rastro de la falla no está bien definida y es posible que haya tenido desplazamientos en el período

cuaternario (últimos 2.6 millones de años). Existe evidencia conocida de desplazamiento en la época del Holoceno (últimos 11,700 años); en consecuencia, esta falla es inactiva o tiene una tasa muy baja de deslizamiento promedio actual.

6.8.4.1.2.4.4 Falla del río Joaquín

La falla del río Joaquín fue identificada y trazada por Buchs (2008) basado en la asignación de campos de escala regional e interpretación de imágenes satelitales en pequeña escala. Una definición más detallada de la falla del río Joaquín fue desarrollada por Corral et al., (2011), que asigna a la falla un sentido este-oeste dentro y adyacentes al sitio del proyecto Cerro Quema. La falla es escarpada de inmersión inversa con un desplazamiento vertical mínimo de 300 a 400 m. (lado norte arriba) basado en criterios estratigráficos.

Las observaciones de la falla del río Joaquín a lo largo de un tramo de 3 km., y con observaciones adicionales de geólogos, sugieren que esta falla no puede ser una estructura importante con cantidades significativas de deslizamiento total. De hecho, excepto en quebrada Seca, la falla comprende una amplia zona de fallas relativamente menores y paralelas. Sólo la zona de falla mayor, expuesta en quebrada Seca, sugiere que la falla ha acumulado un deslizamiento significativo.

El trazado de la falla del río Joaquín intercepta el sitio propuesto como vertedero en Chontal arriba y el sitio propuesto Maricela HLF. No se considera que la falla del río Joaquín presente un riesgo de ruptura superficial de estas dos instalaciones. Sin embargo, basados en las observaciones realizadas para este estudio, la falla del río Joaquín no sería considerada como una característica tectónica importante.

6.8.4.1.3 Magnitudes máximas y mínimas

6.8.4.1.3.1 Magnitud máxima

La magnitud máxima de sismo para las fuentes de fallas se estimó utilizando la magnitud escalar según lo recomendado por Stirling et al., (2013). La magnitud de momento (M) estimado fue utilizado en nuestro modelo como la estimación preferida. La magnitud máxima de fuentes de área se adoptaron según lo sugerido por Benito et

al., (2012). Sin embargo, se hicieron ajustes para las fuentes de área donde la magnitud máxima de sismos registrados históricamente superan la magnitud máxima establecida por Benito et al., (2012). En base a los registros históricos, la magnitud máxima del Cinturón Deformado del Sur de Panamá (también conocido como SPDB) se limitó a 6.8 M.

6.8.4.1.3.2 Magnitud mínima

La magnitud mínima comúnmente utilizada para estudios de peligrosidad sísmica comparable oscila entre 4.0 a 5.0 M (Bozzoni et al., 2011; Brown y Gibson, 2004; Petersen et al., 2008; Stucchi et al., 2011). Utilizamos 4.5 M como la magnitud mínima, siguiendo la metodología utilizada por Benito et al., (2012). Con el uso de una menor magnitud mínima, se puede esperar el aumento de la peligrosidad sísmica. Sin embargo, los terremotos con una magnitud menor a 4.5 M generalmente se consideran de poca o ninguna importancia para la ingeniería, porque no desarrollan movimientos de tierra fuerte durante largos períodos.

6.8.4.1.4 Profundidades y sismogénia

Las evaluaciones de la afectación de infraestructura minera por riesgo sísmico, suele centrarse en la identificación y caracterización de fallas sismogénicas. Esto es debido a que estas fallas son más propensas a generar futuros desplazamientos superficiales y moderados por grandes sismos en el sitio del Proyecto. Por lo tanto, si las fallas identificadas en Cerro Quema presentan un riesgo de ruptura de falla superficial, entonces estas son denominadas fallas.

La distribución de las profundidades sismogénicas de sismos históricos indica que la mayoría de los sismos se produjeron a una profundidad de 10 a 33 km. Por lo tanto, la profundidad sismogénica está a 10 km para fuentes de área en este modelo de origen específico. En el estudio de Golder (2014) se asume que la profundidad sismogénica está a 15 km de las fuentes de fallamientos.

6.8.4.1.5 Análisis determinista y probabilístico del riesgo sísmico en el sitio del Proyecto

6.8.4.1.5.1 Análisis determinista de peligros sísmicos (DSHA)

El DSHA utiliza registros de ocurrencia de terremotos históricos disponibles y datos geológicos para generar estimaciones discretas estimando el valor del terremoto en un sitio. Normalmente, uno o más sismos son especificados por la magnitud y ubicación con respecto al sitio. El DSHA utiliza un concepto del máximo sismo creíble (MCE), el cual se define como el mayor sismo que parece posible a lo largo de una falla reconocida o dentro de una provincia tectónica geográficamente definida (ICOLD, 2010). En el desarrollo de DSHA, se da poca consideración al intervalo de repetición del sismo, que puede variar desde menos de 100 años a más de 10,000 años, dependiendo del ambiente geológico bajo consideración.

Las referencias para el diseño de estructuras en el Cerro Quema se sustentan en el Código Internacional de Construcción del 2009 (IBC, por sus siglas en inglés International Building Code); y el estándar de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE 7-05).

6.8.4.1.5.2 Análisis probabilístico de peligros sísmicos (PSHA)

De los resultados del PSHA para el sitio del Proyecto se seleccionaron aceleraciones espectrales y períodos de recurrencia presentados en la Tabla 6.8-3. Los valores de S_S y S_1 son de acuerdo al estándar ASCE 7-05 con un período de transición de largo período (TL) de 16 segundos en un sitio de roca rígida y cobertura de suelo débil, según la ASCE 7-05 sitio clase B. Estos valores de aceleración espectral indican un nivel moderado de riesgo sísmico para un periodo de retorno de 2,475 años en el sitio del Proyecto.

Tabla 6.8-3: Selección de aceleraciones espectrales con 5% de amortiguación horizontal para el sitio del Proyecto

Periodo espectral(s)	Aceleración espectral (g) para un sitio de roca rígida y cobertura de suelo débil ($V_{s30} = 760$ m/s) ¹		
	Periodo de retorno de 475 años	Periodo de retorno de 2,475 años	84 ^{mo} percentil determinista

PGA ²	0.238	0.422	0.383
0.2	0.566	1.041 (S _s) ³	1.009
1	0.174	0.309 (S ₁) ³	0.363

Notas:

1 s: segundo; g: gravedad de estándar de 980 m/s; m/s: metros por segundo.

2 PGA: máxima aceleración horizontal del suelo.

3 S_s y S₁ según la normal ASCE 7-05 para el sismo site-specific máximo considerado

Los resultados indican que los principales contribuyentes a la máxima aceleración horizontal del suelo (PGA, por sus siglas en inglés) y aceleraciones espectrales de 0.2 segundos, en ambos periodos de retorno de 475 y 2,475 años, son los sismos con magnitud menor o igual a 7.0 dentro de unos 40 km del sitio. Además, los resultados también indican que los principales contribuyentes a las aceleraciones espectrales de 1 segundo para los periodos de 475 y 2,475 años son los sismos con magnitudes altas (7.5 y 7.7 M) que ocurren en la falla del sur de Panamá, a 57 km. al sur del Cerro Quema, sitio del Proyecto.

Los sismos de cortos periodos espectrales (0.5 segundos o menos) son generados por un sismo creíble con magnitud máxima de 6.9 M, a una distancia de unos 12 km. del sitio del Proyecto. La fuente que contribuye más períodos espectrales (0.75 segundos o mayor) es un sismo creíble con magnitud máxima de 8.0 M en la falla de Azuero-Soná, situada a una distancia de alrededor de 18 km. del Cerro Quema.

La comparación de estos resultados con los realizados por Benito et al., (2012), indican que las estimaciones del valor PGA son generalmente más bajas en este estudio que en Benito et al., (2012). Esto es debido al uso de un modelo más realista del comportamiento del SPDB como una zona de corteza de contracción en lugar de una zona subducción activa.

6.8.5 CONCLUSIONES

El sitio propuesto para el Proyecto Cerro Quema está ubicado en una región con actividad sísmica histórica relativamente alta, al Norte del Cinturón Deformado del Sur

de Panamá. Al menos han ocurrido 192 sismos de magnitud mayor a 3.0 M dentro de aproximadamente 150 km. del sitio desde finales del siglo XVII.

El registro histórico sísmico de la tectónica regional dentro de unos 500 km del sitio del proyecto Cerro Quema, están representados por un modelo de peligrosidad sísmica específica que contiene ocho fuentes de área, cinco fuentes de culpa cortical y dos fuentes de la zona de subducción. Todas estas fuentes contribuyen a producir movimientos de tierra en el sitio del proyecto Cerro Quema.

El sitio del proyecto Cerro Quema se encuentra dentro de la fuente de área del SPDB definida para este estudio. Dos fallas asignadas – la falla de Azuero-Soná y la falla de Panamá sur – se ubican a 18 km. y a 57 km. del sitio del proyecto Cerro Quema, respectivamente. Estas dos fallas o sus segmentos son capaces de generar sismos de gran magnitud (7.5 M o mayor).

La falla del río Joaquín y otras faltas menores identificadas dentro del sitio del proyecto minero no representan un riesgo de ruptura significativa de la falla superficial; debido a que tienen poca o ninguna expresión topográfica. Además, se caracteriza de poseer una limitada continuidad lateral y probablemente se formaron en un régimen tectónico diferente de la actualidad.

La falla de Azuero-Soná se encuentra a 18 km. del sitio del Proyecto. Las observaciones de reconocimiento aéreo de escarpas "frescas", topografía izquierdo-lateral offset y perturbado, y valles alineados son evidencia de que la falla de Azuero-Soná es activa. La tasa de actividad se desconoce porque los estudios existentes no contienen suficientes detalles para establecer una tasa promedio de deslizamiento.

Los diseños de estabilidad de taludes obedecen a los análisis probabilísticos sísmicos con valores de PGA de aproximadamente 0.24 g y 0.42 g para periodos de retorno de 475 y 2,475 años.

En el Proyecto no se construirán instalaciones críticas ubicadas cerca de la cresta de los tajos. Se estableció un periodo de retorno de 475 años para el análisis sísmico inicial y el diseño de las instalaciones sobre la Quebrada Chontal Arriba y Maricela.

Finalmente, es posible afirmar que la falla del río Joaquín no representa un peligro de ruptura de falla superficial; es decir, la misma no representa una fuente de grandes sismos en el sitio donde se ubicaran las facilidades de lixiviación Maricela y el depósito de material estéril Chontal Arriba.